

La ricerca attraverso i modelli digitali per la conoscenza del Foro di Nerva

Daniele Amadio
 Martina Attenni
 Tommaso Empler
 Carlo Inglese

Abstract

Nell'ambito della ricerca scientifica e della divulgazione del patrimonio architettonico e archeologico, il raggiungimento dei risultati implica la conoscenza e l'analisi delle proprietà materiali e immateriali. Questo processo parte dalla documentazione e si sviluppa attraverso l'identificazione di processi per raggiungere una conoscenza profonda dell'oggetto indagato attraverso la collaborazione e l'integrazione di competenze e metodologie diverse.

La ricerca presentata si confronta con queste tematiche nello studio del Foro di Nerva, nell'area archeologica centrale di Roma, come parte di uno dei più imponenti esempi di complesso architettonico di epoca imperiale, con l'obiettivo di analizzare il rapporto che intercorre tra lo stato attuale e il suo assetto originario. Vengono presentati gli esiti di due studi effettuati in tempi diversi, uno volto a proporre la ricostruzione virtuale dell'area analizzata, l'altro sviluppato con l'obiettivo di progettare e testare un sistema informativo complesso in grado di organizzare i dati eterogenei relativi al caso di studio. Entrambi contribuiscono a migliorarne la conoscenza tramite un approccio che integra le competenze di diversi specialisti coinvolti nel campo dell'Architettura Archeologica.

Parole chiave

architettura archeologica, modelli digitali, rilievo, database, modelli informati, ricostruzione virtuale



Sovrapposizione del modello informato sviluppato tramite VPL e della nuvola di punti di una porzione del Foro di Nerva.

Introduzione

Nel campo della rappresentazione, gli studi connessi alla cosiddetta Architettura Archeologica prevedono il coinvolgimento diretto di specialisti in diversi settori di ricerca: la storia, il rilievo, la modellazione, la comunicazione, implicando la definizione di un flusso di lavoro in grado di tenere insieme le diverse specificità di ciascuno. Lo studio prende avvio dalla conoscenza, intesa come un processo ampio e multidisciplinare, che riunisce dati quantitativi e qualitativi relativi all'oggetto indagato. La necessità di organizzare questi dati implica la definizione di un sistema informativo di cui il modello 3D, costruito in un ambiente virtuale e condiviso, costituisce il nucleo. Con il modello digitale, il processo di conoscenza perde i suoi limiti temporali e spaziali: può essere sottoposto ad indagine in ogni momento e sempre in modo reversibile, può essere discretizzato e selezionare solo alcune delle sue parti e degli strati stratigrafici utili alla comprensione dei dati, seguendo procedure persino più efficaci di quelli applicabili in loco.

La ricerca propone una procedura per raccogliere, interpretare e archiviare diverse tipologie di dati: storico culturali, legati ad una conoscenza preliminare del manufatto; quantitativi, derivanti dalle attività di rilevamento; qualitativi, la cui fonte risiede nelle capacità interpretative dello studioso. Partendo dalla complessa storia del Foro di Nerva (fig. 1), si propone una lettura del contesto attraverso modelli sviluppati con diversi obiettivi. Da una parte, la ricostruzione virtuale dello stato originario, basata sui documenti d'archivio, amplifica e migliora la conoscenza del caso di studio. Dall'altra, la costruzione di un modello informato raccoglie tutte le procedure di acquisizione, gestione e fruizione, tenendo traccia del livello di affidabilità di ciascun elemento e consentendo una gestione e diffusione dei dati esplicita e trasparente.



Fig. 1. L'area archeologica del Foro di Nerva. Planimetria tratta dal geoportale del Comune di Roma, <https://formaromae.comune.roma.it/content/home> (consultato il 22 Luglio 2024).

Il Foro di Nerva

All'interno del complesso dei Fori Imperiali a Roma, il Foro di Nerva, inaugurato dall'omonimo imperatore nel 97 d.C. e voluto dal suo predecessore Domiziano, proponeva un'originale soluzione per l'occupazione dello spazio urbano. Costruito nello stretto spazio compreso tra il Foro di Cesare, il Foro di Augusto ed il Tempio della Pace, su un tratto dell'*Argiletum*, l'antico percorso che collegava il Foro repubblicano con il quartiere della Suburra, la sua funzione originaria di passaggio è indicata dalla denominazione *Forum transitorium*, con cui è noto in età tardoantica [Viscogliosi 2009, pp. 202-209]. Lo spazio disponibile per la realizzazione della nuova piazza era troppo stretto per consentire la costruzione di normali portici come negli altri Fori, ma sufficiente per realizzare un colonnato aggettante rispetto ai lati lunghi delle pareti perimetrali. Al centro del lato corto, invece, fu costruito un tempio dedicato a Minerva, addossato all'emiciclo orientale del Foro di Augusto (fig. 2).

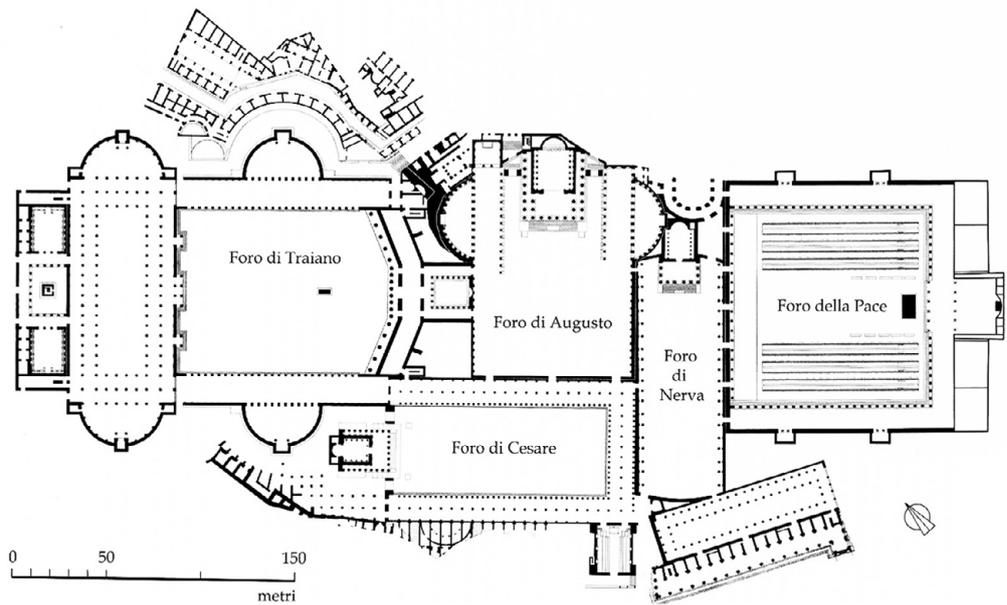


Fig. 2. I Fori Imperiali alla luce degli scavi condotti tra il 1926 e il 1977 (Archivio Sovrintendenza ai Beni Culturali del Comune di Roma).

Del Foro di Nerva sono oggi visibili i due estremi settori orientale e occidentale, mentre la parte centrale della piazza giace ancora inesplorata sotto Via dei Fori Imperiali (fig. 3). Il settore orientale mostra ciò che resta del colonnato – due sole colonne soprannominate in epoca moderna “Colonnacce” per il loro stato di rudere – e del Tempio di Minerva – parte delle poderose fondazioni in calcestruzzo e qualche filare del sovrastante podio in blocchi di tufo e travertino. A destra del podio, un tratto di strada: la parte esterna della copertura in blocchi di tufo della Cloaca Maxima. Su di essa era appoggiato il pavimento antico del Foro, la cui rimozione, avvenuta in epoca medievale, ha provocato profondi solchi nei blocchi di tufo causati dal passaggio dei carri, visibili ancora oggi. Nel settore occidentale, invece, non sono state rinvenute strutture in elevato ma solo resti della pavimentazione in lastre marmoree, sostituita all’inizio del V secolo, alcune strutture preesistenti rinvenute nel sottosuolo della piazza e due residenze nobiliari datate al IX secolo d.C., testimonianza – al momento unica – dell’edilizia aristocratica della Roma altomedievale (fig. 4).



Fig. 3. Il Foro di Nerva oggi con indicazione della sua estensione originaria.

Fig. 4. Le principali zone di interesse dell'area occidentale: i resti di un'abitazione aristocratica del IX secolo con portico verso la strada antistante impiantata sulla originaria pavimentazione marmorea del foro (in basso a sinistra) e le fondazioni dell'estremità meridionale della piazza del foro (in basso a destra).



Il modello ricostruttivo

Le informazioni di cui oggi si dispone provengono dai rilievi effettuati nei secoli scorsi che hanno consentito di analizzare i materiali rinvenuti e produrre ipotesi sull'assetto originario dell'area [1].

I primi rilievi furono effettuati dall'archeologo Rodolfo Lanciani nel 1882 e portarono alla luce porzioni della pavimentazione della piazza, resti dei muri perimetrali e le due "Colonnacce" che sporgevano. Le campagne di scavo condotte tra il 1926 e il 1934 e tra il 1940 e il 1942 [2] rivelarono la presenza della *Porticus Absidata* e parte della *Cloaca Maxima* [Colini 1937, pp. 7-40]. Gli scavi furono ripresi nel 1970, quando Heinrich Bauer scoprì una fondazione simile a quella del Tempio di Minerva sul lato opposto del Foro, ipotizzando che lì sorgesse un tempio dedicato a Giano [Bauer 1976, pp. 117-150]. Gli ultimi scavi sono stati condotti nel 1986-2008 dalla Sovrintendenza ai Beni Culturali del Comune di Roma insieme alla Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma [Meneghini 2009]. Sono stati rinvenuti resti del periodo protostorico, imperiale e altomedievale che hanno consentito di dedurre che fino al IX secolo non si sono registrati segni di grandi modifiche e spoliazioni [Santangeli Valenzani 1999, pp. 163-169].

Queste indagini hanno guidato la realizzazione di importanti documenti iconografici, tra cui la planimetria degli anni '70 di Bauer e alcune ipotesi ricostruttive, come quelle realizzate da Meneghini e "Inklink", o del "progetto Traiano" (fig. 5). Questi dati hanno indirizzato il processo di ricostruzione digitale del Foro di Nerva che ha trasformato i dati memorizzati su supporti cartacei tradizionali in un modello 3D [3]. In particolare, il modello ricostruttivo si basa sul rilievo del 1985-88 e sull'elaborazione grafica proposta dall'archeologo Roberto Meneghini nel suo testo *I fori imperiali. Scavi del comune di Roma 1991-2007* [Meneghini, Santangeli Valenzani 2007]. La ricostruzione proposta descrive la conformazione dell'area nel periodo imperiale e in quello alto medievale, mostrando una possibile conformazione della piazza, senza avanzare teorie sulle parti ancora incerte, come la terminazione occidentale del Foro. I due modelli sono accessibili in *real time* con la possibilità di passare agevolmente dall'uno all'altro [4] (fig. 6).

Dati archeologici e rilievo digitale: nuove metodologie per l'integrazione

A partire dal 2021, la raccolta di dati relativi al settore occidentale del Foro di Nerva ha costituito il punto di partenza per documentare l'area tramite un modello digitale [5] che integra i metodi del rilievo e della rappresentazione con quelli della ricerca archeologica. Il recupero della documentazione di scavo ha consentito di associare le descrizioni delle strutture a quelle degli strati, redatte con grande accuratezza durante le varie campagne. Le unità stratigrafiche (US) sono state analizzate rispetto alle caratteristiche dimensionali, materiche, di composizione, consistenza e colore e rispetto alle loro relazioni spaziali [6].



Fig. 5. Ipotesi ricostruttiva digitale del "Progetto Traiano" 2014, <https://www.progettotraiano.com/#il-progetto> (consultato il 22 Luglio 2024).



Fig. 6. Ricostruzione con navigazione in *real time* del Foro di Nerva in periodo Imperiale. Elaborazione di Burda Klint.

La rappresentazione delle stratificazioni dei contesti e delle strutture in elevazione, in campo archeologico, è spesso demandata all'utilizzo delle cosiddette Matrix, un linguaggio semantico basato sulla teoria dei grafi [Harris et al. 1993; Mancuso 2023, pp. 123-142]. La costruzione della Matrix parte dalla raccolta di dati e dalla loro sistemazione all'interno di una tabella che riporti le fonti, l'analisi stratigrafica, la classificazione dei resti archeologici e le loro caratteristiche [Demetrescu Ferdani 2021, pp. 1-23]. Il risultato di questo processo è un grafo che descrive lo stato del contesto archeologico organizzando i dati secondo una sintassi visuale standardizzata, tenendo traccia di tutte le fonti e i processi di conoscenza, fornendo un'annotazione semantica per ciascuna delle US.

Integrare questo metodo con la rappresentazione dell'architettura tramite modelli digitali contribuisce alla lettura dell'area del Foro di Nerva rendendo visibili le relazioni tra lo sta-

to attuale e i resti dell'antico. Alla rigorosa raccolta e alla classificazione di informazioni si accompagna un'analisi orientata alla presentazione oggettiva dello stato di fatto del Foro di Nerva nel suo rapporto con il contesto topografico, condotta attraverso una campagna di rilevamento integrato svolta nell'aprile del 2021. Le operazioni di rilevamento sono state sviluppate attraverso una scansione laser 3D, comprendendo sia le strutture e i resti archeologici, sia i target già posizionati all'interno dell'area interessata in occasione di un precedente rilievo topografico effettuato dalla Sovrintendenza Capitolina nel 2013. L'impiego del Laser Scanner ha consentito il controllo diffuso dell'impianto in termini metrici e geometrici; la presenza dei target ha reso possibile l'integrazione delle diverse metodologie mediante una rete di punti noti utile a collegare tra loro dati di origine diversa [Galli et al. 2019, pp. 151-171]. L'allineamento del sistema di coordinate locali della scansione laser 3D alla rete topografica esistente del Foro è stato assicurato attraverso l'acquisizione di due capisaldi traguardabili e disposti a nord-ovest (vertice V105 e vertice V106). Inoltre, l'integrazione con il rilievo topografico ha consentito di controllare metricamente la sovrapposizione tra il modello numerico derivato dall'elaborazione delle scansioni (fig. 7) e alcuni punti caratteristici traguardati sulle superfici rilevate.

Il modello numerico ottenuto possiede le informazioni metriche, geometriche, formali e spaziali della configurazione attuale dell'area in esame, che, integrate a quelle fornite dalla Matrix, rendono la documentazione completa dal punto di vista delle associazioni spaziali e dalla semantica.



Fig. 7. Viste della nuvola di punti generata da acquisizione mediante Laser Scanner 3D.

Il modello informato

Le schede elaborate in forma cartacea tradizionale in oltre 60 anni di attività sul Foro e il modello numerico derivante dall'elaborazione dei dati di rilievo hanno costituito la base su cui costruire il modello informato [Monti 2015]. Il sistema proposto supera le limitazioni dei sistemi GIS di correlazione dati in ambiente 2D offrendone una gestione in un ambiente 3D. In particolare, lo sviluppo di una procedura HBIM ha consentito sia di raccogliere tutte le informazioni provenienti dagli scavi, sia di collocare precisamente i diversi strati nello spazio tridimensionale avendo coscienza dei vari livelli e delle fasi di scavo.

Inoltre, la complessità e l'eterogeneità delle informazioni disponibili ha suggerito di integrare il processo HBIM con un sistema sviluppato in *Visual Programming Language* (VPL). Le attività sono state articolate in tre fasi: raccolta e digitalizzazione delle informazioni esistenti, modellazione 3D, informatizzazione.

Le informazioni digitalizzate nella prima fase sono di tipo testuale e di tipo geometrico, entrambe presenti nelle schede delle US e negli *overlay* di scavo. Le informazioni testuali sono state trasferite in un database consistente in un foglio di calcolo tabellare unificato per tutto lo scavo. In questo modo tutte le US posseggono gli stessi parametri (codice identificativo, breve descrizione, materiale, datazione, posizione e quota, rapporto con le altre US), accorgimento necessario per massimizzare successivamente l'efficienza del sistema di gestione VPL. Le informazioni geometriche provenienti dagli *overlay* di scavo sono state prima digitalizzate mediante una loro scansione, generando immagini che sono state georeferenziate e vettorializzate e che hanno costituito la base per la modellazione 3D.

La modellazione tridimensionale delle singole US ha preso avvio dai dati geometrici e dimensionali presenti in ogni scheda (fig. 8).

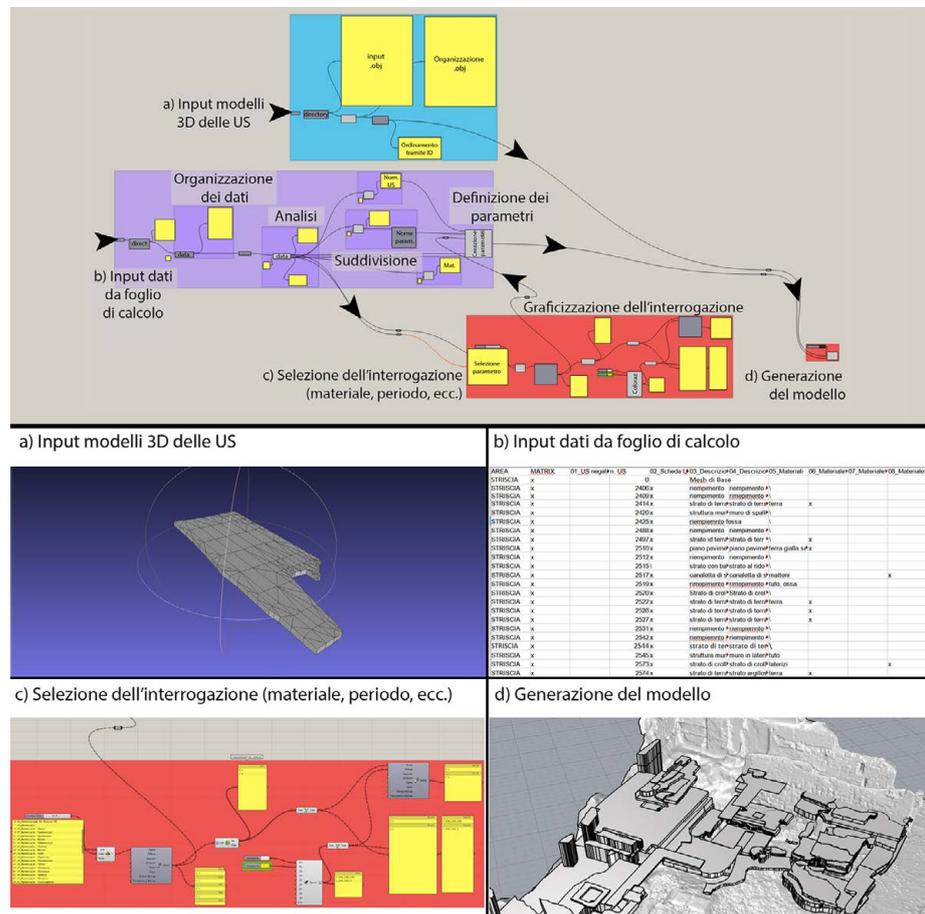


Fig. 8. Schema in VPL elaborato per la realizzazione ed interrogazione del modello BIM.

Ognuna di esse è stata precedentemente rappresentata all'interno della restituzione 2D del rilievo topografico e poi modellata, considerando le problematiche legate al livello eterogeneo delle informazioni metriche presenti nelle schede US e nei disegni degli *overlay*, al fine di creare una *directory* generale contenente tutti i modelli 3D delle US. Ogni modello possiede le coordinate originarie provenienti dal rilievo topografico ed è georeferito rispetto alle coordinate x e y [Oreni et al. 2014], mentre il posizionamento rispetto all'asse z coincide con la quota di rilievo presente nelle graficizzazioni di scavo.

Avendo a disposizione un database ed i modelli tridimensionali georeferiti delle US, attraverso la creazione di un algoritmo in VPL è stato possibile associare ai modelli tridimensionali le informazioni precedentemente organizzate [Calvano 2022 pp. 16-32]. L'algoritmo sviluppato raccoglie le informazioni dal database (punto a), le associa al modello 3D di ogni US (punto b) e genera un modello informato in un ambiente host 3D (fig. 9).

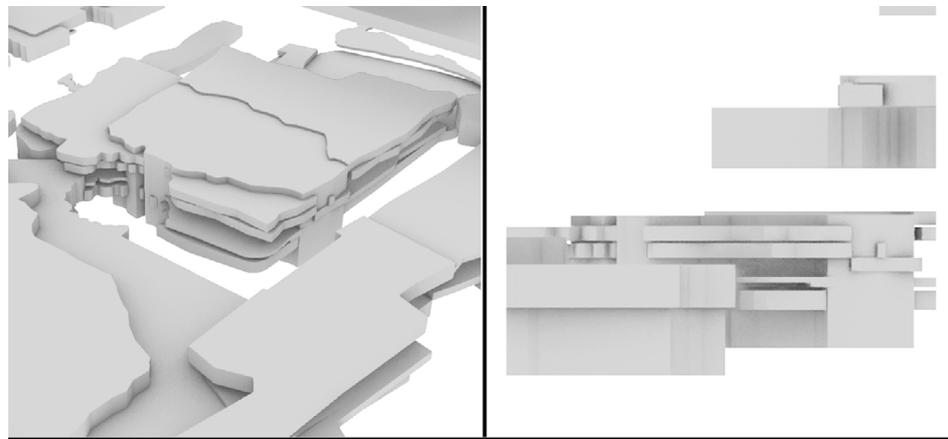


Fig. 9. Modello tridimensionale di una parte delle US (in alto) e dell'area analizzata (in basso). Elaborazione di Daniele Amadio.

Infine, è stata sviluppata un'appendice dell'algoritmo che permette di interrogare il modello informato e di evidenziare graficamente i risultati di tali operazioni (fig. 10).

La procedura proposta supera i limiti imposti dai più diffusi BIM *modeler* [7], oltre ad assolvere alle funzioni di raccolta, analisi, gestione dei dati. È infatti possibile aggiornare o implementare rapidamente le informazioni presenti nel modello agendo sul foglio di calcolo, consentendo anche ad archeologi o ad operatori non specializzati in processi BIM di aggiornare i parametri e, automaticamente, il modello.

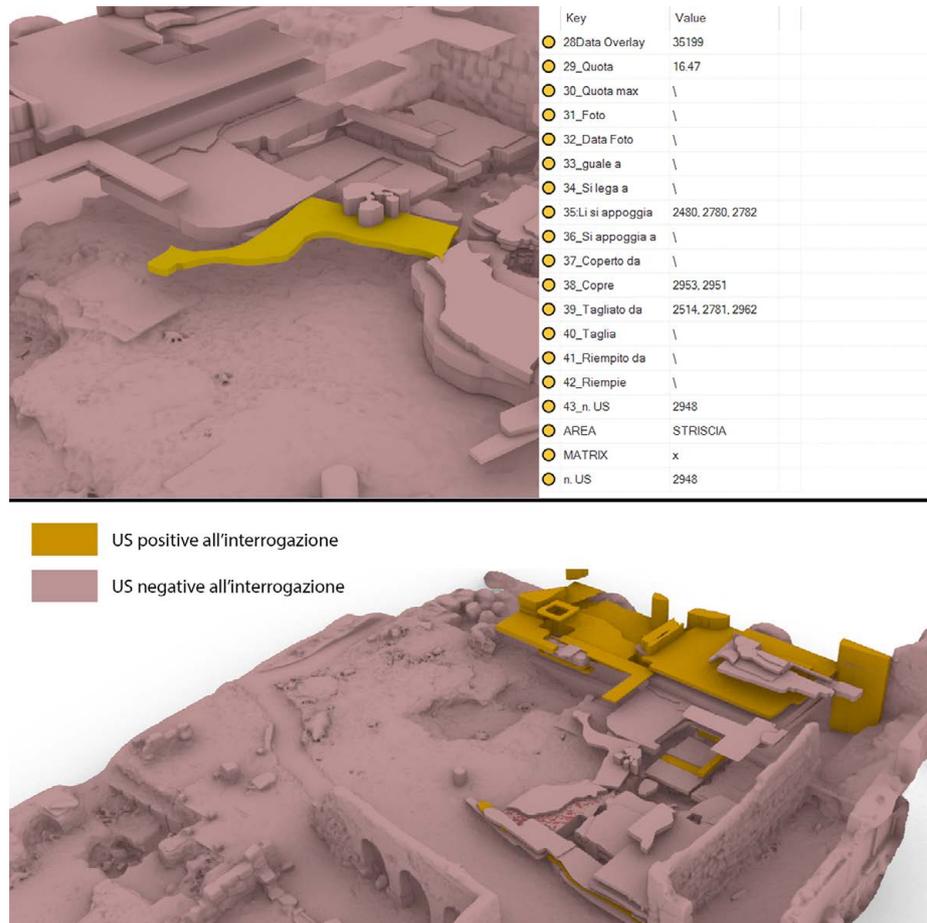


Fig. 10. Esempio dei parametri presenti nelle singole US (in alto) e interrogazione del modello digitale con evidenziate in colore giallo le US positive alla richiesta effettuata. Elaborazione di Daniele Amadio.

Conclusioni

Il flusso di lavoro proposto risulta compatibile con quello che studiosi e ricercatori chiamano Metodo Scientifico, un protocollo in grado di distinguere i dati, tendenti all'oggettività, dalla loro interpretazione, sempre congetturale e soggettiva. Ciò innesca uno scambio molto fruttuoso di dati e informazioni in un processo di documentazione a più livelli. I modelli proposti forniscono una rappresentazione efficace e articolata in cui le modalità di rappresentazione digitale costituiscono un'interpretazione integrata di dati eterogenei (fig. 11). Entrambi esprimono le relazioni spaziali e temporali degli elementi che li compongono, rispondendo all'esigenza di preservare, valorizzare e divulgare il patrimonio archeologico attraverso un sistema aperto di conoscenza.



Fig. 11. Sovrapposizione del modello BIM e della nuvola di punti.

Note

[1] Vengono elencate le principali scoperte al fine di proporre un inquadramento generale dell'area di studio, certamente non esaustive rispetto alle importanti scoperte archeologiche. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla bibliografia.

[2] La prima campagna di scavo fu diretta dall'archeologo Corrado Ricci, la seconda, nell'area del Tempio di Minerva, dall'archeologo Antonio M. Colini.

[3] Si fa riferimento alla ricerca di Ateneo dal titolo *Lo studio delle mutazioni architettoniche e urbane tra fondamenti scientifici e valenze divulgative: ipotesi ricostruttive a confronto mediante modellazioni 3D* dei Proff. Alessandro Viscogliosi (responsabile scientifico), Tommaso Empler, Elena Ippoliti, Fabio Quici, Guglielmo Villa.

[4] La funzione è stata sviluppata nel percorso di tesi di laurea dal titolo *Ricostruzione storica 3D del Foro di Nerva*, relatore Tommaso Empler, candidati Barbara Forte, Emanuele Fortunati.

[5] Si fa riferimento alle attività sviluppate nell'ambito della ricerca di Ateneo dal titolo *Metodologie di rilievo complesso. Documentazione, modellazione e comunicazione del Foro di Nerva a Roma*, dei Proff. Carlo Inglese (responsabile scientifico), Carlo Bianchini, Tommaso Empler, Nicola Santopuoli, Guglielmo Villa, Alessandro Viscogliosi.

[6] Le attività di raccolta, analisi e organizzazione dei dati archeologici sono state condotte dall'Arch. Flavia Benfante.

[7] Ci si riferisce alla difficoltà di rappresentare le reali geometrie degli elementi senza ricorrere ad eccessive semplificazioni o all'uso di modelli generici, e alla possibilità di ottimizzare la creazione e la gestione dei numerosi parametri delle US.

Crediti

Nella totale condivisione dei contenuti dell'articolo, Carlo Inglese si è occupato dei paragrafi "Introduzione" e "Conclusioni", Tommaso Empler dei paragrafi "Il Foro di Nerva" e "Il modello ricostruttivo", Martina Attenni del paragrafo "Dati archeologici e rilievo digitale: nuove metodologie per l'integrazione", Daniele Amadio del paragrafo "La costruzione del modello informato".

Riferimenti bibliografici

Bauer H. (1977). Il Foro Transitorio e il Tempio di Giano. In *Atti della Pontificia accademia romana di archeologia 1976-1977*, pp. 117-150. Città del Vaticano: Tipografia poliglotta vaticana.

Brusaporci S., Maiezza P. (2016). Tra "Historical Bim" ed "Heritage Bim": Building Information Modeling per la documentazione dei beni architettonici. In S. Parrinello, D. Besana (a cura di). *Contributi per la documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e della tutela paesaggistica*. Atti del V Convegno Internazionale sulla documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e sulla tutela paesaggistica. Pavia, 6-8 ottobre 2016. pp. 42-51. Firenze: Edifir.

Calvano M. (2022). Some thoughts on Visual Programming Language and its learning. In T. Empler, A. Caldarone, E. D'Angelo, A. Fusinetti (a cura di). *Information & 3D modeling per il patrimonio costruito*, pp. 16-32. Roma: Tipografia del Genio.

Colini A.M. (1937). Forum Pacis. In *Bullettino della Commissione Archeologica Comunale di Roma*, n. 65, pp. 7-40.

Delfino A. (2014). *Forum Iulium. L'area del Foro di Cesare alla luce delle campagne di scavo 2005-2008 Le fasi arcaica, repubblicana e cesariano-augustea*. Oxford: Archaeopress. <DOI:10.15184/aqy.2015.69 >

Demetrescu E., Ferdani D. (2021). From field archaeology to virtual reconstruction: A five steps method using the Extended Matrix. In *Applied Sciences*, 11, 5206, 2021, pp. 1-23. <<https://doi.org/10.3390/app11115206>>

Galli M., Griffo M., Inglese C., Ismaelli T. (2019). Vecchi scavi e nuove tecnologie: primi risultati del Progetto Basilica Iulia. In *Archeologia e Calcolatori*, 30, pp. 151-171.

Garagnani S. (2013). Building Information Modeling and real-world knowledge: a methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment. Atti del *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*. Marseille, 28 Ottobre-1 Novembre 2013, Vol. 2, pp. 489-496. DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743788

Harris E.C., Brown III M. R., Brown G.J. (1993). *Practices of Archaeological Stratigraphy*. Cambridge: Academic Press.

Mancuso G. (2023). Archaeobim ed extended matrix. Analisi e potenzialità di due processi per l'elaborazione di modelli informativi. In *Archeologia e Calcolatori*, 34,2, pp. 123-142. <<https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.07>>

Meneghini R. (2009). *I Fori Imperiali e i Mercati di Traiano. Storia e descrizione dei monumenti alla luce degli studi e degli scavi recenti*. Roma: Istituto Poligrafico dello Stato.

Meneghini R., Santangeli Valenzani R. (2007). *I fori imperiali. Scavi del comune di Roma 1991-2007*. Roma: Viviani Editore.

Monti C., Selvini A. (2015). *Topografia, fotogrammetria e rappresentazione all'inizio del ventunesimo secolo, strumenti e modalità operative*. Segrate: Maggioli.

Oreni D., Brumana R., Della Torre S. (2014). Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). In *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci II-5-267-2014*. DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-267-2014

Santangeli Valenzani R. (1999). Strade case e orti nell'altomedioevo nell'area del Foro di Nerva. In *MEFRM*, 111, pp. 163-169.

Viscogliosi A. (2010). Il Foro Transitorio. In F. Coarelli (a cura di). *Divus Vespasianus, il bimillenario dei Flavi. Catalogo della mostra Roma, Colosseo, Curia e Criptoportico neroniano*. Roma, 27 marzo 2009-10 gennaio 2010, pp. 202-209. Milano: Electa.

Autori

Daniele Amadio, Sapienza Università di Roma, arch.danieleamadio@gmail.com
Martina Attenni, Sapienza Università di Roma, martina.attenni@uniroma1.it
Tommaso Empler, Sapienza Università di Roma, tommaso.empler@uniroma1.it
Carlo Inglese, Sapienza Università di Roma, carlo.inglese@uniroma1.it

Per citare questo capitolo: Daniele Amadio, Martina Attenni, Tommaso Empler, Carlo Inglese (2024). La ricerca attraverso i modelli digitali per la conoscenza del Foro di Nerva/Research through Digital Models for Understanding the Forum of Nerva. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. pp. 2229-2250.

Research through Digital Models for Understanding the Forum of Nerva

Daniele Amadio
Martina Attenni
Tommaso Emler
Carlo Inglese

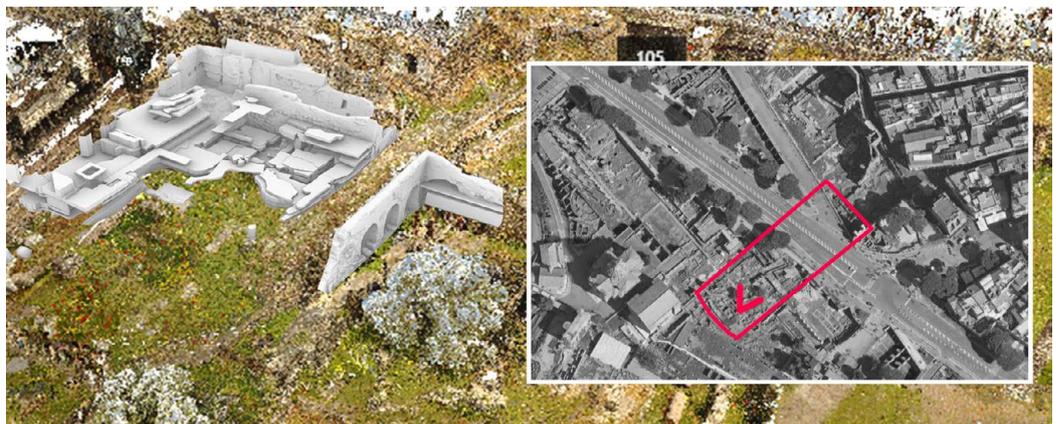
Abstract

In the context of scientific research and the dissemination of architectural and archaeological heritage, the achievement of results implies knowledge and analysis of material and immaterial properties. This process starts from documentation and develops through the identification of processes to achieve a deep knowledge of the case study through collaboration and the integration of different skills and methodologies.

The research presented deals with these issues in the study of the Forum of Nerva, in the central archaeological area of Rome, as part of one of the most impressive examples of an architectural complex from the imperial era. The aim is to analyze the relationship between the current state and its original structure. The results are carried out at different times, one aimed at proposing the virtual reconstruction of the analyzed area, the other is complex information system capable of organizing the heterogeneous data. Both contribute to improving knowledge through an approach that integrates the skills of different specialists involved in the field of Archaeological Architecture.

Keywords

archeological architecture, digital model, survey, database, informative model, virtual reconstruction



Overlay of the informed model developed using VPL and the point cloud of a portion of the Forum of Nerva.

Introduction

In the field of representation, studies related to so-called Archaeological Architecture involve the direct participation of specialists from various research sectors such as history, surveying, modeling, and communication. This entails the definition of a workflow capable of integrating the diverse specificities of each area. The study begins with knowledge, understood as a broad and multidisciplinary process that combines quantitative and qualitative data related to the investigated object. The need to organize this data requires the definition of an information system, with the 3D model—constructed in a virtual and shared environment—forming its core. With the digital model, the knowledge process loses its temporal and spatial limitations: it can be examined at any time and always in a reversible manner; it can be discretized to select only certain parts and stratigraphic layers useful for understanding the data, following procedures that are even more effective than those applicable on-site. The research proposes a procedure for collecting, interpreting, and archiving different types of data: historical-cultural data related to a preliminary understanding of the artifact; quantitative data derived from surveying activities; and qualitative data, sourced from the interpretative abilities of the researcher. Starting from the complex history of the Forum of Nerva (fig. 1), it proposes a contextual reading through models developed with various objectives. On one hand, the virtual reconstruction of the original state, based on archival documents, amplifies and enhances the knowledge of the case study. On the other hand, the construction of an informed model gathers all the acquisition, management, and utilization procedures, tracking the reliability level of each element and allowing for explicit and transparent data management and dissemination.



Fig. 1. The archaeological area of the Forum of Nerva. Plan taken from the geoportal of the Municipality of Rome, <https://formaromae.comune.roma.it/content/home> (accessed 22 July 2024).

The Forum of Nerva

Within the complex of the Imperial Fora in Rome, the Forum of Nerva, inaugurated by the emperor Nerva in 97 AD and commissioned by his predecessor Domitian, offered an original solution for the occupation of urban space. Built in the narrow space between the Forum of Caesar, the Forum of Augustus, and the Temple of Peace, on a section of the Argiletum—the ancient path connecting the Republican Forum with the Suburra neighborhood—its original function as a passageway is indicated by the name Forum transitorium, by which it was known in late antiquity [Viscogliosi 2009, pp. 202-209]. The available space for the construction of the new square was too narrow to allow for the construction of normal porticoes like in the other Fora, but sufficient to create a colonnade projecting from the long sides of the perimeter walls. In the center of the short side, however, a temple dedicated to Minerva was built, leaning against the eastern hemicycle of the Forum of Augustus (fig. 2).

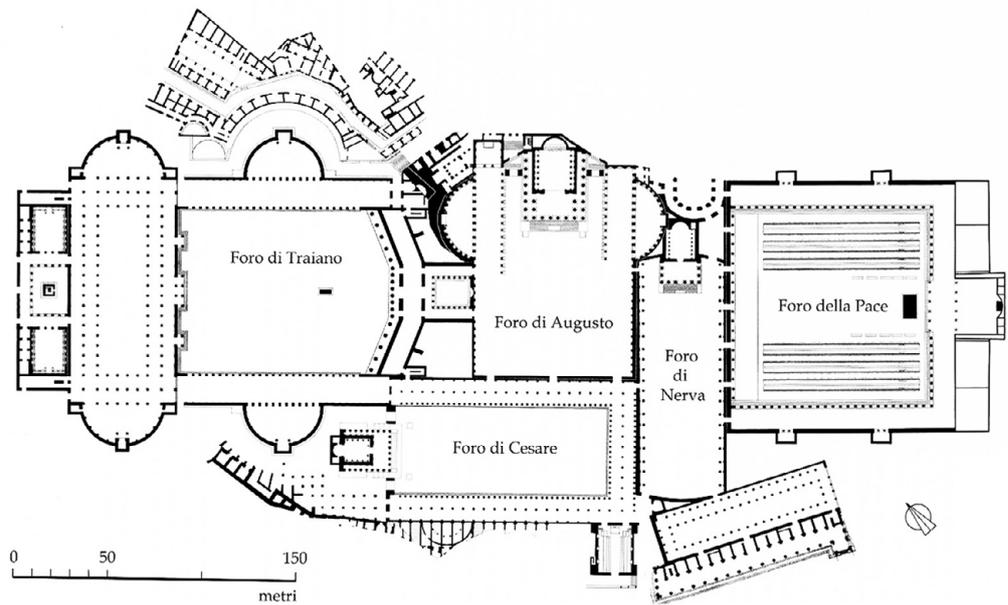


Fig. 2. The Imperial Fora after the excavations conducted between 1926 and 1977 (Archive of the Superintendency of Cultural Heritage of the Municipality of Rome).

Today, the eastern and western ends of the Forum of Nerva are visible, while the central part of the square remains unexplored beneath Via dei Fori Imperiali (fig. 3). The eastern sector shows what remains of the colonnade—only two columns, nicknamed “Colonnacce” in modern times due to their ruined state—and the Temple of Minerva—part of the massive concrete foundations and some rows of the overlying podium made of tuff and travertine blocks. To the right of the podium, a section of road: the outer covering in tuff blocks of the Cloaca Maxima. On top of it lay the ancient floor of the Forum, the removal of which in medieval times caused deep grooves in the tuff blocks due to the passage of carts, still visible today. In the western sector, no elevated structures have been found, but only remains of the marble pavement, replaced at the beginning of the 5th century, some pre-existing structures found in the subsoil of the square, and two noble residences dated to the 9th century AD, currently the only evidence of aristocratic architecture in early medieval Rome (fig. 4).



Fig. 3. Actual state of The Forum of Nerva and the indication of its original extension.

Fig. 4. The main areas of interest in the western area: the remains of an aristocratic residence from the 9th century with a porch facing the street planted on the original marble pavement of the forum (bottom left) and the foundations of the forum square (bottom right).



The reconstructive model

The information available today comes from surveys conducted in past centuries, which have allowed for the analysis of the discovered materials and the formulation of hypotheses about the original layout of the area.

The first surveys were conducted by the archaeologist Rodolfo Lanciani in 1882, revealing portions of the square's pavement, remains of the perimeter walls, and the two "Colonnacce" that protruded from them. Excavation campaigns conducted between 1926 and 1934, and between 1940 and 1942 [1] uncovered the presence of the Porticus Absidata and part of the Cloaca Maxima [Colini 1937, pp. 7-40]. Excavations resumed in 1970 when Heinrich Bauer discovered a foundation similar to that of the Temple of Minerva on the opposite side of the Forum, hypothesizing that a temple dedicated to Janus stood there [Bauer 1976, pp. 117-150]. The latest excavations were conducted between 1986 and 2008 by the Department of Cultural Heritage of the Municipality of Rome together with the Special Superintendency for the Archaeological Heritage of Rome [Meneghini 2009]. Remains from the protohistoric, imperial, and early medieval periods were found, allowing the deduction that there were no significant changes or spoliations until the 9th century [Santangeli Valenzani 1999, pp. 163-169].

These investigations have guided the creation of important iconographic documents, including Bauer's 1970s planimetry and some reconstruction hypotheses, such as those made by Meneghini and "Inklink", or the "Traiano" project (fig. 5). These data have directed the digital reconstruction process of the Forum of Nerva, transforming data stored on traditional paper supports into a 3D model [2].

In particular, the reconstruction model is based on the 1985-88 survey and the graphic elaboration proposed by the archaeologist Roberto Meneghini in his text *I fori imperiali Scavi del comune di Roma 1991-2007* [Meneghini, Santangeli Valenzani 2007]. The proposed reconstruction describes the layout of the area during the imperial and early medieval periods, showing a possible configuration of the square without advancing theories on still uncertain parts, such as the western termination of the Forum. The two models are accessible in real-time with the ability to easily switch from one to the other (fig. 6) [3].

Archaeological Data and Digital Survey: New Methodologies for Integration

Starting from 2021, the collection of data related to the western sector of the Forum of Nerva has constituted the starting point for documenting the area through a digital model that integrates surveying and representation methods with those of archaeological research. Retrieving excavation documentation has allowed for associating descriptions of structures with those of the layers, meticulously drafted during the various campaigns.



Fig. 5. Digital reconstruction hypothesis of the "Trajan Project" 2014, <https://www.progetto-traiano.com/#il-progetto> (accessed 22 July 2024).



Fig. 6. Real-time navigation reconstruction of the Forum of Nerva in the Imperial period. Elaboration by Burda Klint.

Stratigraphic units (US) have been analyzed in terms of dimensional, material, compositional, consistency, and color characteristics, as well as their spatial relationships. The representation of stratifications of contexts and structures in elevation, in archaeological fieldwork, is often delegated to the use of so-called Matrices, a semantic language based on graph theory [Harris et al. 1993; Mancuso 2023, pp. 123-142]. The construction of the Matrix starts from the collection of data and their arrangement within a table that reports sources, stratigraphic analysis, classification of archaeological remains, and their characteristics [Demetrescu Ferdani 2021, pp. 1-23]. The result of this process is a graph describing the state of the archaeological context, organizing data according to a standardized visual syntax, keeping track of all sources and knowledge processes, providing semantic annotation for each US. Integrating this method with the representation of architecture through digital

models contributes to the interpretation of the area of the Forum of Nerva, making visible the relationships between the current state and the remains of the ancient. Rigorous collection and classification of information are accompanied by an analysis oriented towards the objective presentation of the factual state of the Forum of Nerva in its relationship with the topographic context, conducted through an integrated survey campaign carried out in April 2021. Survey operations were developed through 3D laser scanning, including both structures and archaeological remains, as well as targets already positioned within the area during a previous topographic survey conducted by the Capitoline Superintendence in 2013. The use of Laser Scanner allowed widespread control of the layout in metric and geometric terms; the presence of targets made it possible to integrate different methodologies through a network of known points useful for connecting data of different origins [Galli et al. 2019, pp. 151-171]. Aligning the local coordinate system of the 3D laser scan with the existing topographic network of the Forum was ensured through the acquisition of two targetable benchmarks arranged to the northwest (vertex VI05 and vertex VI06). Furthermore, integration with topographic surveying allowed metric control of the overlap between the numerical model derived from scan processing (fig. 7) and some characteristic points targeted on the surveyed surfaces. The obtained numerical model possesses metric, geometric, formal, and spatial information about the current configuration of the area under examination, which, integrated with those provided by the Matrix, renders the documentation complete from the perspective of spatial associations and semantics.



Fig. 7. Views of the point cloud generated by acquisition through 3D Laser Scanner:

The Construction of the Informed Model

Traditional paper sheets realized over more than 60 years of activity on the Forum and the numerical model derived from survey data processing formed the basis on which to build the informed model [Monti 2015]. The proposed system overcomes the limitations of GIS systems for data correlation in a 2D environment by offering management in a 3D environment. In particular, the development of a HBIM (Historic Building Information Modeling) procedure has allowed both the collection of all information from the excavations and the precise placement of the different layers in three-dimensional space, while being aware of the various levels and excavation phases. Furthermore, the complexity and heterogeneity of the available information suggested integrating the HBIM process with a system developed in Visual Programming Language (VPL). The activities were divided into three phases: collection and digitization of existing information, 3D modeling, and informatization. The information digitized in the first phase consists of textual and geometric data, both present in the cards of the US (stratigraphic units) and in the excavation overlays. The textual information was transferred to a database consisting of a unified spreadsheet for the entire excavation. This way, all USs have the same parameters (identification code, brief description, material, dating, position and elevation, relationship with other USs), a necessary step to maximize the efficiency of the VPL management system later on. The geometric information from the excavation overlays was first digitized through scanning, generating images that were georeferenced and vectorized, forming the basis for 3D modeling. The 3D modeling of each US started from the geometric and dimensional data present in each card (fig. 8).

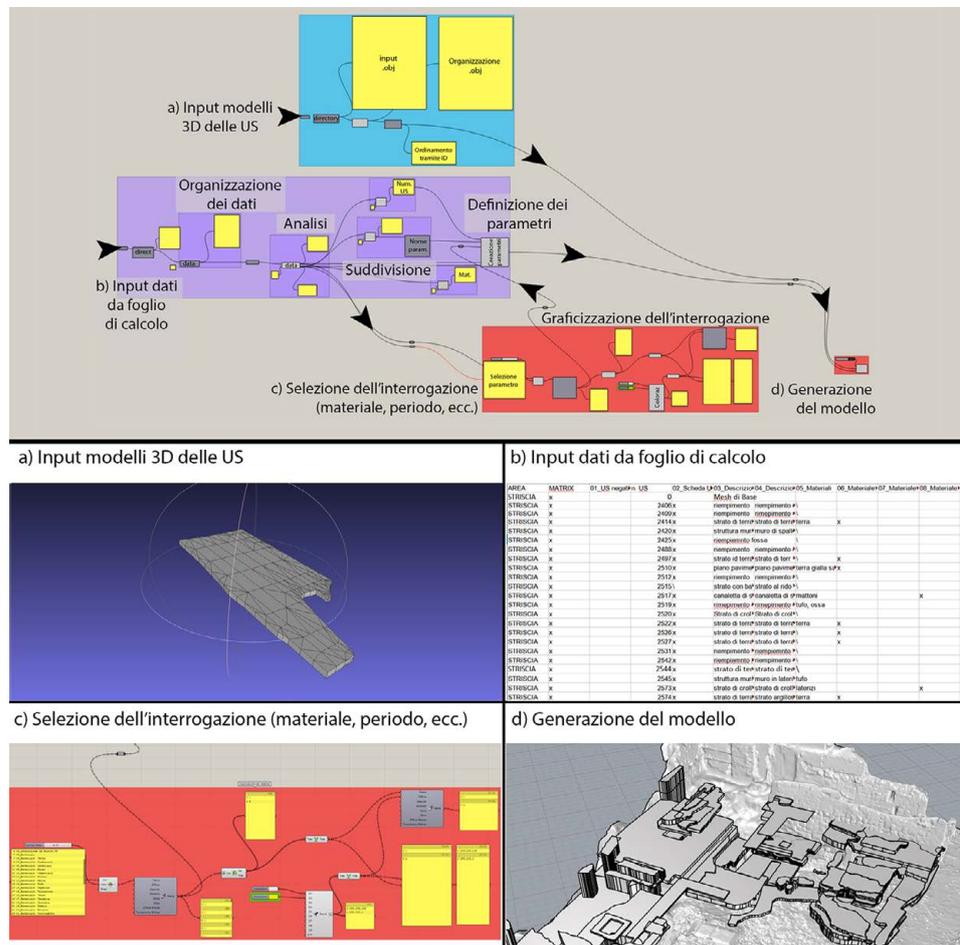


Fig. 8. Diagram in VPL elaborated for the realization and interrogation of the BIM model.

Each US was first represented within the 2D rendering of the topographic survey and then modeled, considering the issues related to the heterogeneous level of metric information present in the US cards and in the overlay drawings, in order to create a general directory containing all 3D models of the USs. Each model has the original coordinates from the topographic survey and is georeferenced with respect to the x and y coordinates [Oreni et al. 2014], while the positioning with respect to the z-axis coincides with the elevation present in the excavation renderings.

With a database and georeferenced three-dimensional models of the USs available, it was possible to associate the previously organized information to the three-dimensional models through the creation of an algorithm in VPL [Calvano 2022 pp. 16-32]. The developed algorithm collects information from the database (point a), associates it with the 3D model of each US (point b), and generates an informed model in a 3D host environment (fig. 9).

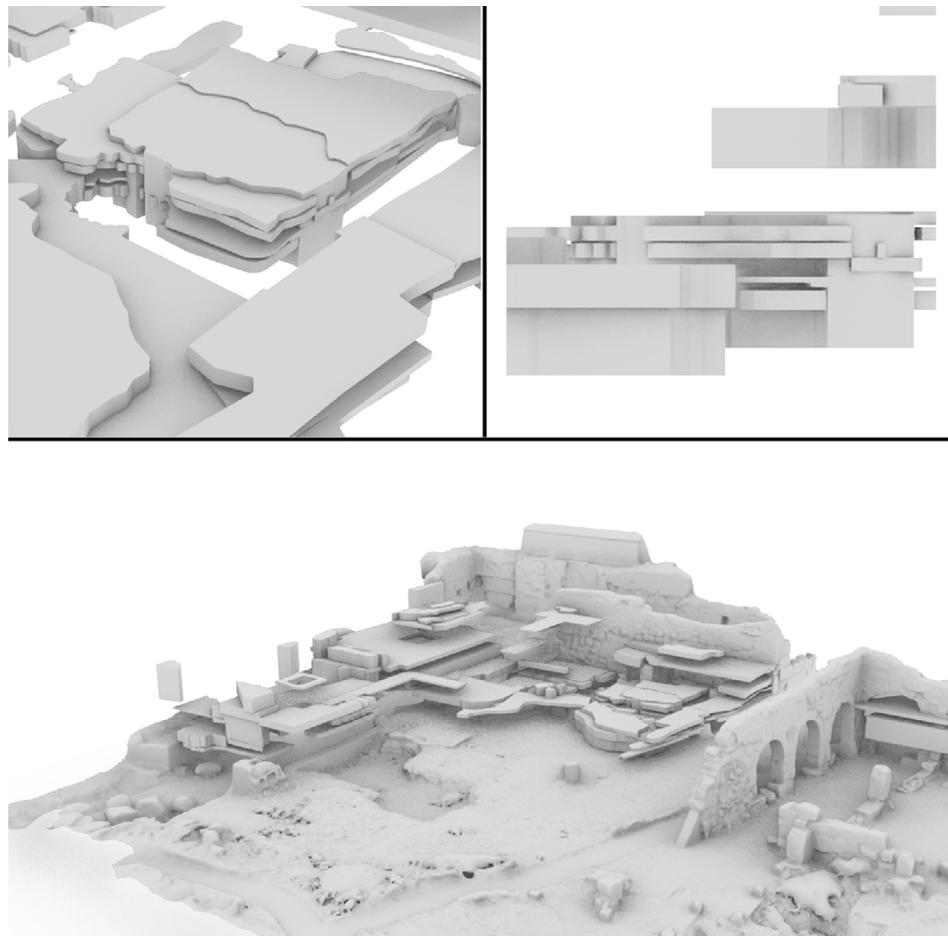


Fig. 9. Three-dimensional model of a part of the US (top) and of the analyzed area (bottom). Elaboration by Daniele Amadio.

Finally, an appendix of the algorithm was developed to query the informed model and graphically highlight the results of these operations (fig. 10). The proposed procedure overcomes the limitations imposed by the most common BIM modelers [4], in addition to fulfilling the functions of data collection, analysis, and management. It is indeed possible to quickly update or enhance the information in the model by acting on the spreadsheet, allowing archaeologists or non-specialized operators in BIM processes to update the parameters and, automatically, the model.

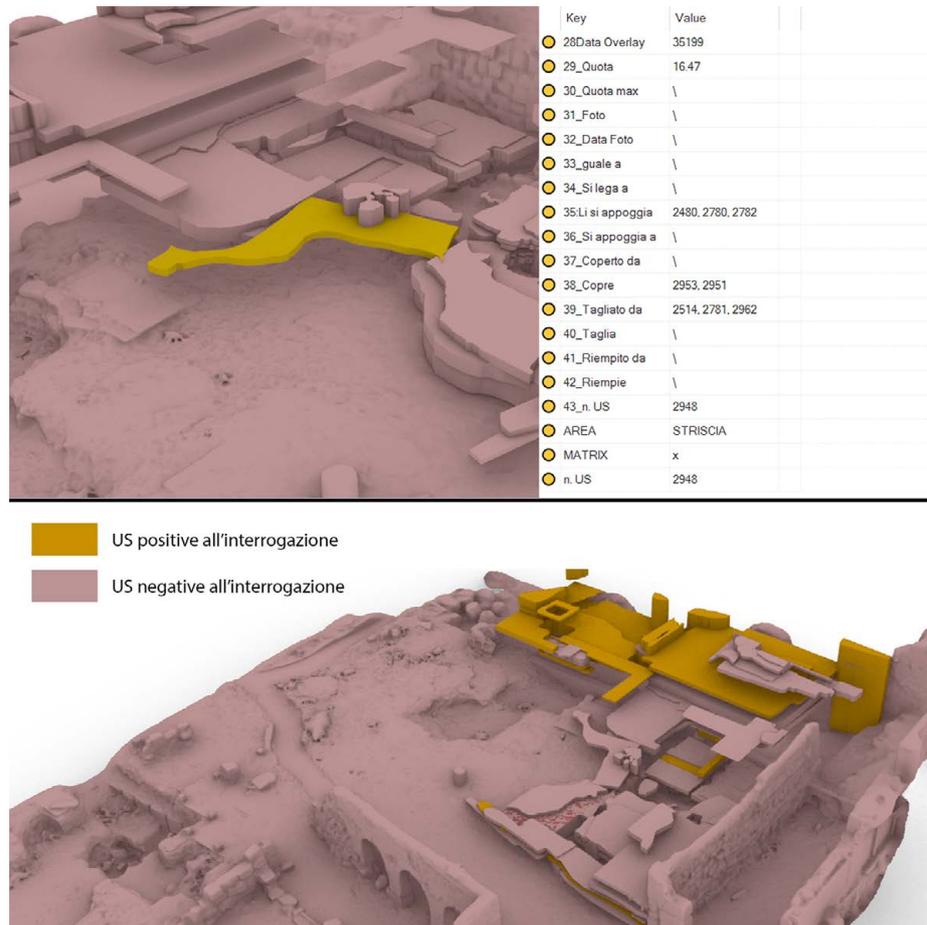


Fig. 10. Example of parameters present in individual USs (top) and interrogation of the digital model with highlighted USs positive to the request made. Elaboration by Daniele Amadio.

Conclusions

The proposed workflow is compatible with what scholars and researchers call the Scientific Method, a protocol capable of distinguishing data, which tend toward objectivity, from their interpretation, which is always conjectural and subjective. This triggers a very fruitful exchange of data and information in a multi-level documentation process. The proposed models provide an effective and articulate representation in which digital representation methods constitute an integrated interpretation of heterogeneous data (fig. 11). Both express the spatial and temporal relationships of the elements that compose them, meeting the need to preserve, enhance, and disseminate archaeological heritage through an open knowledge system.



Fig. 11. Overlay of the BIM model and the point cloud.

Notes

[1] The main discoveries are listed to provide a general overview of the study area, which is certainly not exhaustive in light of the significant archaeological findings. For further details, please refer to the bibliography.

[2] The first excavation campaign was directed by the archaeologist Corrado Ricci, and the second, in the area of the Temple of Minerva, by the archaeologist Antonio M. Colini.

[3] University research titled *The Study of Architectural and Urban Changes between Scientific Foundations and Dissemination Values: Comparative Reconstruction Hypotheses through 3D Modeling* by Professors Alessandro Viscogliosi (scientific director), Tommaso Emler, Elena Ippoliti, Fabio Quici, and Guglielmo Villa.

[4] The function was developed as part of the thesis titled *3D Historical Reconstruction of the Forum of Nerva*, supervised by Tommaso Emler, with candidates Barbara Forte and Emanuele Fortunati.

[5] The activities of collecting, analyzing, and organizing archaeological data were conducted by Arch. Flavia Benfante.

[6] This refers to the difficulty of representing the real geometries of elements without resorting to excessive simplifications or the use of generic models, and the possibility of optimizing the creation and management of the numerous parameters of the US (stratigraphic units).

Credits

In complete agreement with the contents of the article, Carlo Inglese was responsible for the "Introduction" and "Conclusions" paragraphs, Tommaso Emler for the "The Forum of Nerva" and "The Reconstruction Model" paragraphs, Martina Attenni for the "Archaeological Data and Digital Survey: New Methodologies for Integration" paragraph, and Daniele Amadio for the "The Construction of the Informed Model" paragraph.

References

- Bauer H. (1977). Il Foro Transitorio e il Tempio di Giano. In *Atti della Pontificia accademia romana di archeologia 1976-1977*, pp. 117-150. Città del Vaticano: Tipografia poliglotta vaticana.
- Brusaporci S., Maiezza P. (2016). Tra "Historical Bim" ed "Heritage Bim": Building Information Modeling per la documentazione dei beni architettonici. In S. Parrinello, D. Besana (Eds.). *Contributi per la documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e della tutela paesaggistica*. Firenze: Edifir.
- Calvano M. (2022). Some thoughts on Visual Programming Language and its learning. In T. Emler, A. Caldarone, E. D'Angelo, A. Fusinetti (Eds.). *Information & 3D modeling per il patrimonio costruito*, pp. 16-32. Roma: Tipografia del Genio.
- Colini A.M. (1937). Forum Pacis. In *Bullettino della Commissione Archeologica Comunale di Roma*, n. 65, pp. 7-40.
- Delfino A. (2014). *Forum Iulium. L'area del Foro di Cesare alla luce delle campagne di scavo 2005-2008 Le fasi arcaica, repubblicana e cesariano-augustea*. Oxford: Archaeopress. DOI:10.15184/aqy2015.69
- Demetrescu E., Ferdani D. (2021). From field archaeology to virtual reconstruction: A five steps method using the Extended Matrix. In *Applied Sciences*, 11, 5206, 2021, pp. 1-23. doi.org/10.3390/app11115206
- Galli M., Griffo M., Inglese C., Ismaelli T. (2019). Vecchi scavi e nuove tecnologie: primi risultati del Progetto Basilica Iulia. In *Archeologia e Calcolatori*, 30, pp. 151-171.
- Garagnani S. (2013). Building Information Modeling and real-world knowledge: a methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment. *Atti del Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*. Marseille, 28 October - 1 November 2013, Vol. 2, pp. 489-496. DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743788
- Harris E.C., Brown III M. R., Brown G.J. (1993). *Practices of Archaeological Stratigraphy*. Cambridge: Academic Press.
- Mancuso G. (2023). Archaeobim ed extended matrix. Analisi e potenzialità di due processi per l'elaborazione di modelli informativi. In *Archeologia e Calcolatori*, 34.2, pp. 123-142. doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.07
- Meneghini R. (2009). *I Fori Imperiali e i Mercati di Traiano. Storia e descrizione dei monumenti alla luce degli studi e degli scavi recenti*. Roma: Istituto Poligrafico dello Stato.
- Meneghini R., Santangeli Valenzani R. (2007). *I fori imperiali. Scavi del comune di Roma 1991-2007*. Roma: Viviani Editore.
- Monti C., Selvini A. (2015). *Topografia, fotogrammetria e rappresentazione all'inizio del ventunesimo secolo, strumenti e modalità operative*. Segrate: Maggioli.
- Oreni D., Brumana R., Della Torre S. (2014). Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). In *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci II-5-267-2014*. DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-267-2014
- Santangeli Valenzani R. (1999). Strade case e orti nell'altomedioevo nell'area del Foro di Nerva. In *MEFRM* 111, pp. 163-169.
- Viscogliosi A. (2010). Il Foro Transitorio. In F. Coarelli (Ed.). *Divus Vespasianus, il bimillenario dei Flavi. Catalogo della mostra Roma, Colosseo, Curia e Criptoportico neroniano*. Roma, 27 marzo 2009 - 10 gennaio 2010, pp. 202-209. Milano: Electa.

Authors

Daniele Amadio, Sapienza Università di Roma, arch.danieleamadio@gmail.com

Martina Attenni, Sapienza Università di Roma, martina.attenni@uniroma1.it

Tommaso Empler, Sapienza Università di Roma, tommaso.empler@uniroma1.it

Carlo Inglese, Sapienza Università di Roma, carlo.inglese@uniroma1.it

To cite this chapter: Daniele Amadio, Martina Attenni, Tommaso Empler, Carlo Inglese (2024). La ricerca attraverso i modelli digitali per la conoscenza del Foro di Nerva/Research through Digital Models for Understanding the Forum of Nerva. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione / Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2229-2250.