



Digitalizzazione del patrimonio archeologico: procedure H-BIM per lo scavo della chiesa di San Sisto (Pisa)

Piergiuseppe Rechichi
Lorenzo Cintoli
Valeria Croce
Andrea Piemonte
Massimiliano Martino
Marco Giorgio Bevilacqua
Federico Cantini
Gianluca Martinez

Abstract

La definizione di metodologie standardizzate e di applicativi dedicati che consentano la documentazione digitale, la collezione e l'arricchimento di dati 3D sul patrimonio archeologico è una sfida ancora aperta. Recenti sperimentazioni hanno mostrato che la metodologia H-BIM potrebbe offrire, in questo senso, e a supporto dell'attività degli archeologi sul sito, uno strumento efficace per: visualizzare entità geometriche 3D corredate da un set di informazioni, interrogare il modello digitale ed esportare prontamente gli elaborati relativi alle unità stratigrafiche. Il contributo presenta una sperimentazione metodologica che integra le pratiche già diffuse in ambito archeologico e basate sul GIS e sulla suddivisione dei rilievi relativi alle varie unità stratigrafiche, con le potenzialità dell'H-BIM, perseguendo la progressiva automatizzazione delle procedure di digitalizzazione di un sito, nonché la riduzione dei tempi di elaborazione. Il modello prodotto può così diventare uno strumento dinamico, utile durante lo sviluppo degli scavi e non solo al loro termine. La proposta metodologica è stata sperimentata sugli scavi archeologici nell'area della chiesa di San Sisto a Pisa.

Parole chiave

H-BIM per l'Archeologia, scan-to-BIM, digital heritage, siti archeologici, rilievo 3D



Lo scavo archeologico in prossimità della Chiesa di San Sisto (sinistra). La digitalizzazione di una parte dello scavo (in alto). Gli interni ed esterni della Chiesa (in basso).

Introduzione

Questo contributo si colloca nell'ambito dell'applicazione della metodologia H-BIM al settore archeologico. A partire dall'ultima decade del ventesimo secolo, la metodologia BIM (*Building Information Modeling*) è emersa come strumento fondamentale per relazionare modelli geometrici tridimensionali in un sistema complesso di informazioni descrittive; pur essendo stata inizialmente sviluppata nel settore AEC (*Architecture, Engineering and Construction*), questa metodologia è stata più recentemente adattata, con crescente diffusione, al patrimonio costruito ed in particolare al patrimonio storico (H-BIM) [Barbosa et al. 2016; Capone, Lanzara 2019].

L'estensione di questa metodologia all'ambito archeologico risulta ad oggi un campo di studio con grande potenziale e solo parzialmente esplorato [Diara, Rinaudo 2020]; la complessità metodologica della ricerca archeologica impone di riconsiderare aspetti essenziali della metodologia H-BIM e di adattarne le caratteristiche a specifiche necessità disciplinari. Attualmente, i processi e gli strumenti di digitalizzazione del patrimonio archeologico sono applicati in via sperimentale e in assenza di standardizzazione metodologica; essi non prevedono, ad esempio, la gestione della tridimensionalità del sito di scavo e la costituzione di relazioni tra le schede digitali degli elementi rinvenuti e le loro caratteristiche geometriche. In questo contesto, il lavoro multidisciplinare effettuato sul caso studio dello scavo archeologico del giardino della chiesa di San Sisto a Pisa, che ha previsto la cooperazione tra archeologi e ingegneri, è stato svolto con l'obiettivo di inquadrare efficacemente le necessità disciplinari degli archeologi stessi e di strutturare una proposta metodologica per la digitalizzazione dello scavo in accordo con esse.

Stato dell'arte

L'applicazione della metodologia H-BIM al campo archeologico è ad oggi limitata a pochi e isolati casi studio. L'assenza di convenzioni e regolamenti generali sul tema è testimoniata dalla moltitudine di denominazioni che questo adattamento della metodologia ha assunto in letteratura: A-BIM [Moyano et al. 2020], ARCHEO-BIM [Garagnani et al. 2016] o ARK-BIM [Diara, Rinaudo 2021].

Le ricerche in questo ambito sono state prevalentemente calibrate su differenti necessità e propositi e per questo hanno portato alla realizzazione di prodotti finali eterogenei. Ad

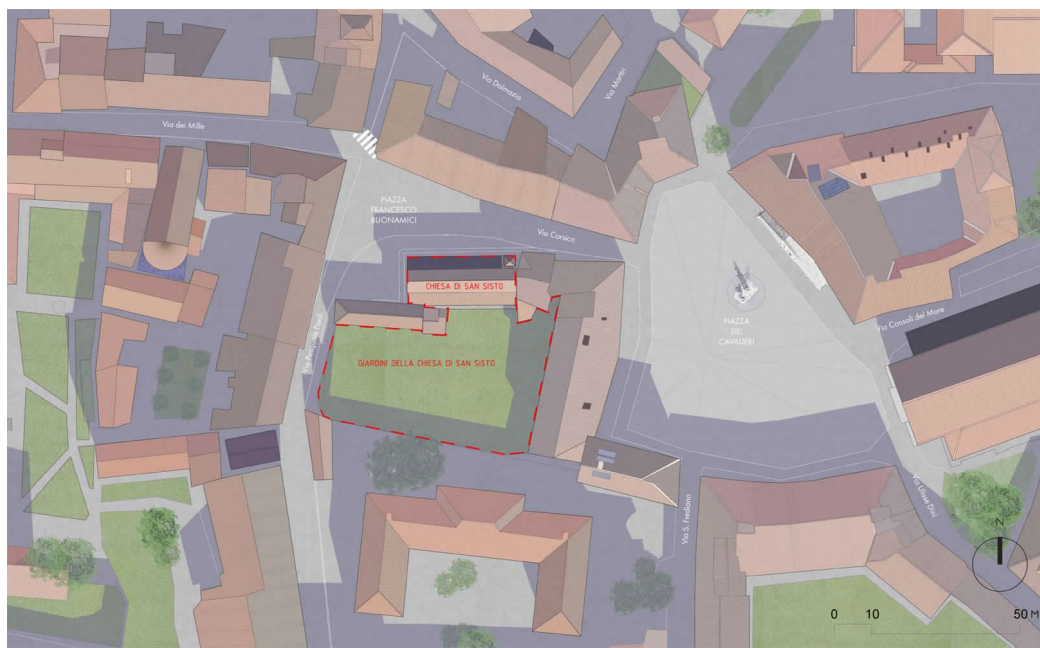


Fig. 1. Planimetria del complesso di San Sisto. Elaborazione grafica di L. Cintoli.



Fig. 2. La chiesa di San Sisto. Foto di P.Rechichi.

esempio, Garagnani [Garagnani et al. 2016] ha finalizzato lo studio condotto sul tempio di Uni a Marzabotto all'utilizzo dell'H-BIM in archeologia a supporto dell'analisi storica dei luoghi e della disseminazione in campo educativo e turistico. Gli studi condotti da Moyano [Moyano et al. 2020] e Diara [Diara, Rinaudo 2020] si sono invece concentrati su aspetti di carattere tecnico, individuando specifiche complessità legate alle peculiarità delle entità da digitalizzare nell'ambito archeologico – geometriche e materiche –, proponendo specifici approcci di modellazione parametrica.

La complessità e la diversità degli elementi che possono trovarsi in uno scavo archeologico sono probabilmente i fattori che maggiormente ostacolano la standardizzazione e validazione metodologica; in funzione del grado di dettaglio necessario, delle dimensioni degli elementi, della portabilità dei reperti e delle proprietà dei differenti materiali presenti, è

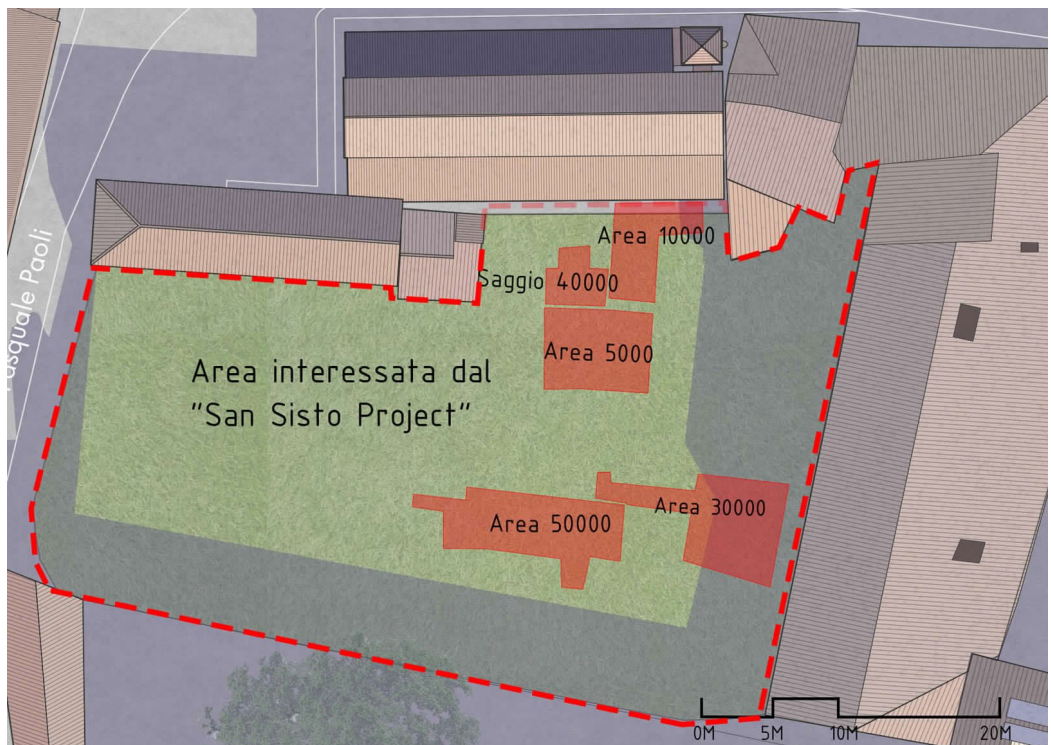


Fig. 3. Planimetria delle aree di scavo del San Sisto Project. Elaborazione grafica di L. Cintoli.

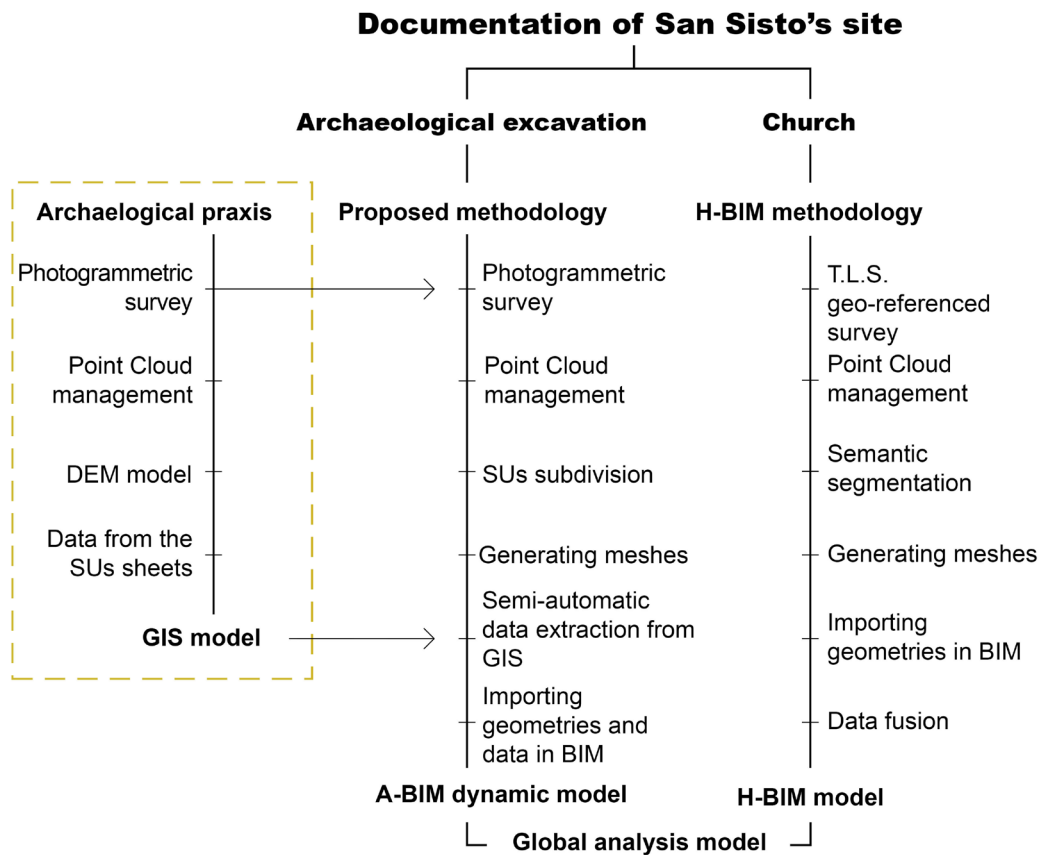


Fig. 4. Schema sintetico della proposta metodologica. Elaborazione grafica degli autori.

necessario calibrare accuratamente tutte le fasi del processo di digitalizzazione, dal rilievo e dall'elaborazione *Scan-to-BIM* fino alla costruzione del database di scavo [Carpentiero 2020].

La possibilità di standardizzare e condividere le informazioni associate al modello geometrico è elemento essenziale per l'applicazione di questa metodologia; l'impianto semantico da costruire intorno alla rappresentazione 3D deve inevitabilmente tenere conto delle pratiche e delle consuetudini della ricerca archeologica [Attenni 2019], ivi incluse l'analisi delle unità stratigrafiche (U.S.) secondo la classificazione proposta da Harris [Harris 1979] e la produzione della documentazione archivistica [Diara, Rinaudo 2020]. Questo aspetto implica:

- la necessità di un *workflow* flessibile e multi-scalare per la metodologia H-BIM in archeologia;
- l'applicazione di opportune tecniche di rilievo, in funzione dei differenti elementi reperiti nelle diverse fasi dell'indagine archeologica;
- la definizione dei livelli di dettaglio geometrico e materico in funzione dei propositi dell'indagine archeologica;
- l'applicazione della metodologia *Scan-to-BIM* e gestione di più modelli in funzione dell'output finale;
- la strutturazione semantica delle informazioni da raccogliere nel modello.

L'implementazione del rapporto tra modello BIM e ambiente GIS (*Geographic Information System*) [Saccucci, Pelliccio 2018] (quest'ultimo già ampiamente utilizzato in archeologia per l'archiviazione di informazioni 2D) e la realizzazione di piattaforme dedicate alla gestione, navigazione e condivisione dei modelli sono ulteriori potenziali sviluppi in questo ambito; in questa direzione si muove una prima sperimentazione di piattaforma open-access proposta da Diara (ARK-BIM) [Diara, Rinaudo 2021].

| ENTE RESPONSABILE | | NUMERO/CODICE IDENTIFICATIVO DELL'UNITÀ STRATIGRAFICA | |
|--|--------------------|--|------------|
| US | | 5002 | |
| SOPRINTENDENZA MIURCT COMPETENTE PER TUTELA | | NUMERO/CODICE IDENTIFICATIVO DEL SAGGIO STRATIGRAFICO/DELL'EDIFICIO/DELLA STRUTTURA/DELLA DEPOSIZIONE FUNERARIA DI RIFERIMENTO | |
| LOCALITÀ San Sisto | | | |
| AREA/EDIFICIO/STRUTTURA 5000 | | | |
| AMBIENTE | POS. NELL'AMBIENTE | SETTORE/I | QUADRATO/I |
| PIANTE | PROSPETTI | SEZIONI | FOTOGRAFIE |
| DEFINIZIONE E POSIZIONE Definizione stratigrafica: us positiva Definizione interpretativa: strato di terra | | QUOTE min: max: | NAT. ART. |
| CITERI DI DISTINZIONE forma, colore, composizione | | RIFERIMENTI/TABELE MATERIALI | |
| MODI DI FORMAZIONE accumulo | | RA. | |
| ORGANICI | | INORGANICI | |
| CONSISTENZA friabile | | COLORE marrone | MISURE |
| STATO DI CONSERVAZIONE in cons. lin. st. | | | |

| OSSERVAZIONI ante 5001 post 5003 | | |
|---|--|---------------|
| INTERPRETAZIONE buca agricola | | |
| DATAZIONE | PERIODO O FASE Periodo iniziale: Fase iniziale: Periodo finale: Fase finale: | ATTIVITÀ |
| ELEMENTI DATANTI | | |
| DATI QUANTITATIVI DEI REPERTI | | |
| CAMPIONATURE | FLOTTAZIONE | SETTAGGIATURA |
| AFFIDABILITÀ STRATIGRAFICA | | |
| RESPONSABILE SCIENTIFICO DELLE INDAGINI | | |
| DATA RILEVAMENTO SUL CAMPO 2020 | RESPONSABILE RIELABORAZIONE Federico Cappadona | |
| DATA RIELABORAZIONE 04/05/2021 | RESPONSABILE COMPILAZIONE SUL CAMPO Tommaso Stradati | |
| UGUALE A | SI LEGA A | POSTERIORE A |
| GLI SI APPOGGIA | SI APPOGGIA A | ANTERIORE A |
| COBERTO DA 5001 | COPIE | 5009 |
| TAGLIATO DA | TAGLIA | 5001 |
| RIEMPTO DA | RIEMPIE | 5009 |
| DESCRIZIONE Strato di accumulo posto a SE dell'area a matrice sabbiosa e di forma sub-circolare. La superficie risulta regolare e l'andamento pianeggiante. I limiti di delimitazione sono netti e l'andamento dei margini abbastanza regolare. Al suo interno presenta poche ossa animali, pochi frammenti di ceramica, piccoli frammenti di laterizio e un chiodo. Ha uno spessore di circa 30 cm e il margine di delimitazione con l'us sottostante sono netti. | | |

Fig. 5. Esempio di scheda U.S. cartacea utilizzata sul campo.

Caso studio

La chiesa di San Sisto è situata nel cuore del centro storico di Pisa, a pochi passi da Piazza dei Cavalieri e si sviluppa lungo un asse principale Ovest-Est dall'ingresso verso l'abside. Lungo il fianco meridionale della chiesa, a cui è appoggiata la canonica, un ampio giardino rimasto ineditato – cintato da edifici di recente costruzione e da un alto muro sul lato Ovest – costituisce l'area oggetto dello scavo archeologico.

La chiesa fu fondata nel 1087 [Scalia 1971; Cotza, 2017] da un gruppo di 'Pisani Gloriosi' che utilizzarono i proventi della presa di Al-Mahdiya in Tunisia. L'edificio si compone di tre navate e dieci campate, scandite da due file di archi su colonne di spoglio; la navata centrale, absidata, sovrasta le laterali. La facciata principale è coronata da un registro di archetti sormontato da bacini ceramici, caratteri decorativi tipici del romanico pisano.

L'aspetto odierno della chiesa è frutto di interventi di restauro in stile che nel corso del Novecento hanno parzialmente cancellato le tracce di interventi di ammodernamento del XVI e XVII secolo. L'area in cui la chiesa fu costruita era localizzata in una zona precedente-

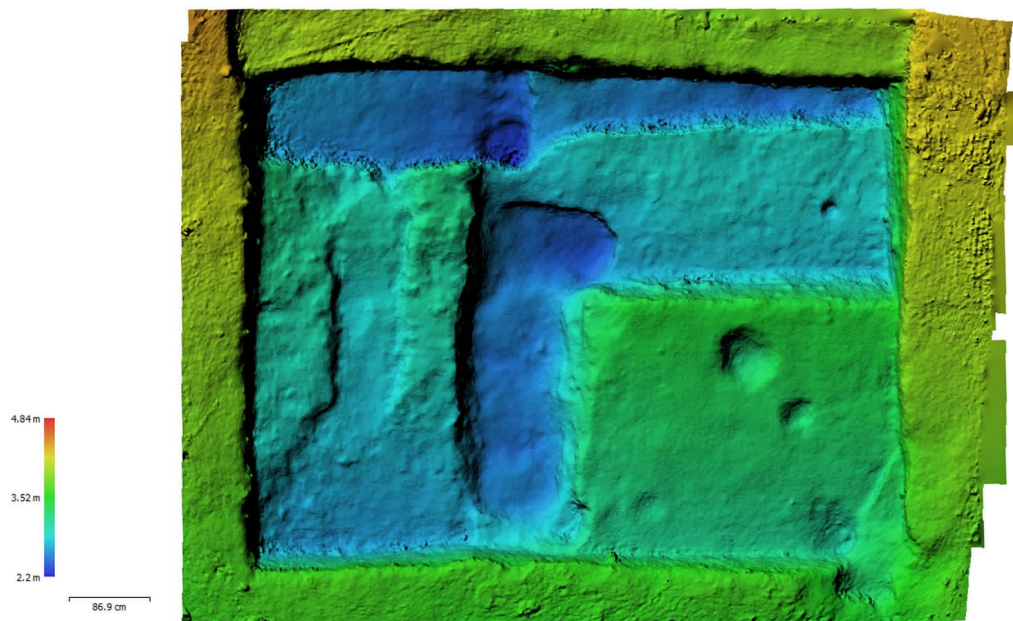


Fig. 6. Esempio di D.E.M. di U.S. del San Sisto Project. Elaborazione di G. Martinez.

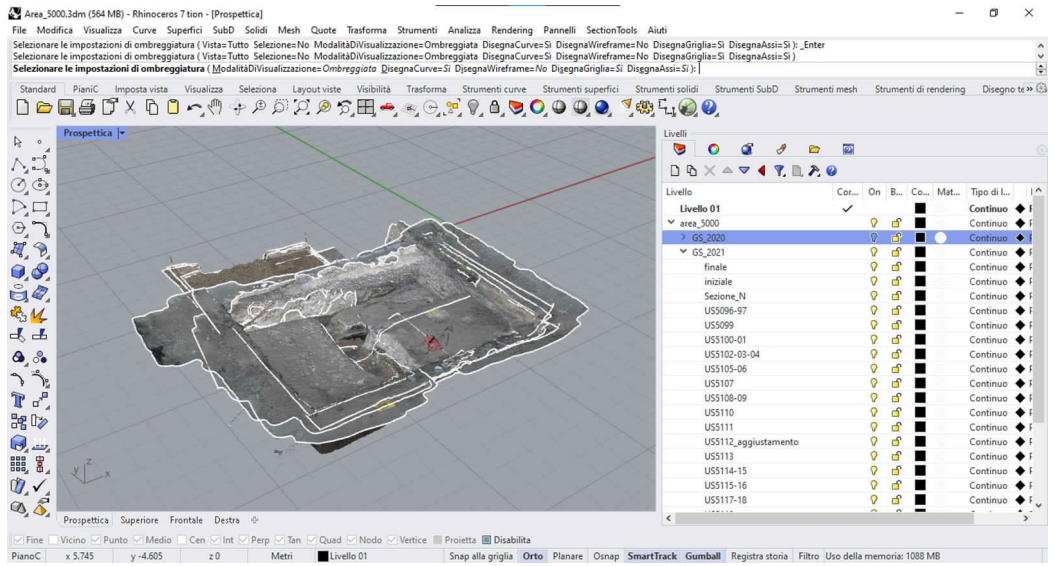


Fig. 7. Importazione e classificazione delle mesh delle singole US in Rhinoceros. Elaborazione grafica di L. Cintoli.

Proprietà

| Modelli generici (1) | |
|------------------------|---|
| Descr. stratigrafica | US= Strato di terra |
| Descrizione | Strato di terra posto a nord dell'area di matrice sabbiosa friabile, presenta una forma regolare ed una superficie irregolare con andamento abbastan... |
| Interpretazione | |
| Rapporti | [[Coperto da, '5095'] [Riempie, '5098']] |
| Stato di conservazione | No limiti originali |
| Elementi datanti | |
| Criteri di distinzione | Composizione |
| Osservazioni | |
| Anno di scavo | 2021 |
| Area | 5000 |
| Campioni | |
| Colore | Marrone |
| Componenti inorganici | [[Ardesia] [Pietre]] |
| Componenti organici | |
| Consistenza | Dura |
| Data schedatura | 10-09-2021 |
| Formazione | Antropica |
| id US | 453 |
| Inclusi | [[Ceramica] [Laterizi da copertura] [Vetro] D:\Lorenzo\Università\Tesi\Progetto\Scavi archeologici\BIM\PDF\Elenco Materiali.pdf |
| Modo formazione | Accumulo |
| Responsabile US | Cerrelli |
| Schedatore | Tumbiolo |
| Sito | San Sisto |
| Tipo di unità | US |
| US | 5096 |
| Strutturale | |
| Dati identità | |
| Fasi | |

Fig. 8. Trasferimento delle geometrie e dei dati da Rhinoceros a Revit tramite Rhino.Inside.Revit. Elaborazione grafica di L. Cintoli.

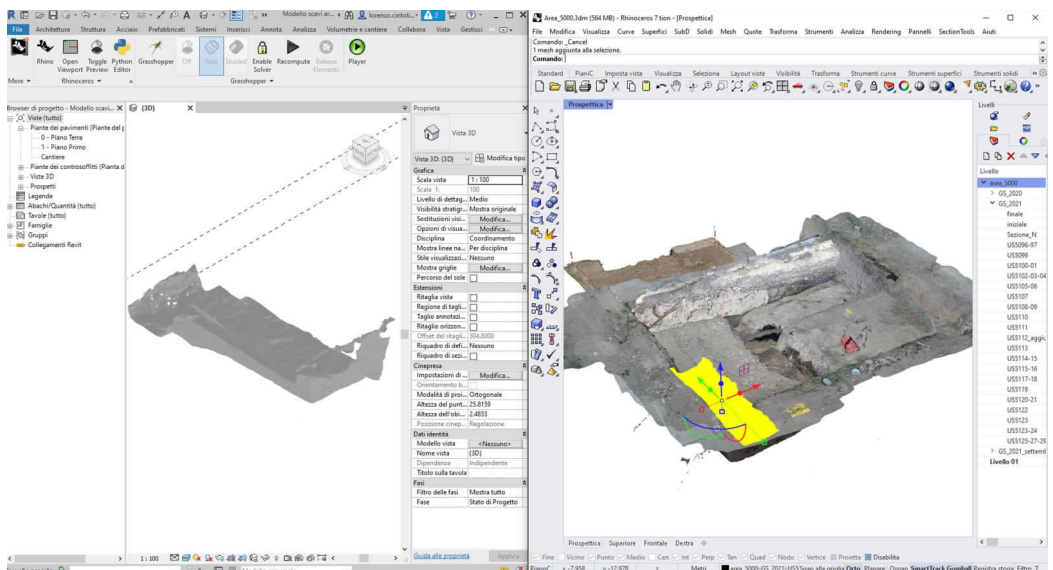
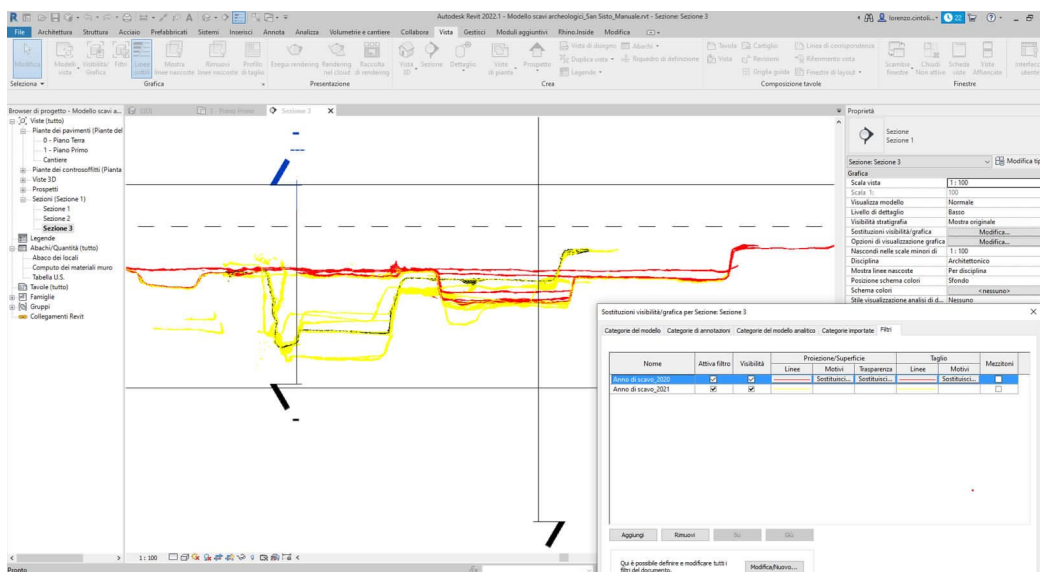


Fig. 9. Visualizzazione dei dati delle US in ambiente Revit. Elaborazione grafica L. Cintoli.

Fig. 10. Esempio di interrogazione tramite query del modello in Revit; sono visualizzate le U.S. con colorazioni differenti in base alla proprietà 'anno di scavo'. Elaborazione grafica L. Cintoli.



mente nota con il toponimo di 'Cortevicchia' [D'Alessandro, Nannipieri 1978], che è generalmente associato dagli storici alla corte regia altomedievale della città [Cantini et al. 2021]. Gli scavi archeologici del *San Sisto Project*, promosso dal Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere dell'Università di Pisa, iniziati nell'estate del 2020 sotto la direzione scientifica del Prof. Federico Cantini, hanno previsto l'apertura di otto aree di scavo nell'arco di tre anni. Le ricerche hanno consentito di rinvenire i resti di edifici databili tra l'età repubblicana e il XIV secolo: un portico di I-II secolo d.C., collegato ad una struttura verosimilmente pubblica, che viene riutilizzata nell'alto medioevo per l'impianto della corte regia, e il chiostro della canonica della chiesa di San Sisto (XII-XIV secolo). In virtù di queste scoperte, l'analisi dello scavo e la sua documentazione possono offrire un inedito contributo per ulteriori studi sulla storia romana e medievale di Pisa.

Metodologia

Il lavoro svolto sul caso studio è stato sviluppato su due differenti fronti: la costruzione di un modello digitale della chiesa di San Sisto secondo la metodologia H-BIM e la strutturazione di una proposta metodologica per la digitalizzazione in itinere dello scavo archeologico a partire dai dati forniti dagli archeologi.

Il primo fronte di lavoro, sviluppato secondo la metodologia riportata in figura 4, garantisce la completezza delle informazioni relative alla chiesa di San Sisto e al contesto in cui si inserisce, e permette di relazionare i dati dell'edificio attuale con le risultanze dell'analisi archeologica. Il contributo si concentra, piuttosto, sul secondo fronte di lavoro, relativo allo scavo archeologico.

La documentazione relativa al sito indagato, fornita dagli archeologi sotto forma di schede U.S., secondo la classificazione di Harris [Harris 1979], rilievi fotogrammetrici e dati di analisi in ambiente GIS, ha costituito il dato di partenza per lo sviluppo della metodologia, che si è articolata secondo le fasi di:

- rilievo: rilievi fotogrammetrici svolti dagli archeologi durante le varie fasi di scavo;
- elaborazione della nuvola di punti: in Agisoft Metashape, realizzazione di D.E.M. e suddivisione delle singole U.S., esportazione delle *mesh* delle singole U.S.;
- realizzazione di un modello in ambiente GIS: importazione del D.E.M. e caricamento dei dati delle U.S. in tabella;
- classificazione delle U.S. in ambiente 3D: importazione delle geometrie delle U.S. in Rhinoceros e suddivisione in *layer*;

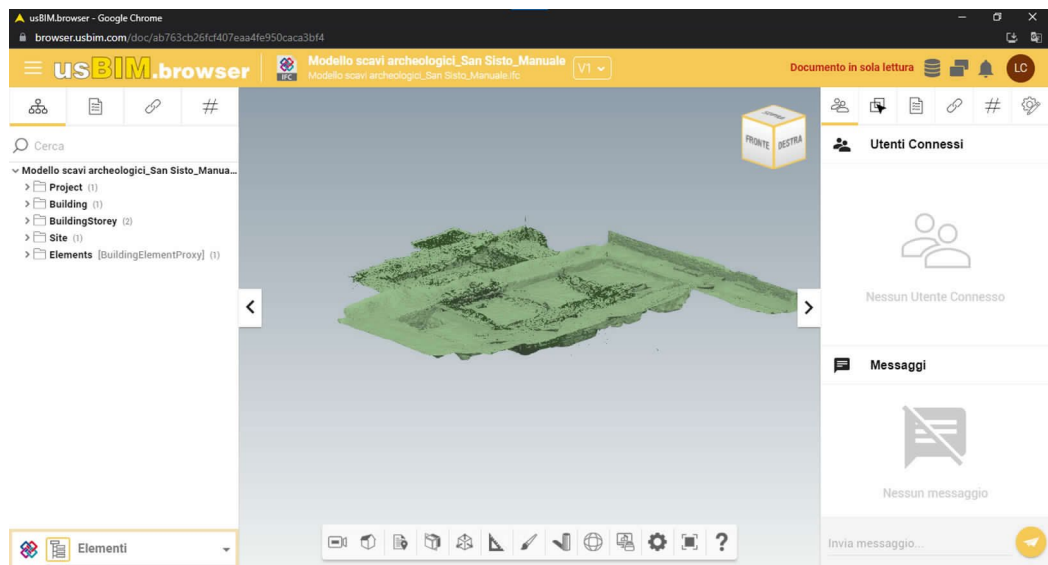


Fig. 11. Visualizzazione online, tramite usBIM, del modello realizzato. Elaborazione grafica di L. Cintoli.

- esportazione e trasferimento dei dati dall'ambiente GIS a Grasshopper: utilizzo del *plugin* TT Toolbox per la gestione dei dati di analisi relativi al sito di scavo;
- fusione dei dati: le geometrie e i dati sono fusi ed importati in ambiente BIM utilizzando il *plugin* Rhino.Inside.Revit.

Risultati ottenuti

Il team di archeologi ha provveduto al rilievo fotogrammetrico delle unità stratigrafiche e alla compilazione delle relative schede cartacee. Nella prassi già consolidata della *team* di archeologi, le nuvole di punti ottenute da fotogrammetria sono distinte per singola U.S. (singoli *chunk* sul software Agisoft Metashape) e utilizzate come base per la costruzione di *Digital Elevation Models* (D.E.M.), che sono caricati in ambiente GIS e informatizzati tramite compilazione di tabelle con i dati raccolti nelle schede cartacee. Questi dati hanno costituito il punto di partenza per la sperimentazione.

Dal rilievo fotogrammetrico, tramite un *batch process*, si è provveduto a produrre delle entità *mesh* delle singole U.S.; queste ultime, esportate e successivamente caricate in ambiente Rhinoceros, sono state classificate per denominazione (*layer*) e anno di scavo (gruppi). Le *mesh* sono successivamente state importate in ambiente BIM (Autodesk Revit) tramite il *plugin* Rhino.Inside.Revit.

Una tecnica di importazione semi-automatica è stata così sperimentata per l'operazione di caricamento in ambiente BIM dei dati relativi alle U.S.: questi ultimi sono stati esportati in estensione *.xls* dal modello GIS dello scavo e successivamente importati e gestiti in Grasshopper (Rhinoceros) attraverso il plug-in TT-Toolbox. In questo ambiente è stato possibile, usando ancora una volta gli strumenti offerti da Rhino.Inside.Revit, collegare le informazioni provenienti da GIS alle entità *mesh* precedentemente importate in ambiente BIM, identificate tramite il nome del *layer* di appartenenza (corrispondente al numero di U.S.). Lo script di Grasshopper realizzato consente l'importazione e informatizzazione semi-automatica di più elementi contemporaneamente. Poiché il file *.xls* e il modello Rhinoceros delle U.S. classificate possono essere progressivamente aggiornati senza alterare lo script, il modello realizzato può essere progressivamente esteso e arricchito.

In Autodesk Revit è stato strutturato un abaco contenente le informazioni importate, strumento utile per l'interrogazione e il filtraggio del modello attraverso *query* multi-parametro basate sulle informazioni associate. La visibilità degli elementi può essere regolata nelle visualizzazioni 2D e 3D, la caratterizzazione grafica esclusivamente nelle visualizzazioni 2D. Il modello è stato infine esportato in formato IFC da Revit e importato in rete sulla piattaforma usBIM di Acca per valutare la sua potenziale condivisione, la visualizzazione *in situ* e la divulgazione delle informazioni in esso contenute.

Conclusioni

L'approccio metodologico proposto per la digitalizzazione e l'implementazione in H-BIM degli scavi archeologici ottimizza le procedure fino ad ora adottate dagli archeologi in quanto consente di:

- informatizzare i dati su un modello 3D, rispetto alla prassi archeologica, basata a oggi esclusivamente sul 2D;
- trasferire semi-automaticamente i dati relativi al sito indagato e alle singole U.S. dal modello GIS al modello BIM;
- garantire dinamicità e estendibilità del modello, con aggiunta progressiva di elementi e informazioni, anche nel corso degli scavi.

Il modello H-BIM proposto per San Sisto non risulta esclusivamente uno strumento di analisi, documentazione o disseminazione, come già visto in sperimentazioni precedenti, ma diviene uno strumento di monitoraggio e di supporto al processo di valutazione delle strategie da adottare in uno scavo archeologico in corso.

Gli strumenti filtro del software utilizzato (Autodesk Revit), pur consentendo attualmente solo un numero limitato di operazioni, possono essere efficacemente implementati, in futuro, in funzione delle necessità specifiche di settore. Tra le possibili criticità della metodologia può essere considerata l'enorme mole di lavoro necessaria per la suddivisione manuale delle singole U.S. all'interno delle nuvole di punti prodotte in ambito fotogrammetrico; l'automatizzazione di questa fase è minata da numerosi ostacoli (altissima eterogeneità delle entità da segmentare, correlazione diretta tra le entità, successione delle fasi di scavo).

La futura combinazione del modello H-BIM dello scavo con quello della chiesa adiacente potrebbe consentire una lettura complessiva della storia di questa area della città di Pisa, offrendo notevoli spunti per l'analisi architettonica dei resti archeologici emersi e per la possibile ricostruzione virtuale delle diverse fasi di trasformazione dei bacini stratigrafici e degli edifici che vi furono costruiti tra età romana e medioevo.

Crediti

Il presente lavoro nasce da una collaborazione del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni e del Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere dell'Università di Pisa.

Riferimenti bibliografici

Attenui M. (2019). L'architettura romana al tempo del BIM. In T. Emler, A. Fusinetti (a cura di). *3D Modeling & BIM. Modelli e soluzioni per la digitalizzazione*, pp. 276-293. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile.

Barbosa M., Pauwels P., Ferreira V., Mateus L. (2016). Towards increased BIM usage for existing building interventions. In *Structural Survey*, vol. 34, n. 2, pp. 168-190.

Cantini F. et al. (2021). S. Sisto Project 2020. Archeologia dei centri del potere pubblico a Pisa. In *Archeologia Medievale*, vol. XLVIII, pp. 108-208.

Capone M., Lanzara E., (2019). Scan-To-BIM vs 3D Ideal Model HBIM: Parametric Tools to Study Domes Geometry. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XLII-2/W9, pp. 219-226.

Carpentiero L. (2020). Il BIM come modello di gestione di un sito archeologico. Oltre i limiti dell'oggetto parametrico tra criticità e nuove proposte. In *Newsletter Archeologia (CISA)*, vol. 11, pp. 69-85.

Cotza A., (2017). Storia, memoria, politica alla fine del secolo XI. Il Carme pisano sull'impresa contro i saraceni del 1087. In *Archivio storico italiano*, vol. 175, n.1, pp. 37-72.

D'Alessandro Nannipieri M. (1978). *Carte dell'Archivio di Stato di Pisa, 780-1070*, pp. 72-74. Roma: Edizioni di Storia e Letteratura.

Diara F., Rinaudo F. (2020). Building Archaeology documentation and analysis through open-source H-BIM solutions via NURBS modelling. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII/B2, pp. 1381-1388.

Diara F., Rinaudo F. (2021). ARK-BIM: Open-Source Cloud-Based H-BIM platform for Archaeology. In *Applied Sciences*, 11-8770.

Garagnani S., Gaucci A., Gruška B. (2016). ArchaeoBIM: an Innovative Method for Archaeological Analysis of an Etruscan Temple in Marzabotto. In J.L. Lerma, M. Cabrelles (a cura di). *Proceedings of the ARQUEOLÓGICA 2.0, 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation*, Valencia, 5-7 settembre 2016. Valencia: Polytechnic University of Valencia.

Harris E.C. (1979). *Principles of Archaeological Stratigraphy*. Academic Press; [Seconda ed. 1989].

Moyano J., Odriozola C.P., Nieto-Julian J.E. et al. (2020). Bringing BIM to archaeological heritage: Interdisciplinary method/strategy and accuracy applied to megalithic monument of the Copper Age. In *Journal of Cultural Heritage*, n. 45, pp. 303-314.

Saccucci M., Pelliccio A. (2018). Integrated BIM-GIS system for the enhancement of urban heritage. In *2018 Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo)*, Cassino, Italy, ottobre 22-24, pp. 222-226.

Scalia G. (2007). Pisa all'apice della gloria: l'epigrafe araba di S. Sisto e l'epitaffio della regina di Maiorca. In *Studi Medievali III*, vol. XLVIII, n. 2, pp. 809-828.

Autori

Piergiuseppe Rechichi, Università di Pisa, piergiuseppe.rechichi@phd.unipi.it

Lorenzo Cintoli, Università di Pisa, lorenzo.cintoli06@outlook.it

Valeria Croce, Università di Pisa, valeria.croce@ing.unipi.it

Andrea Piemonte, Università di Pisa, andrea.piemonte@unipi.it

Massimiliano Martino, Università di Pisa, m.martino@ing.unipi.it

Marco Giorgio Bevilacqua, Università di Pisa, marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it

Federico Cantini, Università di Pisa, federico.cantini@unipi.it

Gianluca Martinez, Università di Pisa, gianluacamartinez@hotmail.it

Per citare questo capitolo: Rechichi Piergiuseppe, Cintoli Lorenzo, Croce Valeria, Piemonte Andrea, Martino Massimiliano, Bevilacqua Marco Giorgio, Cantini Federico, Martinez Gianluca (2023). Digitalizzazione del patrimonio archeologico: procedure H-BIM per lo scavo della chiesa di San Sisto (Pisa)/Digitization of Archaeological Heritage: H-BIM Procedures for the San Sisto's Church Excavation (Pisa). In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3045-3064.



Digitization of Archaeological Heritage: H-BIM Procedures for the San Sisto's Church Excavation (Pisa)

Piergiuseppe Rechichi
Lorenzo Cintoli
Valeria Croce
Andrea Piemonte
Massimiliano Martino
Marco Giorgio Bevilacqua
Federico Cantini
Gianluca Martinez

Abstract

Standardized methodologies and dedicated applications that enable the digital documentation, collection, and enrichment of 3D data of archaeological heritage remain an open challenge. Recent experimentation has shown that the Heritage-Building Information Modeling (H-BIM) methodology could be an effective tool for visualizing 3D geometric entities, accompanying them with a set of information, querying the digital model, and promptly exporting the stratigraphic units to support the activity of archaeologists on the site. This contribution presents a methodological experimentation that integrates the practices already widespread in the archaeological field, based on Geographic Information System (GIS) and the subdivision of the surveys relative to the various stratigraphic units, with the potential of H-BIM, pursuing the progressive automation of the digitization procedures of a site, as well as the reduction of processing times. The resulting model can thus become a dynamic tool useful during the development of excavations and not only at their completion. The methodological proposal was tested on the archaeological excavations located near the Church of San Sisto in Pisa.

Keywords

H-BIM per l'Archeologia, scan-to-BIM, digital heritage, siti archeologici, rilievo 3D



The archaeological excavation near the Church of San Sisto (left). The digitization of part of the excavation (top). The interior and exterior of the church (bottom).

Introduction

This contribution discusses the application of the H-BIM methodology to the archaeological sector. Since the late 1990s, the BIM methodology has become a fundamental tool for relating three-dimensional geometric models in a complex system of descriptive information. Initially developed in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) sector, BIM has more recently been adapted with increasing diffusion to the built heritage, particularly historical heritage, as H-BIM [Barbosa et al. 2016; Capone, Lanzara 2019].

The extension of the H-BIM methodology to the archaeological field is a field of study with great potential but has only been partially explored [Diara, Rinaudo 2020]. The methodological complexity of archaeological research requires reconsidering essential aspects of the H-BIM methodology and adapting its characteristics to specific disciplinary needs. Currently, the processes and tools for digitizing archaeological heritage have been applied experimentally and without methodological standardization. For example, they lack the management of the three-dimensionality of the excavation site and the establishment of relationships between the digital records of the elements found and their geometric characteristics.

The multidisciplinary work carried out on the case study of the archaeological excavation near the Church of San Sisto involved the cooperation of archaeologists and engineers. The objective was to effectively address the disciplinary needs of the archaeologists and structure a methodological proposal for the digitization of the excavation in accordance with them.

State of the Art

The application of the H-BIM methodology to the archaeological field is currently limited to a few isolated case studies. The absence of general conventions and regulations on the subject is evident from the multitude of denominations that this methodology adaptation has assumed in the literature, such as A-BIM [Moyano et al. 2020], ARCHEO-BIM [Garagnani et al. 2016], or ARK-BIM [Diara, Rinaudo 2021]. The research in this context has been tailored to different needs and purposes, leading to heterogeneous final products. For example, Garagnani [Garagnani 2016] finalized the study conducted on the Temple of Uni in Marzabotto using H-BIM in archaeology to support the historical analysis of the sites and dissemination in the educational and touristic field. On the other hand, the studies

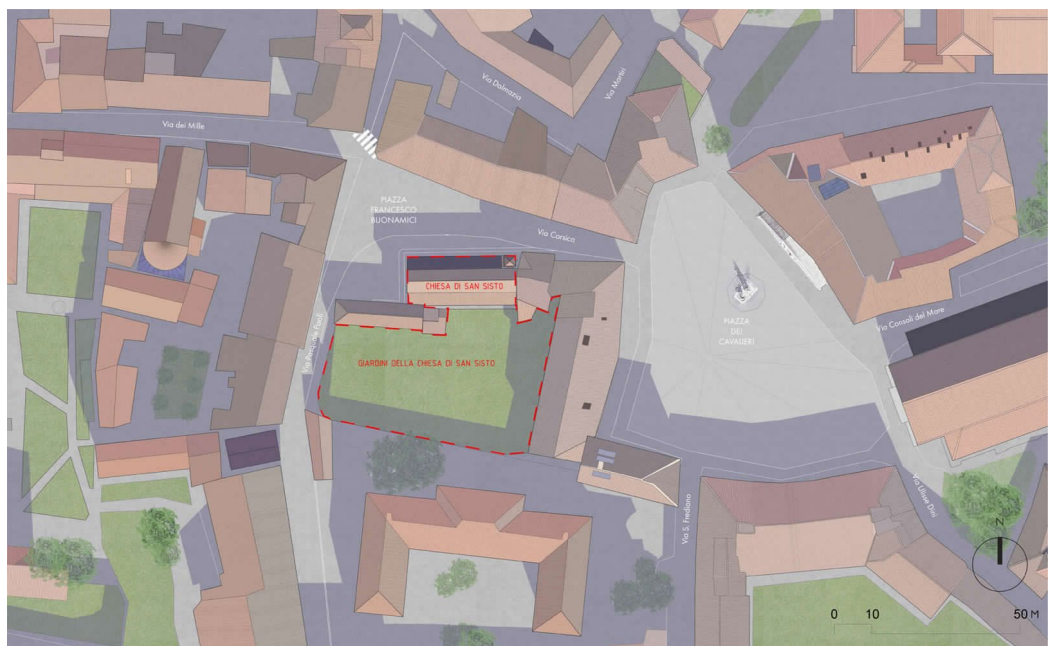


Fig. 1. Plan of the area of San Sisto. Graphic elaboration by L. Cintoli.



Fig. 2. The church of San Sisto. Photo by P. Rechichi.

conducted by Moyano [Moyano et al. 2020] and Diara [Diara, Rinaudo 2020] focused on technical issues, identifying specific complexities related to the characteristics of the entities to be digitized in the archaeological context, such as geometric and textural complexities, and proposing dedicated parametric modeling approaches. The complexity and diversity of the elements that can be found in an archaeological excavation are probably the factors that most obstruct methodological standardization and validation. Depending on the degree of detail required, the size of the elements, the portability of the finds, and the properties of the different materials present, it is necessary to carefully calibrate all the stages of the digitization process, from the survey and scan-to-BIM processing to the construction of the excavation database [Carpentiero 2020].

The possibility of standardizing and sharing the information associated with the geometric model is an essential element for the application of this methodology. The semantic

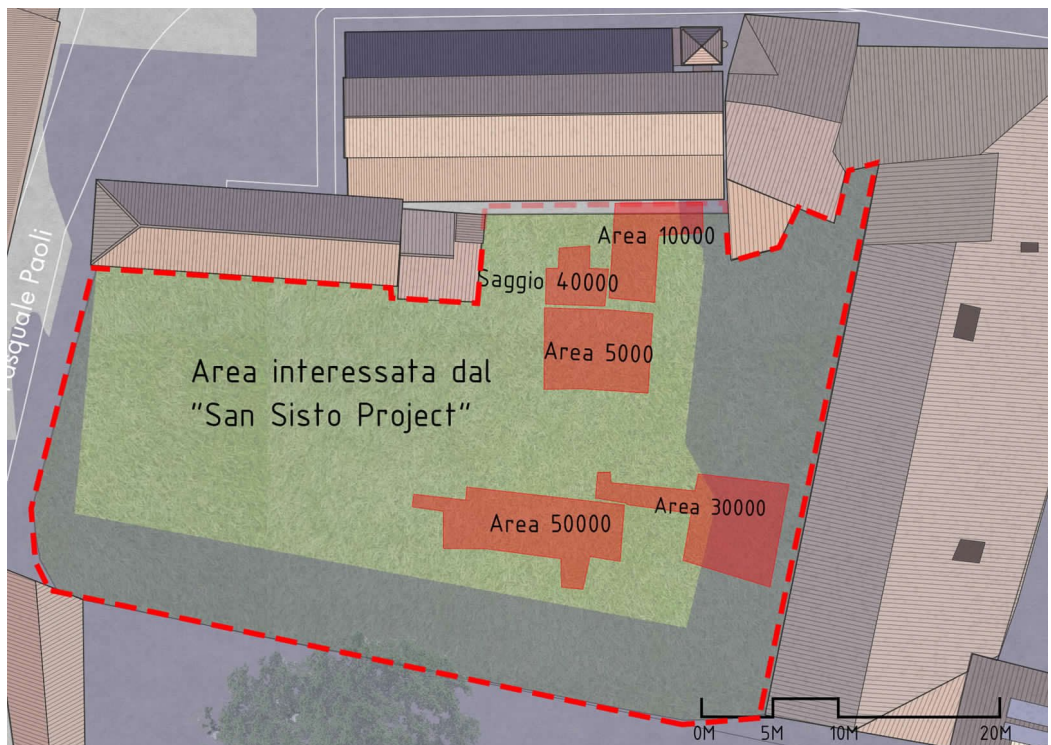


Fig. 3. Plan of the archaeological excavation of San Sisto Project. Graphic elaboration by L. Cintoli.

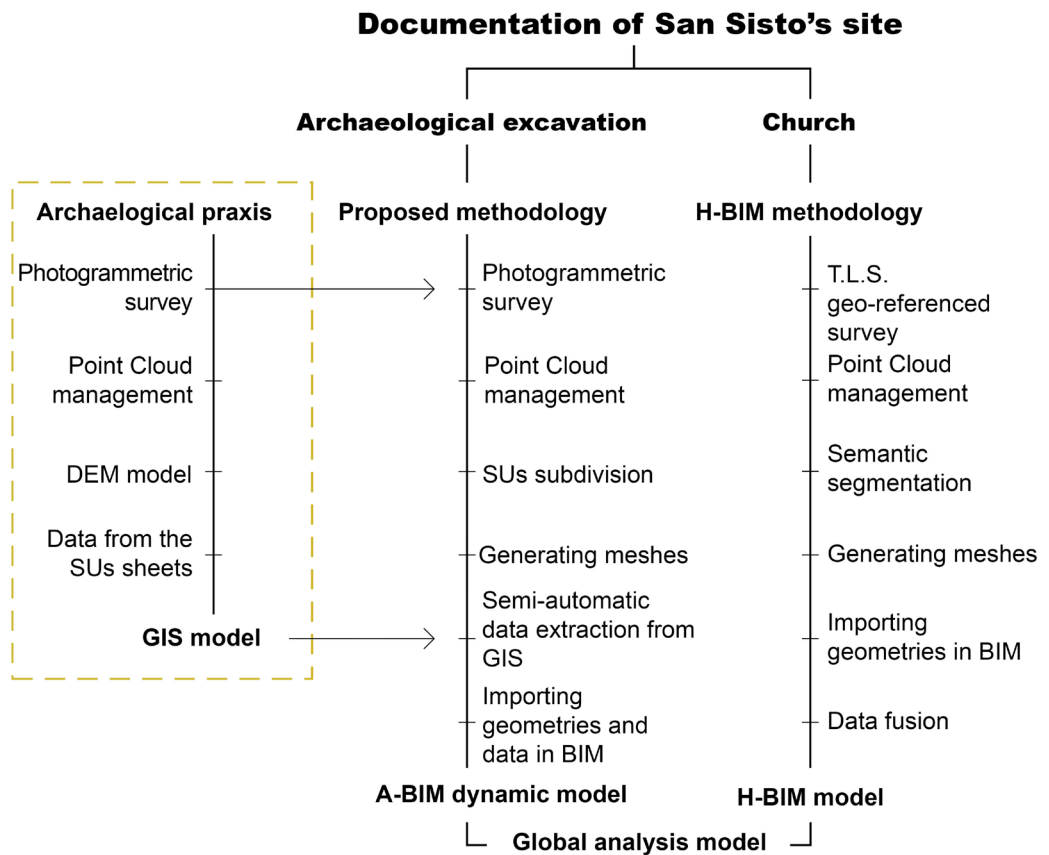


Fig. 4. Schematic diagram describing the proposed methodology. Graphic elaboration by the authors.

framework to be built around the 3D representation must inevitably take into account the practices and habits of archaeological research [Attenni 2019], including the analysis of stratigraphic units (SUs) according to the classification proposed by Harris [Harris 1979], and the production of archival documentation [Diara, Rinaudo, 2020]. This implies:

- The need for a flexible, multi-scalar workflow for the H-BIM methodology in archaeology;
- The use of appropriate survey techniques, depending on the different features discovered during the archaeological excavation phases;
- The definition of levels of geometric and material detail according to the aims of the archaeological research;
- The application of the scan-to-BIM methodology and management of multiple models depending on the final output;
- The semantic structuring of the information to be collected in the model.

The implementation of the relationship between the BIM model and the GIS (Geographic Information System) environment [Saccucci, Pelliccio 2018] (the latter already widely used in archaeology for the archiving of 2D information) and the creation of platforms dedicated to the management, navigation, and sharing of models are further potential developments in this field. A first experiment of an open-access platform was proposed by Diara (ARK-BIM) [Diara, Rinaudo 2021].

Case Study

The Church of San Sisto is situated in the heart of Pisa's historic center, just a short walk from Piazza dei Cavalieri. The church is built along a main axis running from west to east, starting from the entrance and leading towards the apse. Along the southern side of the church

| ENTE RESPONSABILE | | NUMERO/CODICE IDENTIFICATIVO DELL'UNITÀ STRATIGRAFICA | |
|--|--------------------|--|------------|
| US | | 5002 | |
| SOPRINTENDENZA MIURACT COMPETENTE PER TUTELA | | NUMERO/CODICE IDENTIFICATIVO DEL SAGGIO STRATIGRAFICO/DELL'EDIFICIO/DELLA STRUTTURA/DELLA DEPOSIZIONE FUNERARIA DI RIFERIMENTO | |
| LOCALITÀ | | | |
| San Sisto | | | |
| AREA/EDIFICIO/STRUTTURA | | SAGGIO | |
| 5000 | | | |
| AMBIENTE | POS. NELL'AMBIENTE | SETTORE/I | QUADRATO/I |
| | | | |
| PIANTE | PROSPETTI | SEZIONI | FOTOGRAFIE |
| | | | |
| DEFINIZIONE E POSIZIONE | | QUOTE | |
| Definizione stratigrafica: us positiva | | min: | |
| Definizione interpretativa: strato di terra | | max: | |
| CRITERI DI DISTINZIONE | | RIFERIMENTI/TABELE MATERIALI | |
| forma, colore, composizione | | RA: | |
| MODO FORMAZIONE | | | |
| accumulo | | | |
| ORGANICI | | INORGANICI | |
| | | | |
| CONSISTENZA | | COLORE | MISURE |
| iridabile | | marone | |
| STATO DI CONSERVAZIONE | | | |
| in cons. lin. st. | | | |

| | | |
|--|--|---------------|
| OSSERVAZIONI | | |
| ante 5001 post 5003 | | |
| INTERPRETAZIONE | | |
| base agricola | | |
| DATAZIONE | PERIODO O FASE | ATTIVITÀ |
| | Periodo iniziale: Fase iniziale: Periodo finale: Fase finale: | |
| ELEMENTI DATANTI | | |
| DATI QUANTITATIVI DEI REPERTI | | |
| CAMPIONATURE | FLOTTAZIONE | SETTAGGIATURA |
| AFFIDABILITÀ STRATIGRAFICA | | |
| RESPONSABILE SCIENTIFICO DELLE INDAGINI | | |
| DATA RILEVAMENTO SUL CAMPO | RESPONSABILE RIELABORAZIONE | |
| 2020 | Federico Cappadona | |
| DATA RIELABORAZIONE | RESPONSABILE COMPILAZIONE SUL CAMPO | |
| 04/05/2021 | Tommaso Stratielli | |
| UGUALE A | SI LEGA A | POSTERIORE A |
| | | 5009 |
| GLI SI APPOGGIA | SI APPOGGIA A | ANTERIORE A |
| | | 5001 |
| COBERTO DA | COPIE | |
| 5001 | | |
| TAGLIATO DA | TAGLIA | |
| | | |
| RIEMPTO DA | RIEMPIE | |
| | 5009 | |
| DESCRIZIONE | | |
| Strato di accumulo posto a SE dell'area a matrice sabbiosa e di forma sub-circolare. La superficie risulta regolare e l'andamento pianeggiante. I limiti di delimitazione sono netti e l'andamento dei margini abbastanza regolare. Al suo interno presenta poche ossa animali, pochi frammenti di ceramica, piccoli frammenti di laterizio e un chiodo. Ha uno spessore di circa 30 cm e il margine di delimitazione con l'us sottostante sono netti. | | |

Fig. 5. Sample of a U.S. form, printed and used on the field. San Sisto Project.

lies the presbytery, and next to it is a spacious, undeveloped garden. The area that was excavated archaeologically is located in the garden, which is now enclosed by recently constructed buildings and a tall wall on the west side.

According to sources such as Scalia [Scalia 1971] and Cotza [Cotza 2017], the Church of San Sisto was established in 1087 by a group of 'Pisani Gloriosi'. These individuals used the revenues obtained from the taking of Al-Mahdiya in Tunisia to fund the church's construction. The building consists of three aisles and ten spans, with two rows of arches on columns that were reused from previous buildings. The central apsidal aisle dominates the side aisles. The main facade is adorned with a register of small arches and ceramic basins, typical decorative elements of Pisan Romanesque architecture. During the twentieth century, the Church of San Sisto underwent a restoration that aimed to bring it back to its original style. However, this restoration effort also removed some traces of 16th- and 17th-century modernization. The church was built in an area known as 'Cortevecchia', according to D'Alessandro Nannipieri [D'Alessandro Nannipieri 1978]. Historians typically associate this area with the early medieval royal court of the city, as noted by Cantini [Cantini et al. 2021]. The San Sisto Project, which is promoted by the Department of Civilisations and Forms of Knowledge at the University of Pisa, initiated

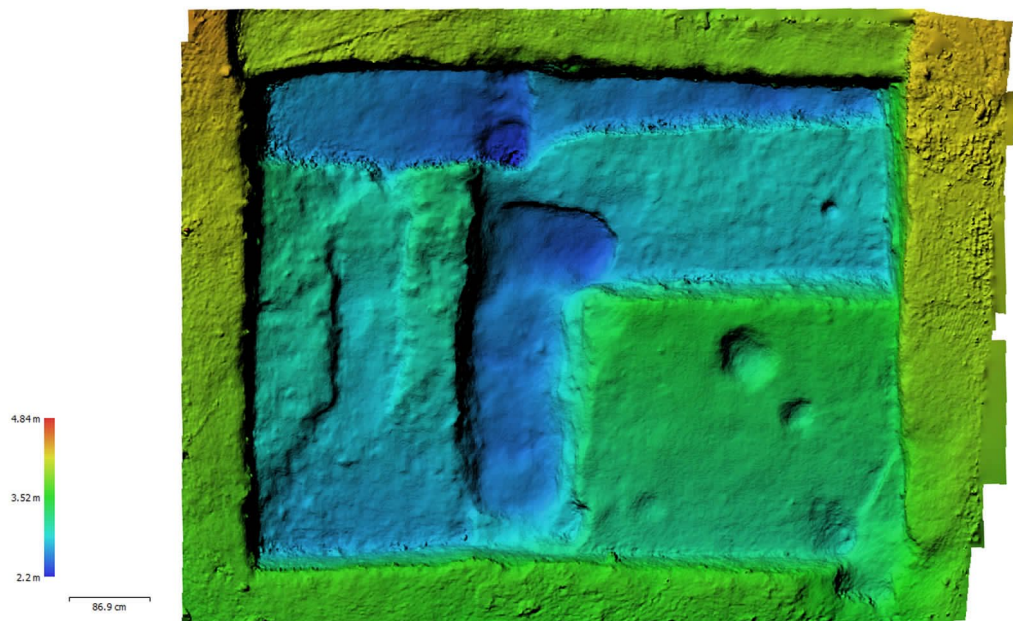


Fig. 6. Sample of a U.S. D.E.M. of San Sisto Project. Graphic elaboration by G. Martinez.

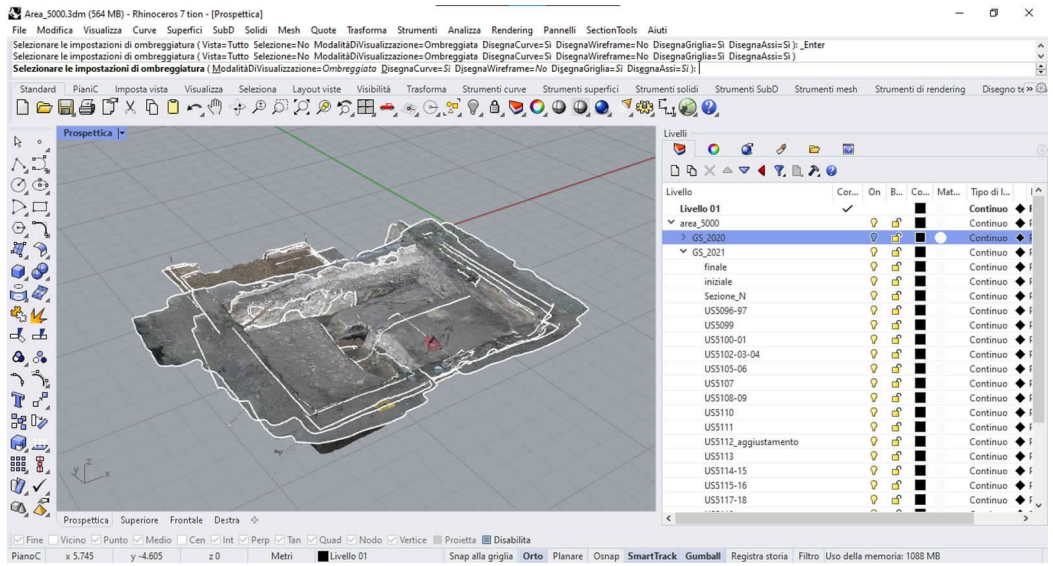


Fig. 7. Importation and classification in Rhinoceros of the meshes of single U.S. Graphic elaboration by L. Cintoli.

Proprietà

| Modelli generici (1) | |
|------------------------|---|
| Testo | |
| Descr. stratigrafia | US+ Strato di terra |
| Descr. interpretativa | |
| Descrizione | Strato di terra posto a nord dell'area di matrice sabbiosa friabile, presenta una forma regolare ed una superficie irregolare con andamento abbastan... |
| Interpretazione | |
| Rapporti | [[Coperto da, '5095'] [Riempie, '5098']] |
| Stato di conservazione | No limiti originali |
| Elementi datanti | |
| Criteri di distinzione | Composizione |
| Osservazioni | |
| Anno di scavo | 2021 |
| Area | 5000 |
| Campioni | |
| Colore | Marrone |
| Componenti inorganici | [[Ardesia] [Pietre]] |
| Componenti organici | |
| Consistenza | Dura |
| Data schedatura | 10-09-2021 |
| Formazione | Antropica |
| id US | 453 |
| Inclusi | [[Ceramica] [Laterizi da copertura] [Vetro] D:\Lorenzo\Università\Tesi\Progetto\Scavi archeologici\BIM\PDF\Elenco Materiali.pdf |
| Modo formazione | Accumulo |
| Responsabile US | Cerrelli |
| Schedatore | Turnbiolo |
| Sito | San Sisto |
| Tipo di unità | US |
| US | 5096 |
| Strutturale | |
| Dati identità | |
| Fasi | |

Fig. 8. Data and geometries flow from Rhinoceros to Revit, using Rhino.Inside.Revit. Graphic elaboration by L. Cintoli.

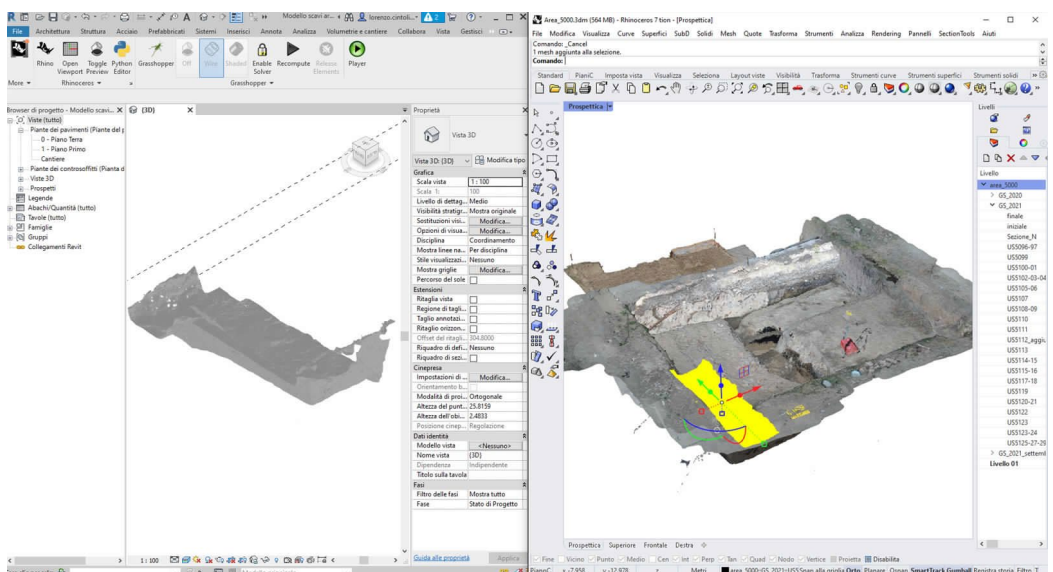


Fig. 9. Visualization of data from the U.S. in Revit. Graphic elaboration by L. Cintoli.

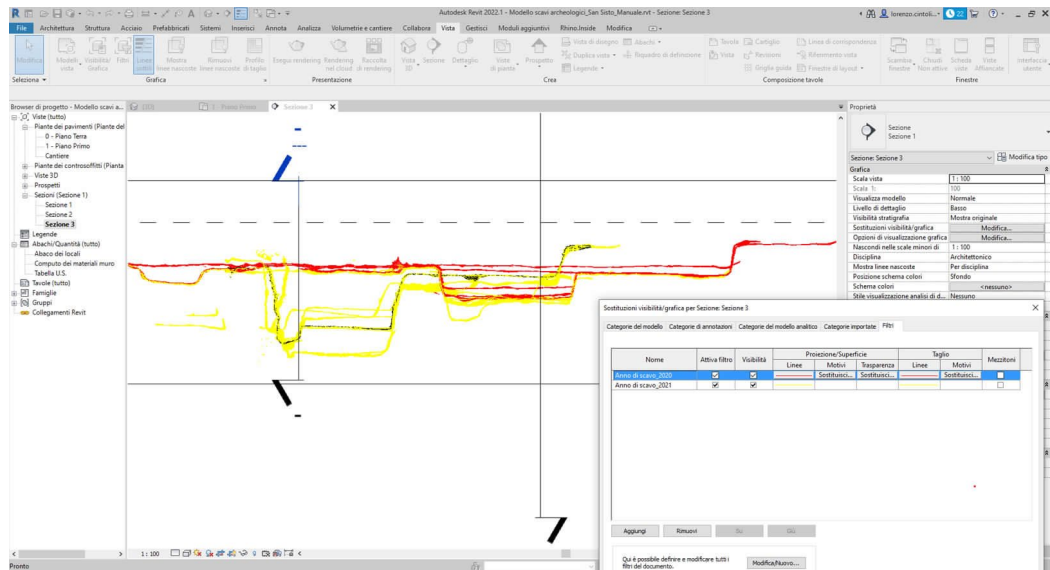


Fig. 10. Example of a query in Revit; different colours are displayed for each U.S. depending on the 'year of excavation' feature. Graphic elaboration by L. Cintoli.

archaeological excavations in the summer of 2020. Under the scientific direction of Professor Federico Cantini, the project aimed to open eight excavation areas over the course of 3 years. The research conducted as part of the *San Sisto Project* has unearthed the remains of several buildings that date from the Republican Age to the 14th century. Among the findings is a 1st–2nd century AD portico that was likely part of a public structure, which was subsequently repurposed in the early Middle Ages to accommodate the royal court. Additionally, the project has uncovered the cloister of the rectory of the Church of San Sisto, which dates from the 12th–14th century. The excavation and documentation of these discoveries could provide invaluable insights for future studies on the Roman and medieval history of Pisa.

Methodology

The case study involved two distinct work packages: the creation of a digital model of the Church of San Sisto using the H-BIM methodology and the development of a methodological proposal for digitizing the ongoing archaeological excavation based on data provided by the archaeologists. The first work package, which follows the methodology outlined in Figure 4, aims to provide comprehensive information about the Church of San Sisto and its context. It also enables the data pertaining to the current building to be compared with the findings of the archaeological analysis. However, this contribution will focus on the second work package, which pertains to the archaeological excavation itself. The archaeological excavation was documented using SU sheets, in accordance with Harris's classification [Harris 1979], photogrammetric surveys, and analytical data in the GIS environment. This documentation served as the basis for developing the proposed methodology, which was organized into the following phases:

- Survey: Photogrammetric surveys conducted by archaeologists during various excavation phases.
- Point cloud processing using Agisoft Metashape, which involves creating a Digital Elevation Model (DEM) and dividing individual SUs from the point cloud, later exported as meshes.
- Creating a model in the GIS environment by importing the DEM and loading SU sheet data into tables.
- Classifying SUs meshes in a 3D environment by importing geometries into Rhinoceros and dividing them into layers.

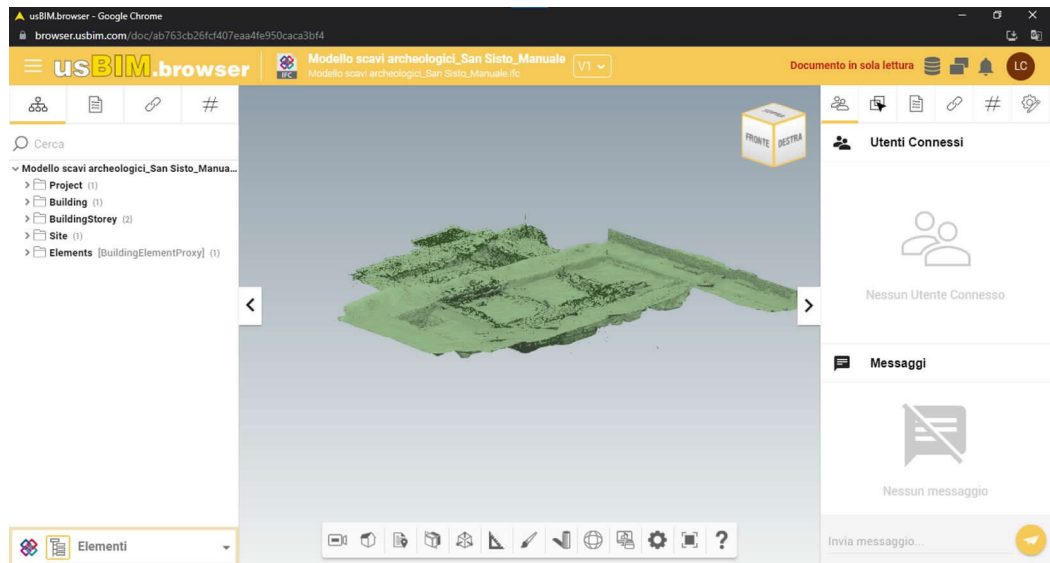


Fig. 11. Online visualization of the model on the usBIM platform. Graphic elaboration by L. Cintoli.

- Exporting and transferring data from the GIS environment to Grasshopper using the TT-Toolbox plugin to manage analytical data related to the excavation site.
- Data fusion, which involves importing and merging geometries and data into the BIM environment using the Rhino.Inside.Revit plugin.

Results

The team of archaeologists conducted a photogrammetric survey of the stratigraphic units and compiled the paper forms corresponding to individual SUs. As per the team's established practice, the point clouds derived from photogrammetry were separated into individual SUs (chunks on the Agisoft Metashape software) and utilized as the foundation for constructing DEM. These DEMs were then incorporated into the GIS environment, and data from the paper forms were compiled into tables to inform the model. These data were the initial basis for the research.

The meshes of the individual SU were extracted from the photogrammetric survey through a batch process. Later, the meshes were imported into Rhinoceros, where they were categorized by denomination (layer) and year of excavation (groups). Finally, using the Rhino.Inside.Revit plugin, the meshes were imported into the BIM environment (Autodesk Revit).

A semi-automatic import technique was used to upload SUs data into the BIM environment. The data was exported in .xls format from the GIS model of the excavation and then imported and managed in Grasshopper (Rhinoceros) using the TT-Toolbox plugin. With the help of Rhino.Inside.Revit, the data uploaded from GIS was associated with the geometric entities previously imported into BIM. The meshes were identified using the layer name corresponding to the number of the SU. The developed Grasshopper script allowed for the semi-automatic import and informatization of multiple elements at once. Since the .xls file and the Rhinoceros model of the categorized SUs can be updated progressively without altering the script, the resulting BIM model can be expanded and enhanced over time. An abacus was created in Autodesk Revit to organize the imported information, proving to be a valuable tool for querying and filtering the model through multi-parameter searches. Element visibility can be adjusted in both 2D and 3D views, while graphic characterization can only be adjusted in 2D views. Finally, the model was exported in IFC format from Revit and imported into Acca's usBIM platform to evaluate its potential for sharing, in-situ visualization, and dissemination.

Conclusions

The proposed methodological approach for digitizing and implementing archaeological excavations in H-BIM optimizes the procedures currently employed by archaeologists by allowing:

- Data to be informed on a 3D model instead of relying solely on 2D, as has been the standard in archaeological practice.
- Semi-automatic transfer of data related to the investigated site and individual SUs from the GIS model to the BIM model.
- Guaranteeing the dynamism and extendibility of the model, allowing for the progressive addition of elements and information, even during excavations.

The proposed H-BIM model for San Sisto serves not only as an analysis, documentation, or dissemination tool, as seen in previous experiments, but also functions as a monitoring tool for evaluating strategies to be employed in ongoing archaeological excavations. The filtering tools in Autodesk Revit, while currently limited in their operations, can be effectively expanded in the future to meet the specific needs of the discipline. One of the primary challenges of the methodology is the extensive workload required for the subdivision of individual SUs in the point clouds. Automating this process is impeded by various factors, such as the diversity of entities to be segmented, the relationships between different units, and the sequencing of excavation phases.

In the future, combining the H-BIM model of the excavation with that of the adjacent church could provide significant insights into the architectural analysis of the archaeological remains. This analysis enables a comprehensive understanding of the history of this area of the city of Pisa, potentially leading to the virtual reconstruction of various phases of transformation of the stratigraphic basins and the buildings constructed there from the Roman period to the Middle Ages.

Credits

This work is the result of collaboration between the Department of Energy, Systems, Territory, and Construction Engineering and the Department of Civilisations and Forms of Knowledge at the University of Pisa.

References

- Attenui M. (2019). L'architettura romana al tempo del BIM. In T. Emler, A. Fusinetti (Eds.). *3D Modeling & BIM. Modelli e soluzioni per la digitalizzazione*, pp. 276-293. Rome: DEITipografia del Genio Civile.
- Barbosa M., Pauwels P., Ferreira V., Mateus L. (2016). Towards increased BIM usage for existing building interventions. In *Structural Survey*, Vol. 34, No. 2, pp. 168-190.
- Cantini F. et al. (2021). S. Sisto Project 2020. Archeologia dei centri del potere pubblico a Pisa. In *Archeologia Medievale*, Vol. XLVIII, pp. 108-208.
- Capone M., Lanzara E., (2019). Scan-To-BIM vs 3D Ideal Model HBIM: Parametric Tools to Study Domes Geometry. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XLII-2/W9, pp. 219-226.
- Carpentiero L. (2020). Il BIM come modello di gestione di un sito archeologico. Oltre i limiti dell'oggetto parametrico tra criticità e nuove proposte. In *Newsletter Archeologia (CISA)*, Vol. 11, pp. 69-85.
- Cotza A., (2017). Storia, memoria, politica alla fine del secolo XI. Il Carme pisano sull'impresa contro i saraceni del 1087. In *Archivio storico italiano*, Vol. 175, No.1, pp. 37-72.
- D'Alessandro Nannipieri M. (1978). *Carte dell'Archivio di Stato di Pisa, 780-1070*, pp. 72-74. Rome: Edizioni di Storia e Letteratura.
- Diara F., Rinaudo F. (2020). Building Archaeology documentation and analysis through open-source H-BIM solutions via NURBS modelling. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII/B2, pp. 1381-1388.
- Diara F., Rinaudo F. (2021). ARK-BIM: Open-Source Cloud-Based H-BIM platform for Archaeology. In *Applied Sciences*, 11-8770.

Garagnani S., Gaucci A., Gruška B. (2016). ArchaeoBIM: an Innovative Method for Archaeological Analysis of an Etruscan Temple in Marzabotto. In J.L. Lerma, M. Cabrelles (Eds.). *Proceedings of the ARQUEOLÓGICA 2.0 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation*, Valencia, 5-7 September 2016. Valencia: Polytechnic University of Valencia.

Harris E.C. (1979). *Principles of Archaeological Stratigraphy*. Academic Press; [2nd ed. 1989].

Moyano J., Odriozola C.P., Nieto-Julian J.E., et al. (2020). Bringing BIM to archaeological heritage: Interdisciplinary method/strategy and accuracy applied to megalithic monument of the Copper Age. In *Journal of Cultural Heritage*, No. 45, pp. 303-314.

Saccucci M., Pelliccio A. (2018). Integrated BIM-GIS system for the enhancement of urban heritage. In *2018 Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo)*, Cassino, Italy, October 22-24, pp. 222-226.

Scalia G. (2007). Pisa all'apice della gloria: l'epigrafe araba di S. Sisto e l'epitaffio della regina di Maiorca. In *Studi Medievali III*, Vol. XLVIII, No. 2, pp. 809-828.

Authors

Piergiuseppe Rechichi, Università di Pisa, piergiuseppe.rechichi@phd.unipi.it

Lorenzo Cintoli, Università di Pisa, lorenzo.cintoli06@outlook.it

Valeria Croce, Università di Pisa, valeria.croce@ing.unipi.it

Andrea Piemonte, Università di Pisa, andrea.piemonte@unipi.it

Massimiliano Martino, Università di Pisa, m.martino@ing.unipi.it

Marco Giorgio Bevilacqua, Università di Pisa, marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it

Federico Cantini, Università di Pisa, federico.cantini@unipi.it

Gianluca Martinez, Università di Pisa, gianluacamartinez@hotmail.it

To cite this chapter: Rechichi Piergiuseppe, Cintoli Lorenzo, Croce Valeria, Piemonte Andrea, Martino Massimiliano, Bevilacqua Marco Giorgio, Cantini Federico, Martinez Gianluca (2023). Digitalizzazione del patrimonio archeologico: procedure H-BIM per lo scavo della chiesa di San Sisto (Pisa)/Digitization of Archaeological Heritage: H-BIM Procedures for the San Sisto's Church Excavation (Pisa). In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (Eds.). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 3045-3064.