

Modelli informativi e gestione della complessità per un progetto integrato di conoscenza

Raissa Garozzo, Massimiliano Lo Turco, Cettina Santagati

Abstract

Lo studio si pone l'obiettivo di individuare flussi di lavoro ottimali per la realizzazione di modelli informativi orientati alla gestione e alla conoscenza del patrimonio architettonico in stato di rudere, attraverso l'analisi delle criticità riscontrabili nella modellazione parametrica dell'esistente. La metodologia adoperata si propone di ragionare su possibili criteri per la valorizzazione del dato rilevato nel delicato passaggio dalla nuvola di punti alla modellazione semantica, per la gestione del livello di dettaglio grafico (LoG, Level of Geometry) e degli attributi informativi (LoI, Level of Information), con l'obiettivo di definire possibili procedure di misurazione del Livello di Affidabilità del rilievo. Il caso studio è la chiesa Madre dell'antica Misterbianco (Catania), una delle rare testimonianze superstiti all'eruzione dell'Etna del 1669 e al terremoto del Val di Noto del 1693. Lo stato di conservazione e l'istanza culturale che la caratterizzano, ne fanno l'oggetto di studio ideale per la sperimentazione proposta. (R.G., M.L.T., C.S.)

Parole chiave: laser scanning, fotogrammetria, 3D modeling, H-BIM, livelli di accuratezza e affidabilità.

Introduzione

La documentazione e la conservazione del patrimonio culturale materiale rivestono un ruolo essenziale per la trasmissione alle future generazioni dei valori unici e universali che esso rappresenta. Valori tangibili e intangibili che testimoniano la tenacia e la resilienza dell'uomo di fronte a eventi naturali catastrofici, quali possono essere eruzioni e terremoti. Emblematico il caso della Sicilia orientale interessata, alla fine del XVII secolo, da due eventi significativi, l'eruzione dell'Etna del 1669 e il terremoto del Val di Noto del 1693, che hanno cancellato secoli di testimonianze storiche. La documentazione delle poche memorie superstiti richiede nuovi approcci in grado di governare la complessità e l'unicità di tali testimonianze attraverso modelli informativi e basi di dati strutturate. Questi, di fatto, consentono

di formalizzare in maniera quanto più esaustiva e rigorosa il percorso conoscitivo sull'oggetto di studio, attraverso una rappresentazione gerarchica dei dati, che agevola lo scambio e l'integrazione tra le informazioni. Tra le metodologie digitali che permettono un approccio olistico nell'ambito del settore delle costruzioni, il BIM (*Building Information Modeling*) è un processo virtuoso che consente di relazionare modelli virtuali di componenti edilizie e basi di dati alfanumeriche [Bianchini et al. 2017]. Tuttavia, la piena maturità raggiunta dall'approccio informativo negli interventi di nuova edificazione non è ancora riscontrabile nell'ambito del *cultural heritage*, dove si registrano esigue esperienze di ricerca volte alla comprensione delle potenzialità, alla messa a punto di *best practice* e alla definizione di stan-

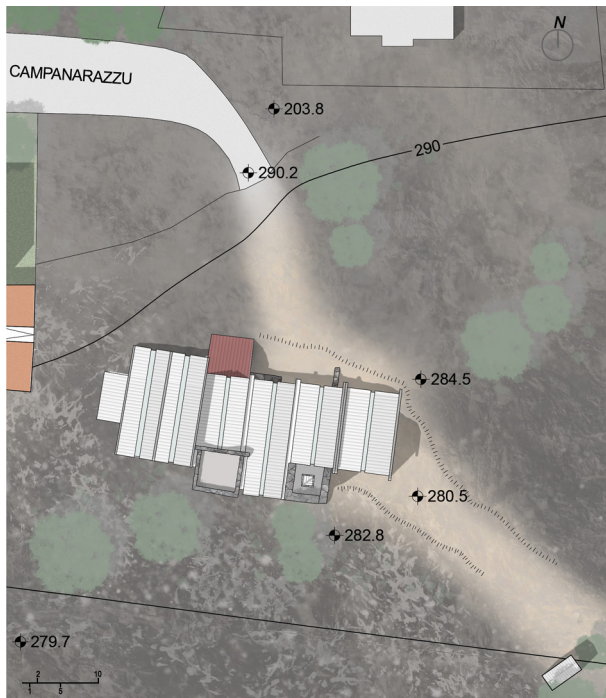


Fig. 1. Planimetria di inquadramento generale (elaborazione grafica di R.G.)

dard. Il tema è dunque di frontiera: la complessa gestione di superfici non regolari, di apparati decorativi complessi e di attributi di non semplice definizione comporta, in fase di strutturazione del modello, attività particolarmente onerose, che implicano problematiche di non semplice risoluzione, tutt'ora nodi di riflessione da parte della comunità scientifica [De Luca, Véron, Florenzano 2007; Apollonio, Gaiani, Zheng 2015; Di Giulio et al. 2017]. La metodologia proposta intende, quindi, ragionare su possibili criteri per la valorizzazione del dato di rilievo attraverso la misura del livello di affidabilità [Bianchini, Nicastro 2018, p. 47] geometrico e informativo, associabile al singolo componente del modello e direttamente relazionabile con le problematiche relative alla conversione dei dati (livello di astrazione geometrica) e alla definizione del livello di dettaglio grafico e informativo, in accordo alla recente normativa nazionale [UNI 11337: 2017]. (C.S.)

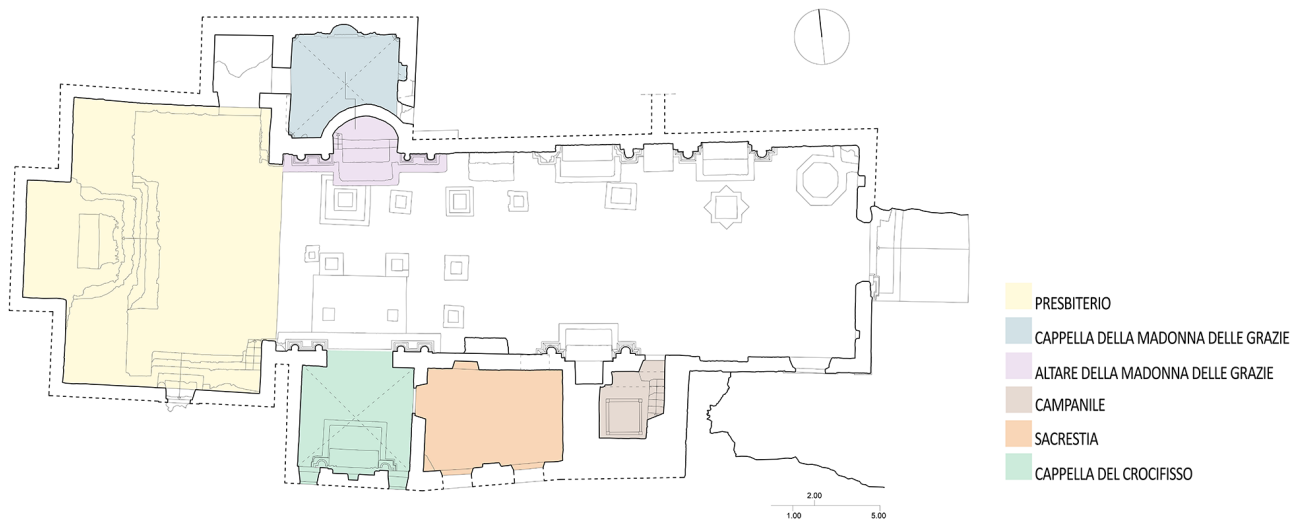
Stato dell'Arte

Le attuali metodologie per il rilievo architettonico consentono, attraverso l'utilizzo integrato delle tecnologie laser scanning e fotogrammetriche, di acquisire dati geometrico/spaziali del patrimonio storico. Esse, di fatto, forniscono una banca dati 3D che descrive la superficie dell'edificio, registrando informazioni sulle caratteristiche dei materiali e sul loro stato di conservazione [Bertocci, Bini 2012; Bianchini 2007]. Il processo di *reverse modeling* dalla nuvola di punti al modello geometrico parametrico è, però, un problema ancora aperto. In riferimento all'architettura storica, una prima criticità è riferibile all'assenza di librerie semantiche e parametriche specifiche [Fai, Rafeiro 2014]; inoltre, la definizione del livello di dettaglio geometrico o del grado di aderenza tra il modello numerico e la sua astrazione geometrica diventano particolarmente complessi in presenza di manufatti rovinati, abbandonati o molto degradati, le cui irregolarità (fuori piombo, deformazioni, lacune) sono parte della memoria dell'architettura e possono fornire informazioni utili a definire l'assetto strutturale o lo stato di conservazione. Le principali caratteristiche di un approccio *BIM oriented* possono essere così sintetizzate: intelligenza parametrica, relazioni e attributi [Barazzetti et al. 2015, p. 340]. In letteratura alcuni interessanti lavori illustrano differenti approcci, adottando diversi applicativi per operare la conversione dalla nuvola di punti in oggetti parametrici intelligenti, introducendo il concetto di "livello di accuratezza" [Santagati, Lo Turco 2017, p. 011007-4; Biagini et al. 2016]. Il passaggio più delicato si riferisce proprio alla difficoltà di preservare l'accuratezza metrica acquisita da laser scanner e da nuvole di punti fotogrammetriche anche nella fase di modellizzazione infografica. Definire il livello di tolleranza della modellazione conduce alla determinazione del livello di accuratezza di un modello, in relazione ai dati di rilievo; su questo tema specifico, i riferimenti forniti da normative, linee guida e standard internazionali sono scarsi. Un esempio di definizione del livello di accuratezza è presente nelle COBIM2012 - serie 2 [Rajala 2012, p. 6]. Nel documento gli autori introducono il concetto di un *Inventory BIM* e il relativo livello di precisione, dove la tolleranza (che può variare per specifici sistemi/componenti dell'edificio è espressa in $\pm\text{mm}$) si rife-

Fig. 2. Immagini del sito durante i lavori di scavo: a) vista dall'alto, b) scavo della cappella "gotica", c) consolidamento della muratura (foto di G. Sciacca)



Fig. 3. Pianta della chiesa di Santa Maria delle Grazie, Misterbianco (elaborazione grafica di R.G. e C.S.)



risce alla misurazione quantitativa dello scostamento tra nuvola di punti e modello. Analogamente alla “tolleranza di modellazione”, definita in Gran Bretagna [Historic England 2017] o al “livello di precisione” esplicitato nei requisiti del CoBIM finlandese [Rajala 2012, p. 11], in ambito nazionale ci si riferisce ai LoD (*Level of Development*) per il restauro, come definiti dalla normativa italiana [Pavan, Mirarchi, Giani 2017]. In questa direzione, un nuovo approccio per la modellazione degli edifici storici che tenga conto delle criticità legate alla conversione dei dati di rilievo 3D e alla possibilità di avere LoD flessibili è dato da Banfi [Banfi 2016, pp. 116-118], che propone il concetto di *ReversLoD*. Altri studi sono riconducibili a un “BIM rigoroso” [Barazzetti et al. 2015, p. 340], in cui si pone l’accento su un tema a volte sottovalutato: l’adozione della metodologia BIM in ambito di costruito storico non è solo da intendersi in termini di precisione geometrica, ma necessita di una più attenta riflessione, considerando anche altre variabili proprie di un sistema informativo: in particolare oggetti parametrici, relazioni, attributi, corretta definizione di livello di dettaglio grafico (*Level of Detail/GrADe/Graphic Detail*, rideclinati nella normativa italiana in LoG, *Level of Ge-*

ometry) e informativo (*LoI, Level of Information*, come illustrato nella normativa italiana) [Brumana et al. 2018]. La necessità di organizzare in maniera virtuosa il compendio di informazioni riguardante il patrimonio culturale è quindi di forte centralità; le metodologie operative nella realizzazione di modelli fruibili e relazionabili a banche dati consultabili facilmente e aggiornabili costituisce uno degli obiettivi primari delle attività di avanguardia, svolte di concerto tra la comunità scientifica e il mondo professionale: un modello sviluppato per il patrimonio architettonico può costituire a tutti gli effetti una base di dati organizzati in maniera coerente, in cui i diversi aspetti di gestione, valorizzazione, manutenzione e conservazione sono vicendevolmente relazionabili tra loro attraverso parametri. (C.S.)

La Chiesa di Santa Maria delle Grazie dell’antica Misterbianco

La sperimentazione proposta si riferisce alla chiesa madre dell’antica Misterbianco (Catania), individuata quale caso studio ottimale grazie al singolare stato di con-

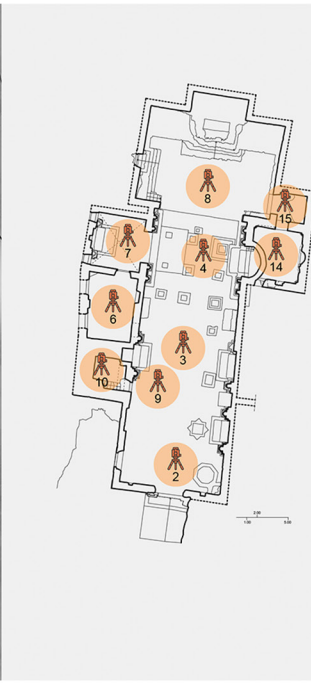


Fig. 4. Viste della chiesa: a) facciata principale, b) interno della navata (foto di R.G. e C.S.)


servazione che la caratterizza (muri fuori piombo, pavimentazione deformata, tessitura muraria originale cui si sovrappongono le odierne integrazioni). Situati a 5 km a Nord-Est rispetto all'attuale centro abitato, i ruderi dell'antico luogo di culto intitolato alla Madonna delle Grazie custodiscono tracce della memoria storico-architettonica dal XV al XVII secolo, di cui rimangono solo rari esemplari nella Sicilia sud-orientale, tragicamente segnata dall'eruzione del 1669 e dal terremoto del Val di Noto del 1693. Preservatasi sotto i 12 metri di basalto lavico che la seppellirono nel 1669, la chiesa, individuabile grazie dalle vestigia del campanile rimasto sventante fino al 1693 (da qui il nome *Campanarazzo* della località), suscita da sempre l'interesse di curiosi e studiosi [Politano, Santonocito 1999, pp. 156-157]. È a partire dal 2002, in occasione degli scavi e dei lavori di consolidamento condotti dalla Soprintendenza ai Beni Culturali e Ambientali di Catania, conclusi nel 2015, che l'impianto rivede la luce, diventando fruibile ai visitatori (figg. 1, 2). La chiesa, il cui asse longitudinale è disposto

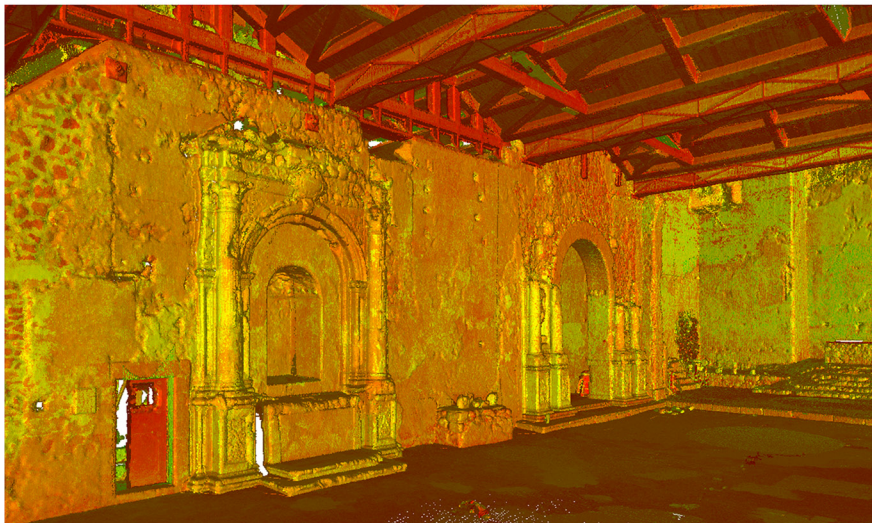
lungo la direttrice est-ovest, era raggiungibile mediante una scalinata che conduceva all'ingresso principale collocato ad est. L'edificio, ancora parzialmente stretto dalla morsa del fronte lavico, presenta una navata unica, di poco superiore ai 26 metri, conclusa da un ampio presbiterio absidato (9x13 metri), leggermente sopraelevato, che ospita l'altare maggiore (fig. 3). Sul fronte meridionale si aprono l'accesso alla torre campanaria e quello alla cappella del Santissimo Crocifisso, ambiente voltato di impianto quadrangolare collegato a un ampio vano verosimilmente utilizzato come sacrestia. Sulla parete settentrionale, celata dalla nicchia decorata dell'imponente macchina d'altare che ospitava il simulacro della Madonna di scuola geginiana, si trova la cosiddetta cappella "gotica", nucleo più antico della chiesa, accessibile da un disimpegno a latere del presbiterio e da un ulteriore ambiente posto ad est, attualmente occluso [Santagati, Mondello, Garozzo 2017; Garozzo 2018]. La navata è punteggiata da otto altari, cinque dei quali conservano una consistente parte della macchina d'altare

Fig. 5. Progetto di ripresa laser scanner (elaborazione grafica di R.G.)



Scans	Number of points	Targets
1	4.041.796	6
2	10.841.885	6
3	16.874.188	-
4	12.956.703	-
5	4.629.414	-
6	5.269.019	-
7	4.422.367	-
8	10.182.513	-
9	1.451.366	-
10	5.732.248	-
11	4.009.638	-
12	4.769.934	-
13	4.268.328	-
14	5.224.888	-
15	6.563.334	-
16	2.546.830	-
17	3.638.050	-
Total	107.422.501	6

 Leica HDS 3000



dalla *facies* seicentesco-manierista; a questi si aggiunge l'imponente impianto decorativo dell'accesso alla cappella del Santissimo Crocifisso (fig. 4). Il pavimento della navata, in formelle esagonali in cotto è punteggiato da tredici lastre tombali, a chiusura delle camere sepolcrali voltate sottostanti. (R.G.)

Dal rilievo alla restituzione: tra interpretazione e interoperabilità

Le caratteristiche geometriche, morfologiche e formali dell'oggetto di studio hanno richiesto un approccio mediante tecnologie digitali integrate, in particolare *laser scanning* (fig. 5) e fotogrammetria. È stato utilizzato il laser scanner HDS 3000 Leica Geosystem, prevedendo 17 scansioni – 7 esterne e 10 interne – per un totale di 107 milioni di punti, successivamente allineate attraverso 6 *target* sferici e punti omologhi. L'errore di registrazione riscontrato è di 3 mm. Le scansioni sono state elaborate e processate per poter essere utilizzate nelle più comuni piattaforme BIM, come riferimento metrico per la successiva modellazione. Sono stati acquisiti, inoltre, diversi *dataset* fotografici, allo scopo di integrare le scansioni acquisite, mediante tecniche fotogrammetriche (fig. 6). Trattandosi di un edificio caratterizzato da molte irregolarità geometriche (deformazioni, parti mancanti) ci si è interrogati sulla definizione del livello di accuratezza geometrica del modello, sull'opportunità di utilizzare efficacemente sistemi e procedure nati per la standardizzazione dei componenti edilizi in presenza di architetture complesse o in stato di rudere e sulla necessità di conciliare le esigenze di studio con quelle di documentazione e gestione del bene architettonico. Ogni componente edilizio della chiesa (muri, pavimenti, aperture, volte, altari) mostra i segni dell'impatto del flusso lavico e del successivo tentativo di ridefinire una coerenza spaziale all'edificio (ad esempio attraverso la ricostruzione di parte delle murature) dopo lo scavo. Si è ritenuto fondamentale, dunque, preservare tutte queste specificità nel modello, sia da un punto di vista geometrico che informativo. Ciò ha reso necessaria una sperimentazione volta all'individuazione, caso per caso, del flusso di lavoro più idoneo a perseguire gli obiettivi precedentemente enunciati. Una delle maggiori problematiche emerse è la scarsa interoperabilità tra le diverse piattaforme software utilizzate, poiché la mo-

dellazione non è stata condotta esclusivamente all'interno della piattaforma BIM prescelta. Per preservare la documentazione delle deformazioni che interessano il pavimento della navata della chiesa (che oscillano intorno ai 20 cm) sono stati impiegati due differenti approcci. Il primo prevede l'uso di un *plug-in* (Pointsense for Revit) per la creazione di *range maps* e profili, con conseguente deformazione della superficie, inizialmente semplificata, secondo una griglia preimpostata (fig. 7); l'altro, giudicato più efficiente nel caso specifico, prevede la creazione di una *mesh*, convertita in superficie NURBS e successivamente importata nella piattaforma BIM per la caratterizzazione e l'arricchimento informativo. I medesimi approcci sono stati testati sulle murature (fig. 8); in particolare, per semplificare la modellazione della geometria dei muri mantenendo traccia delle irregolarità e dei fuori piombo, si considera più efficiente affidarsi a una modellazione semplificata da arricchire con le mappe di profondità e i profili generati del *plug-in* (Pointsense for Revit). Un ragionamento specifico, infine, è stato condotto sugli altari, che presentano diverse mancanze dovute alla violenza del fronte lavico dal quale sono stati investiti. Una modellazione geometrica di tipo ricostruttivo avrebbe perso traccia delle parti mancanti, migliorando la resa grafica del modello ma cancellando i "segni" dell'eruzione sui manufatti. Si è pertanto scelto di importare il modello *mesh*, successivamente categorizzato attraverso il *plug-in* (MeshImportfromOBJ), ottenendo un elevato livello di accuratezza geometrica delle superfici, sebbene la soluzione adottata generi elaborati che occupano molta memoria e risultano difficilmente gestibili (fig. 9). Il modello ottenuto preserva, così, le peculiarità dell'oggetto di studio, sia da un punto di vista geometrico che informativo (fig. 10). (R.G.)

L'affidabilità del dato rilevato, tra misurazione e classificazione semantica

Un rilievo integrato implica un duplice controllo, prevedendo di relazionare la definizione del livello di accuratezza geometrica, ottenuto in fase di restituzione grafica, con la modellazione degli attributi, semanticamente relazionabili all'artefatto digitale e alle sue componenti. Del resto, come ricordato in precedenza, anche la normativa italiana distingue in LoG e Lol le diverse connotazioni grafiche e alfanumeriche proprie dei modelli BIM. Dun-

Fig. 6. Elaborati in sezione con ortofoto da fotogrammetria digitale (elaborazione grafica di R.G.)

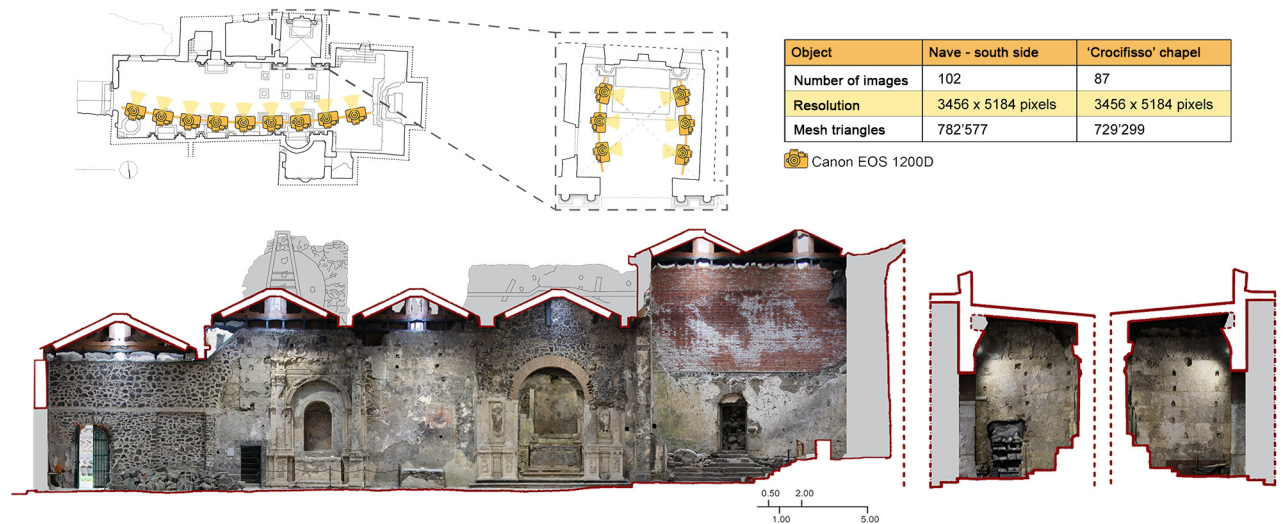
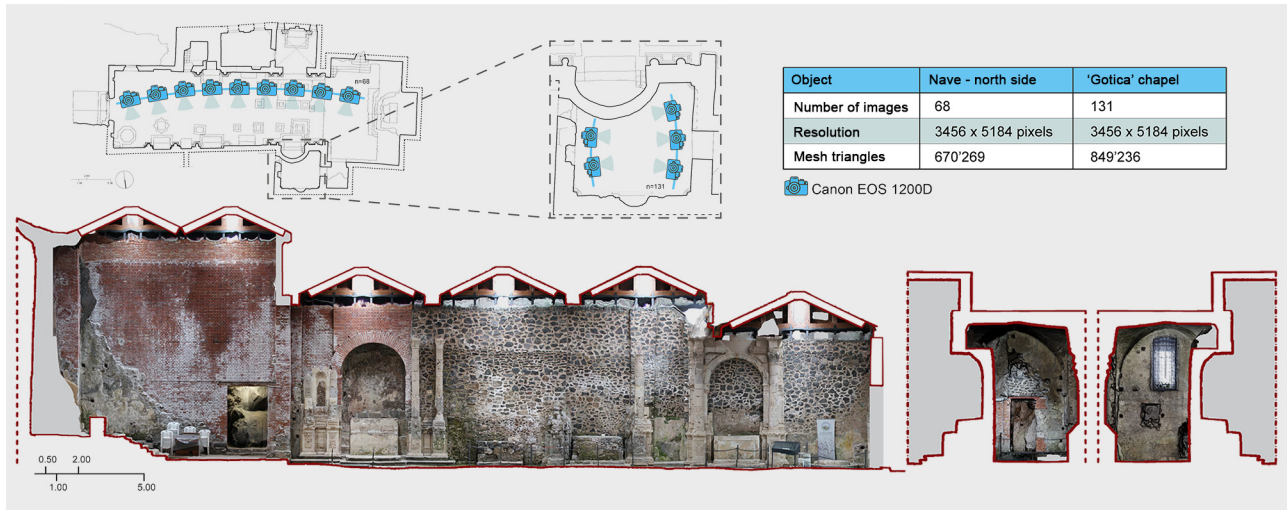
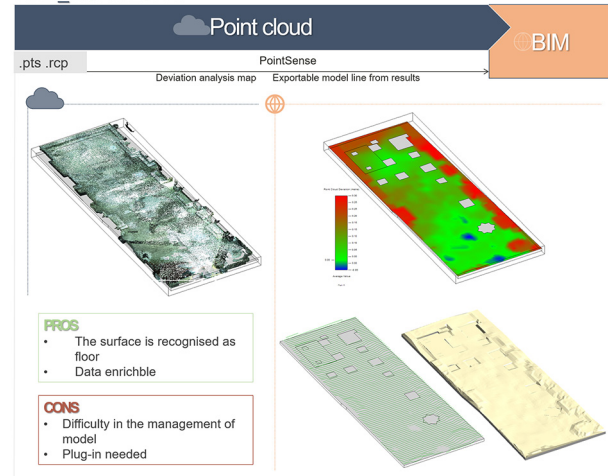


Fig. 7. Sperimentazione condotta sul pavimento (elaborazione grafica di R.G.)

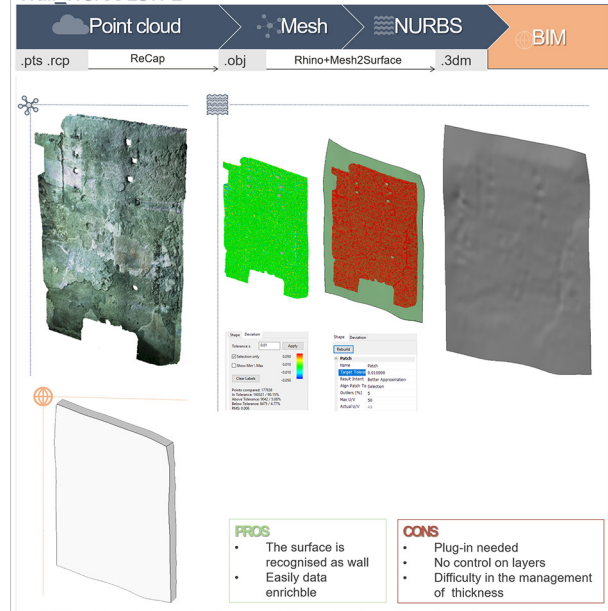
Fig. 8. Sperimentazione condotta sul muro (elaborazione grafica di R.G.)

que, non soltanto livello di accuratezza (LoA) ma livello di affidabilità del dato – *Level of Reliability* (LoR) che assume un’accezione più ampia, come ampio e inclusivo è il sistema aperto di conoscenze che caratterizza le operazioni di rilievo di tipo integrato. Negli ultimi anni è stato proposto un articolato sistema di valutazione numerica del livello di affidabilità dei modelli BIM relativi ad architetture esistenti, tenendo conto del possibile reperimento di dati d’archivio, bibliografici, delle indagini sul manufatto, della conoscenza delle tecniche costruttive, dell’analisi sui materiali, attraverso un sistema valutativo di tipo numerico costituito da parametri associabili ai componenti edilizi [Bianchini, Nicastro 2018, pp. 54-58]. In modo analogo, già dalle prime attività condotte sul caso studio oggetto di sperimentazione, ci si è proposto di popolare di nuovi attributi i componenti rilevati, attraverso la predisposizione di specifici parametri derivanti dalle operazioni di rilievo condotte. Il modello e le relative componenti sono definite mediante un elenco dedicato di parametri condivisi, in una sequenza logica che prevede di verificare la presenza del dato, l’autore, la data della sua registrazione e un campo note. Queste definizioni assumono diverse connotazioni in base alla natura del dato rilevato o alla tecnica utilizzata per operare una particolare misurazione, tra cui: presenza del materiale archivistico; documentazione attestante eventuali superfetazioni subite dal bene: rilievo fotografico, rilievo diretto e costruzione degli eidotipi; rilievo fotogrammetrico; rilievo di laser scanner; rilievo dei materiali di finitura e dei degradi; misurazioni di tipo invasivo. A differenza dell’approccio proposto da Bianchini e Nicastro, ci si è al momento concentrati sulla sola strutturazione degli attributi; non si è pertanto ancora giunti a formulare una proposta di una misurazione quantitativa dell’affidabilità dell’oggetto rilevato, seppure siano state formulate prime griglie di valutazione mediante lo sviluppo di attività di ricerca parallele [Lo Turco et al. 2018, p. 2528]. L’obiettivo è di estendere la sperimentazione a un numero significativo di esperienze per mettere a sistema tali processi, coinvolgendo un maggior numero di rappresentanti della Comunità Scientifica nella valutazione dei relativi pesi da attribuire alle singole istanze e all’analisi critica del metodo proposto. (M.L.T.)

Floor_WORKFLOW 3



Wall_WORKFLOW 2



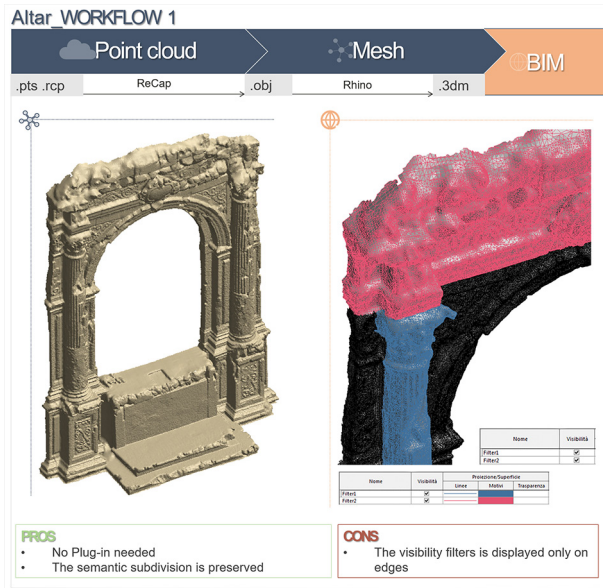


Fig. 9. Sperimentazione condotta sull'altare (elaborazione grafica di R.G.)

Fig. 10. Spaccato assometrico del modello finale (elaborazione grafica di R.G.)



Conclusioni

Questa ricerca ha inteso verificare l'applicabilità di processi HBIM su un bene complesso e in stato di rudere, quale la chiesa della Madonna delle Grazie dell'antica Misterbianco, ragionando sulla verifica dell'accuratezza metrica e informativa: la conversione dal modello numerico, costituito dalla nuvola di punti, al modello matematico e semantico è un processo che comporta semplificazioni e ipotesi deduttive [Santagati, Lo Turco 2017, p. 011007-3]. Tuttavia, l'alto livello di dettaglio è un carattere essenziale della modellizzazione informativa dei beni culturali, in quanto alcune singolarità che caratterizzano l'architettura storica possono acquisire una rilevanza cruciale per le successive scelte di intervento. Al momento, i processi di acquisizione e di restituzione infografica sono scarsamente automatizzati e richiedono molto tempo. È quindi auspicabile che la comunità scientifica lavori sulla sistematizzazione dei processi di automazione basati sulle ontologie e sul riconoscimento semantico delle informazioni specifiche per il campo dei beni culturali [Messaudi et al. 2018]. Un secondo tema ha riguardato una disamina critica relativa alla definizione del "livello di affidabilità" del modello numerico, mediante una nuova interpretazione del termine "misurabilità", non soltanto dal punto di vista geometrico, ma tesa ad un approccio ontologico che strutturi e supporti una valutazione quantitativa del grado di affidabilità informativa di un rilievo. In tal senso, la metodologia BIM può essere considerata un ponte tra la documentazione di archivio e il modello digitale, specie se si attivano processi di descrizione dei dati correlati al linguaggio formale *object-oriented*. Per dare ancora più evi-

denza all'apparato documentario raccolto, è necessario creare un ambiente di lavoro condiviso in grado di memorizzare e fornire informazioni grafiche e alfanumeriche attraverso un'associazione diretta tra l'ambiente BIM e la formalizzazione delle ontologie [Quattrini et al. 2017; Bonsma et al. 2018]. Attraverso dinamiche interoperabili è possibile immaginare scenari operativi in cui tutti gli attori possano implementare direttamente le registrazioni effettuate *in situ* in forma agile e accessibile. Per fare questo, occorre supportare il paradigma *object-oriented* con gli aspetti concettuali di approcci relazionali utili alla gestione di dati eterogenei, numerosi e costantemente aggiornati. Da un punto di vista scientifico, l'applicazione di questi principi consentirà di affrontare e definire nuove metodologie per la conoscenza (e la rappresentazione) dei beni culturali attraverso processi più trasparenti. Si propone, quindi, una riflessione sugli approcci integrati di indagine e progettazione, che porti a nuove forme di rappresentazione, che espandano le frontiere della nostra disciplina nel verso di una maggiore qualificazione formale e nel permanente rapporto tra spazio architettonico e spazio dell'informazione. (M.L.T.)

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano padre Giovanni Condorelli, presidente della Fondazione *Monasterium Album*, e i membri della stessa istituzione per aver consentito l'accesso ai luoghi, per aver concesso l'autorizzazione alla riproduzione fotografica delle immagini e per la disponibilità al confronto sulle tematiche affrontate; Eric Boehlke della società Truevis per aver consentito l'utilizzo gratuito del plugin *MeshImportfromObjfiles*. Gli autori ringraziano l'Università degli Studi di Catania che ha parzialmente finanziato la presente pubblicazione con il progetto "Piano della Ricerca Dipartimentale 2016-2018" del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura.

Autori

Raissa Garozzo, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università degli Studi di Catania, raissa.garozzo@unict.it
Massimiliano Lo Turco, Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, massimiliano.loturco@polito.it
Cettina Santagati, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università degli Studi di Catania, cettina.santagati@dau.unict.it

Riferimenti bibliografici

Apollonio, F.I., Gaiani, M., Zheng, S. (2015). BIM-based Architectural Heritage Management: A Case Study of Palladio's Palazzo Barbaran da Porto. In *E-Sharing Cultural Heritage*. Atti del *Second International Symposium on Cultural Heritage Conservation and Digitization*. Beijing, 17-19 ottobre 2012, pp. 101-115. Shanghai: Shanghai Far East Publishing.

Banfi, F. (2016). Building Information Modelling – A Novel Parametric

Modeling Approach Based on 3D Surveys of Historic Architecture. In M. Ioannides, E. Fink, A. Moropoulou, M. Hagedorn-Saupe, A. Fresa, G. Liestøl, V. Rajcic, P. Grussenmeyer (eds.) (2016). In *Proceedings of the 6th International Conference EuroMed 2016 Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*. Nicosia, 31/10-5/11/2016, part I, pp. 116-130. Basel: Springer International Publishing AG.

- Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Previtali M. (2015). Creation of parametric BIM objects from point clouds using NURBS. In *The Photogrammetric Record*, n. 30, vol. 152, pp. 339-362. <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/phor.12122>> (consultato il 28 maggio 2019).
- Bertocci, S., Bini, M. (2012). *Manuale di rilievo architettonico e urbano*. Novara: CittàStudi Edizioni.
- Biagini, C., Capone, P., Donato, V., Facchini, N. (2016). Towards the BIM implementation for historical building restoration sites. In *Automation in Construction*, n. 71, pp. 74-86. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580516300425?via%3Dihub>> (consultato il 28 maggio 2019).
- Bianchini, C. (2007). Laser Scanning X. In P. Paolini, E. Chiavoni (a cura di). *Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la realizzazione di modelli virtuali dell'architettura della città*, pp. 24-31 Roma: Gangemi Editore.
- Bianchini, C., Inglese C., Ippolito, A., Maiorino, D., Senatore, L.J. (2017). Building Information Modeling (BIM): Great Misunderstanding or Potential Opportunities for the Design Disciplines?. In A. Ippolito, M. Cigola (eds.), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*. Hershey, PA (USA): IGI Global pp. 67-90.
- Bianchini, C., Nicastro, S. (2018). La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi di Historic-BIM. In *Dn.Building Information Modeling, Data & Semantics*, n. 2, pp. 46-59. <<http://www.dienne.org/>> (consultato il 22 gennaio 2019).
- Bonsma, P., Bonsma, I., Ziri, A.E., Iadanza, E., Maietti, F., Medici, M., Ferrari, F., Sebastian R., Bruinenberg, S., Lerones P.M. (2018). Handling huge and complex 3D geometries with SemanticWeb technology, In *Florence Heri-Tech – The Future of Heritage Science and Technologies*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, n. 364, 012041.
- Brumana, R., Della Torre S., Previtali, M., Barazzetti, L., Cantini, L., Oreni D., Banfi, F., (2018). Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention – the Basilica di Collemaggio (L'Aquila). In *Applied Geomatics*, vol. 10, n. 4, pp. 545-567. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-018-0233-3>> (consultato il 28 maggio 2019).
- De Luca, L., Véron, P., Florenzano, M. (2007). A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements. In *The Visual Computer*, vol. 23, n. 3, pp. 181-205. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00371-006-0092-5>> (consultato il 28 maggio 2019).
- Di Giulio, R., Maietti, F., Piaia, E., Medici, M., Ferrari, F., Turillazzi, B. (2017). Integrated data capturing requirements for 3D semantic modelling of Cultural Heritage: the INCEPTION Protocol. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W3, pp. 251-257.
- Fai, S., Rafeiro, J. (2014). Establishing an Appropriate Level of Detail (LoD) for a Building Information Model (BIM) – West Block, Parliament Hill, Ottawa, Canada. In *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. II-5, pp. 123-130. <<https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5/123/2014/>> (consultato il 28 maggio 2019).
- Garozzo, R. (2018). *La chiesa Madre dell'antica Misterbianco in contrada Campanarazu - Reverse Building Information Modeling per un progetto integrato di conoscenza*. Tesi di laurea in Ingegneria Edile-Architettura, relatore C. Santagati, correlatori M. Lo Turco, A. Mondello, G. Sciacca. Università degli Studi di Catania.
- Historic England (2017). *BIM for Heritage. Developing a Historic Building Information Model*. Swindon: Historic England. <<https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/heag-154-bim-for-heritage/>> (consultato il 18 febbraio 2019).
- Lo Turco, M., Parisi, P., Gómez-Blanco Pontes, A., Rivas López, E. J. (2018). Modelli HBIM per la valorizzazione e gestione del patrimonio culturale. Il caso studio dell'Escuela Tecnica Superior de Arquitectura di Granada, In F. Minutoli. *Atti del VI Convegno Internazionale sulla Documentazione, Conservazione e Recupero del Patrimonio Architettonico e sulla Tutela Paesaggistica ReUSO 2018. L'intreccio dei saperi per rispettare il passato interpretare il presente salvaguardare il futuro*. Messina, 11-13 ottobre 2018, pp. 2519-2530. Roma: Gangemi editore.
- Messaoui, T., Véron, P., Halin, G., De Luca, L. (2018). An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state. In *Journal of Cultural Heritage*, vol. 29, pp. 100-112. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207417304508>> (consultato il 28 maggio 2019).
- Pavan, A., Mirarchi, C., Giani, M. (2017). *BIM: Metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*. Milano: Tecniche Nuove.
- Politano, F., Santonocito, F. (1999). Ruins of ancient "Campanarazu" buried by 1669 eruption. In *Inside Volcanoes, IXth International Symposium On Vulcanospeleology of the I.U.S.* Catania, 11-19 settembre 1999, pp. 156-160.
- Quattrini, R., Pierdicca, R., Morbidoni, C., Malinverni, E.S. (2017). Conservation-oriented hbim. The bim explorer web tool. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-5/W1, pp. 275-281.
- Rajala, M. (2012). *COBIM - Common BIM Requirements 2012 Series 2. Modeling of the starting situation*. <https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/cobim_2_inventory_bim_v1.pdf> (consultato il 18 febbraio 2019).
- Santagati, C., Mondello, A., Garozzo, R. (2017). La Chiesa di Santa Maria delle Grazie dell'antica Misterbianco: la conoscenza della fabbrica tra rilievo, rappresentazione e documentazione. In *Tecnica e ricostruzione*, vol. LXVII, pp. 50-55.
- Santagati, C., Lo Turco, M. (2017). From structure from motion to historical building information modeling: populating a semantic-aware library of architectural elements. In *Journal of Electronic Imaging*, n. 26, pp. 011007.1-12. <<https://www.spiedigitallibrary.org/journals/Journal-of-Electronic-Imaging/volume-26/issue-01/SSO-1>> (consultato il 28 maggio 2019).
- UNI (2017). *UNI 11337:2017. Edilizia e opere di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi*. Milano: UNI.