



CURRI
CULUM
5



DIPARTIMENTO
DI SCIENZE DELL'ANTICHITÀ

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**
DIPARTIMENTO DI
BENI CULTURALI

DOTTORATO DI INTERESSE NAZIONALE IN HERITAGE SCIENCE

*Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Scienze dell'Antichità
Coordinatore Nazionale: Prof. Paolo Carafa*

CICLO XXXVIII

Curriculum 5: Storia e archeologia globale dei paesaggi.

Università leader: *Università del Salento*
Coordinatrice: *Prof.ssa Grazia Semeraro*

Metodologie di Applicazione delle tecnologie H-BIM ai cantieri Archeologici di restauro e valorizzazione. Casi di studio del Santuario di Apollo a Hierapolis di Frigia

Settore Scientifico Disciplinare: L-ANT/07

Tutor:
prof.ssa Grazia Semeraro
Cotutor:
prof. Lorenzo Campagna
dott. Italo Spada

Candidato:
Michele Pirro Leo
Matricola
2074827

*Università del Salento (borsa)
Dipartimento di Beni Culturali*

a.a 2024/2025

Titolo: Metodologie di Applicazione delle tecnologie H-BIM ai cantieri Archeologici di restauro e valorizzazione. Casi di studio del Santuario di Apollo a Hierapolis di Frigia

Indice:

Introduzione

- Capitolo I

Hierapolis, storia della ricerca e delle applicazioni informatiche

I.1 La ricerca archeologica

I.2 Applicazioni informatiche

- Capitolo II

Il Santuario di Apollo a Hierapolis di Frigia

- Capitolo III

Obiettivi e metodologie della ricerca

III.1 Applicazioni GIS

III.2 Fotogrammetrie e modellazione 3D

III.3 Applicazioni del BIM

- Capitolo IV

Applicazione di Modellazione e HBIM al Santuario

IV.1 Modellazione, applicazione, problemi e risultati

IV.2 Applicazione BIM

- Capitolo V

Discussione dei dati e conclusioni

INTRODUZIONE

La tesi si articola in cinque capitoli principali, organizzati secondo una progressione logico-metodologica che accompagna il lettore dall'inquadramento storico e archeologico del sito fino alla definizione del sistema digitale sperimentale.

Il primo capitolo introduce il contesto archeologico e scientifico di Hierapolis di Frigia, ricostruendo la storia delle ricerche italiane e internazionali nel sito. Viene analizzato lo sviluppo delle metodologie di documentazione, con particolare attenzione all'introduzione delle tecnologie informatiche e digitali applicate all'archeologia. Questo quadro fornisce le basi per comprendere l'evoluzione degli strumenti utilizzati nella missione italiana (MAIER) e il passaggio dai sistemi di rilievo tradizionali ai modelli integrati H-BIM.

Il secondo capitolo presenta i casi di studio principali – il Ninfeo del Santuario, il Portico Meridionale, il Portico Settentrionale e il Tempio B – illustrando la storia degli scavi, le fasi edilizie e i più recenti interventi di restauro. Particolare rilievo è dato al settore a nord del Ninfeo, oggetto di indagini archeologiche tra il 2018 e il 2025, che costituisce l'area campione per lo sviluppo e la sperimentazione del sistema H-BIM.

Il terzo capitolo espone gli obiettivi scientifici della ricerca e le metodologie operative adottate. Vengono descritte le piattaforme e i protocolli utilizzati – GIS, fotogrammetria, modellazione 3D e software BIM – in relazione ai principi di interoperabilità e tracciabilità dei flussi informativi. La sezione si conclude con una riflessione sui fondamenti teorici e metodologici dell'approccio H-BIM e sull'integrazione dei principi Open DBL sviluppati dal CETMA.

Il quarto capitolo costituisce il nucleo operativo della tesi. In questa sezione vengono illustrati i processi di modellazione e ricostruzione digitale dei complessi monumentali del Santuario di Apollo, analizzando le problematiche riscontrate, le soluzioni adottate e i risultati ottenuti. Il capitolo include rendering, schede tecniche e diagrammi di interoperabilità, che visualizzano il workflow di lavoro e le sue potenzialità in termini di conservazione e valorizzazione del bene archeologico.

L'ultimo capitolo raccoglie le riflessioni critiche e le conclusioni emerse dal percorso di ricerca. Viene discussa la validazione del sistema sperimentale Open DBL, la sua efficacia nel garantire trasparenza metodologica e la possibilità di estenderlo ad altri contesti archeologici.

L'elaborato si conclude con una prospettiva futura sul ruolo delle tecnologie digitali nella gestione integrata dei cantieri archeologici e nel dialogo tra ricerca scientifica, restauro e valorizzazione.

PREMESSA

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine a tutte le persone che, in modi diversi, hanno contribuito alla realizzazione di questo lavoro, accompagnandomi nel percorso di ricerca e formazione che ha portato alla sua elaborazione.

La mia più profonda riconoscenza va innanzitutto alla prof.ssa Grazia Semeraro, tutor di questa ricerca, per aver seguito con costante attenzione tutte le fasi del lavoro, offrendo un imprescindibile riferimento scientifico e metodologico. Le numerose occasioni di confronto, la fiducia accordatami e gli insegnamenti ricevuti nel corso degli anni hanno contribuito in maniera determinante alla mia formazione umana e professionale. Dal primo anno presso la Missione Archeologica a Hierapolis di Frigia la sua guida esperta è stata mio faro nell'incognita della ricerca archeologica.

Desidero rivolgere un sentito ringraziamento al prof. Lorenzo Campagna, co-tutor della tesi per il supporto scientifico puntuale, i suggerimenti, la disponibilità e le occasioni di confronto che hanno accompagnato lo sviluppo della ricerca. I suoi studi sul Ninfeo sono stati elemento imprescindibile per lo svolgimento di questa ricerca e i momenti di lavoro insieme sono stati importanti occasioni di formazione.

La mia gratitudine va inoltre al dott. Italo Spada, co-tutor della tesi, per la disponibilità, l'attenzione e il costante sostegno nelle diverse fasi del lavoro. Un ringraziamento particolare è rivolto all'arch. Giuseppe De Prezzo, tutor aziendale durante il periodo di formazione presso il CETMA, e alla arch. Marina Cucinelli, per la competenza, la disponibilità e l'attenzione con cui hanno seguito il mio percorso. Desidero inoltre ringraziare tutto il gruppo del Dipartimento di Nuove tecnologie e design (NED) del CETMA per il clima di collaborazione, per l'opportunità di crescita professionale e per la preziosa esperienza condivisa nel corso dei sei mesi di permanenza presso il centro.

Esprimo la mia gratitudine al prof. Celal Şimşek e alla Pamukkale Üniversitesi, presso la quale ho svolto il periodo di ricerca all'estero previsto dal dottorato. Ringrazio tutti i docenti, i ricercatori e i colleghi turchi con i quali ho avuto il privilegio di collaborare, per l'amicizia, l'accoglienza e i numerosi momenti di confronto scientifico che hanno arricchito il mio percorso di ricerca.

Un sincero ringraziamento va alla Missione Archeologica Italiana a Hierapolis di Frigia (MAIER), all'interno della quale si è sviluppata gran parte delle attività che hanno costituito la base del presente lavoro. Tutti i membri dell'Unità di Ricerca dell'Università del Salento, coordinati dalla prof.ssa Grazia Semeraro, la prof.ssa Florinda Notarstefano e i colleghi e amici Raffaele Rizzo, Serena D'Alfonso, Annamaria Loconte Scarcelli, Vincenzo Ria, che negli ultimi anni hanno partecipato alle attività della Missione Archeologica Italiana a Hierapolis, condividendo esperienze di ricerca, lavoro sul campo e momenti di crescita professionale e personale. Agli altri membri dell'Unità di Ricerca dell'Università degli Studi di Messina, Marta Venuti, Claudia Casella e Lucia Valensisi, esprimo lo stesso ringraziamento per gli anni di collaborazione e il supporto datomi in questo progetto. La mia riconoscenza si estende inoltre ai colleghi delle unità di ricerca dell'Università di Pisa, coordinata dalla prof.ssa Anna Anguissola, del Politecnico di Torino, coordinata dalla prof.ssa Antonia Spanò, e della Sapienza Università di Roma, coordinata dal prof. Francesco Guizzi, per le numerose occasioni di collaborazione e confronto interdisciplinare.

CAPITOLO I - Hierapolis, storia della ricerca e delle applicazioni informatiche

I.1 La ricerca archeologica

Il sito di Hierapolis di Frigia è ubicato nella Turchia sud-occidentale (Fig. 1), vicino alla località di Pamukkale, nella provincia di Denizli.

Inserito dall'UNESCO nella lista dei siti Patrimonio dell'Umanità nel 1988 (n° 485), è una delle principali mete turistiche della Turchia, e conta circa due milioni di turisti l'anno.

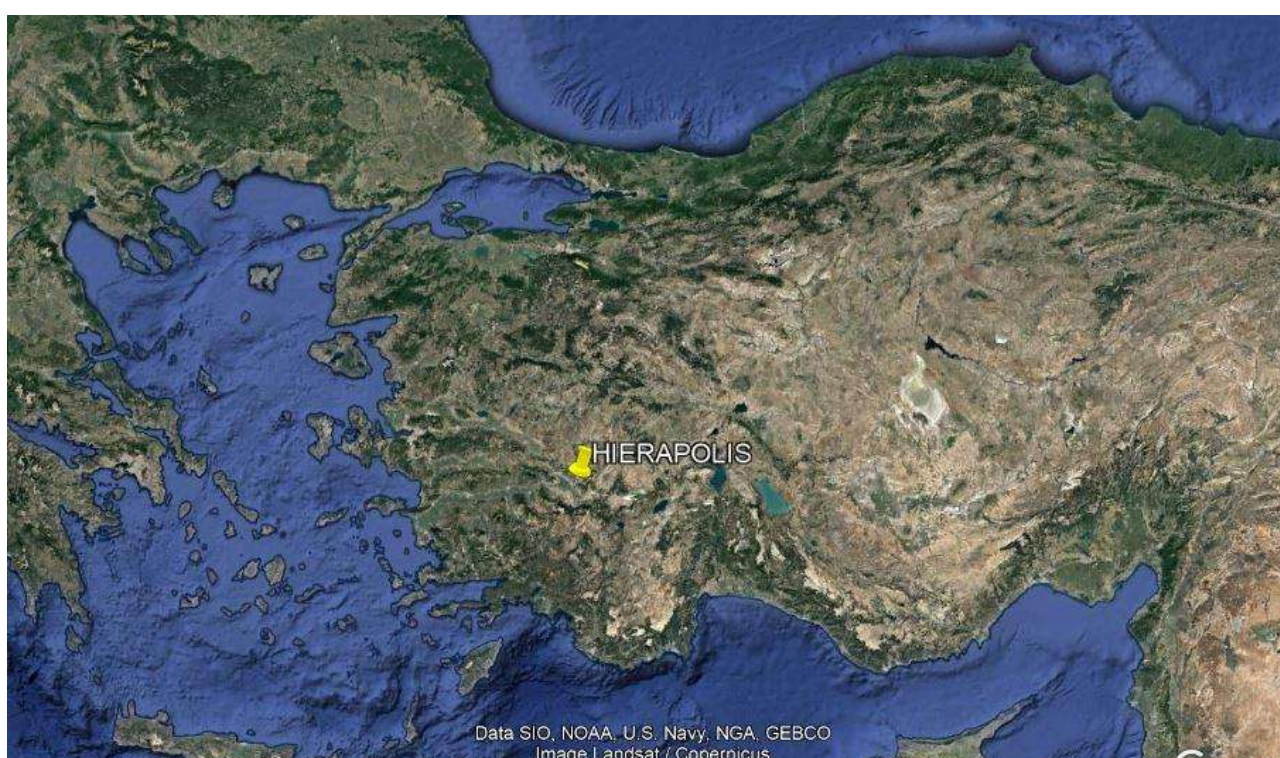


Figura 1, Hierapolis, nel cuore della Turchia sud-occidentale (elaborazione da Google Earth).

Le prime notizie su Hierapolis risalgono agli ultimi decenni del XVII secolo, quando viaggiatori e antiquari come J. Spon, G. Wheler e T. Smith¹, nel corso dei loro viaggi in Anatolia, descrivono il paesaggio, caratterizzato da cascate in travertino e dall'emergere di vaste aree di necropoli². Tra la fine del Settecento e la prima metà dell'Ottocento, il progressivo interesse dei viaggiatori verso le rovine della città porta alla riscoperta e all'identificazione di alcuni settori ed edifici che dovevano caratterizzare l'antico assetto urbanistico³. Le descrizioni di R. Pococke, R. Chandler e C.R.

¹ SPOON, WHELER 1724; SMITH 1674.

² *Hierapolis di Frigia 1957-1987*, p. 21.

³ D'ANDRIA 2003, p. 17.

Cockerell, nonostante alcuni errori commessi nell'identificazione dei monumenti, risultano fondamentali per la realizzazione di una prima ricostruzione del complesso tessuto urbano ierapolitano.

La prima pianta della città viene realizzata nel 1858 da Ch. Trémaux, il quale propone anche alcune ricostruzioni ipotetiche dell'edificio teatrale⁴. Una sintesi complessiva risale al 1898, quando C. Humann, C. Cichorius, W. Judeich e F. Winter presentano il primo volume sugli aspetti topografici, architettonici e artistici di Hierapolis, soffermandosi in particolare sulla necropoli e sull'ampia serie di iscrizioni qui presenti⁵. Le ricerche sistematiche del sito iniziano nel 1957 ad opera della Missione Archeologica Italiana (MAIER), fondata dal professor P. Verzone, con l'incoraggiamento dell'archeologo turco A. M. Mansel⁶.

Tra 1960 e 1961, inoltre, grazie al contributo della Direzione Generale delle Antichità e dei Musei di Turchia, si intraprendono le attività di scavo e il recupero del complesso teatrale posto al centro di Hierapolis⁷.

Nel corso degli anni Settanta il progresso della ricerca permette l'identificazione e il riconoscimento dell'impianto della città, caratterizzato da un tessuto ortogonale.

Le attività della MAIER sotto la direzione di D. De Bernardi Ferrero (dal 1978) e la responsabilità scientifica di P. Verzone (Fig. 2) si concentrano sullo scavo e il restauro del Teatro e sull'allestimento del Museo presso gli ambienti delle Terme Grandi (concluso tra il 1980 e il 1983).

Nel corso degli anni Ottanta⁸ le operazioni di restauro vengono estese a vari edifici della necropoli. A tali attività si affiancano contestualmente gli scavi presso la Via di Frontino e lo studio del contesto abitativo ierapolitano.

I primi anni Novanta, oltre a registrare la prosecuzione dei lavori nel teatro e nelle necropoli, vedono l'intervento della Direzione Generale delle Antichità e dei Musei di Turchia, rivolto alla protezione dell'ambiente naturale e delle formazioni di travertino, al fine di preservare dai danni provocati dagli ingenti flussi turistici.

Dal 2000, sotto la direzione del professor D'Andria, docente di Archeologia presso l'Università di Lecce, riprendono gli scavi del Santuario di Apollo, delle abitazioni dell'*Insula* 104, del Grande Edificio, del Ninfeo dei Tritoni e della Necropoli Nord; riprendono altresì le ricerche nell'area del *Martyrion* di San Filippo.

⁴ *Hierapolis di Frigia 1957-1987*, p. 21; D'ANDRIA 2003, p. 17.

⁵ *Hierapolis di Frigia 1957-1987*, p. 14; D'ANDRIA 2003, p. 17.

⁶ *Hierapolis di Frigia 1957-1987*, p. 11

⁷ D'ANDRIA 2003, p. 18.

⁸ D'ANDRIA 2003, p. 18.

Tra il 2007 e il 2011 le attività della MAIER si concentrano sul Teatro, con scavi, studi sull'architettura ed elaborazione di progetti di restauro e valorizzazione.

Tra il 2009 e il 2012, gli scavi archeologici condotti nel settore centrale dell'abitato antico permettono il recupero di alcuni frammenti di una statua colossale di Ade e l'identificazione certa del *Ploutonion*, precedentemente identificato in un'alcova monumentale vicina all'Edificio A.

Nel 2011 i lavori presso il *Martyrion* portano alla luce la Tomba dell'Apostolo Filippo.

Nel 2016 la direzione della missione di scavo passa alla professoressa Semeraro, docente di Archeologia presso l'Università del Salento, e gli interventi di scavo della MAIER si concentrano nell'area del Santuario di Apollo (soprattutto il *temenos*, l'*eschara* e il Ninfeo) e nel settore settentrionale del sito, dove dal 2018 ha preso avvio l'indagine presso la necropoli Frigia, come prosecuzione dello scavo iniziato dagli archeologi turchi nel 2016. Mentre, nel 2021 sono stati ripresi i lavori in prossimità dell'*Agorà* Nord, nell'area della necropoli bizantina⁹.



Figura 2, Paolo Verzone a Hierapolis nel primo anno di Missione, 1957 (da RONCHETTA 2017).

La città è situata su un pianoro (circa 360-370 s.l.m.) affacciato sulla valle del *Lykos*, oggi Çürüksu, affluente del fiume Meandro; quest'ultima è delimitata dai monti *Kadmos* e *Salbakos*¹⁰, gli attuali Honaz Dağ e Baba Dağ.

⁹ SEMERARO 2025.

¹⁰ D'ANDRIA 2003, p. 21.

Il pianoro è costituito in superficie da banchi e canali di travertino depositati dalle acque termali che fuoriescono in abbondanza dalle numerose fessurazioni tettoniche che lo interessano. I depositi di travertino hanno sepolto, con spessori fino a 5 m, un'ampia porzione della parte più bassa della città antica, senza tuttavia interessare i settori altimetricamente più elevati, che si sviluppano lungo i pendii in costante risalita fino alla quota di 440 m s.l.m. del *Martyrion* (Fig. 3).

Distinta dalla faglia del *Ploutonion* è una fascia subparallela di fratture che attraversa longitudinalmente l'intero sito per circa 1.250 metri. Quest'ultime tagliano numerose strutture archeologiche, quali resti murari e canali di travertino, e risultano pertanto il prodotto di eventi sismici verificatisi in epoca storica, come quello del VII sec. d.C. o il rovinoso terremoto del 1354, che decretò il definitivo abbandono dell'abitato¹¹.

Oltre che da un'elevata sismicità, il territorio ierapolitano è contraddistinto dalla continua risalita di acque termali dal sottosuolo, alle quali si deve la formazione dei banchi di travertino bianco (dovuto alla composizione chimica) che ricoprono ampie porzioni del sito, caratterizzando il paesaggio locale¹².

L'ubicazione della città è strategica: oltre a fornire un controllo visivo sulla valle, essa beneficia di approvvigionamenti idrici provenienti dalle colline del versante orientale e dalla faglia sottostante.

Il bacino presente nel sottosuolo di Hierapolis ha una notevole importanza, con una portata di 350 l/sec. Si ipotizza, quindi, che in età romana vi fosse una quota piezometrica (ovvero la quota massima dell'acqua di risalita) più bassa, mentre in età protobizantina (dopo il terremoto della metà del IV sec. d.C.) e soprattutto in epoca mediobizantina (dopo il terremoto della metà del VII sec. d.C.) fosse assai maggiore.

Questa variazione può trovare spiegazione nei movimenti sismici di maggiore intensità e, verosimilmente, nei periodi caratterizzati da precipitazioni più abbondanti, che avrebbero aumentato la portata idrica dell'altopiano di Uzunpinar¹³.

¹¹ MARABINI 2015, p. 7.

¹² OZKUL *et alii* 2000, pp. 327-399.

¹³ Per le variazioni climatiche DILSIZ, MARQUES, MIMO CARREIRA 2004 e ALÇİÇEK, WESSELINGH 2008.

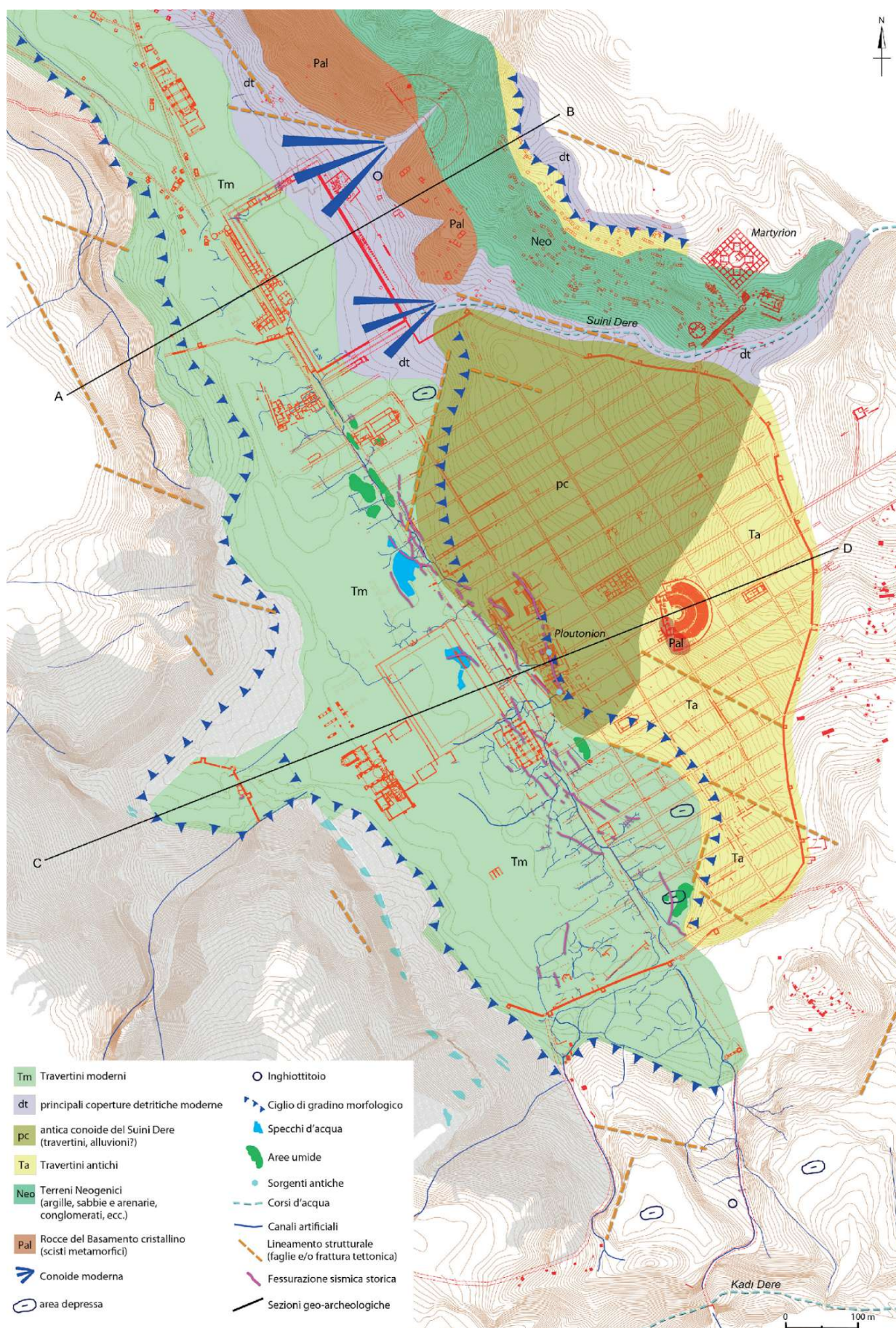


Figura 3, carta geologica di Hierapolis (da Scardozi 2015).

Le prime testimonianze di occupazione del sito risalgono all'età del ferro: nell'area settentrionale è stata individuata una necropoli costituita da tumuli e sepolture a incinerazione¹⁴.

È stata inoltre ipotizzata una fase frigia sulla base degli scavi del *Ploutonion*, dai quali proviene un frammento ceramico fuori contesto¹⁵. Anche nel cimitero bizantino situato a est dell'*Agorà Nord* sono rinvenuti frammenti di età arcaica¹⁶.

Si è infine ipotizzata la presenza di un'area sacra dedicata a Cibele, la Dea Madre delle popolazioni anatoliche, individuata nel corso delle più recenti campagne di scavo e organizzata attorno a una "grotta" naturale aperta presso un'ampia frattura sismica, probabilmente caratterizzata dalla presenza di piccoli altari rupestri a gradini¹⁷.

La città viene fondata in età ellenistica come colonia seleucide¹⁸ e, successivamente, passa sotto l'influenza attalide. La denominazione di Hierapolis, letteralmente "città sacra", appare verosimilmente collegata alla presenza di un importante centro culturale preesistente alla fondazione ellenistica della città, sviluppatosi in relazione alle peculiarità geomorfologiche e geotermiche dell'area¹⁹. Infatti, i principali centri culturali sono collocati in corrispondenza della grande fessurazione sismica: il *Ploutonion* che insiste sull'area sacra tradizionalmente dedicata a Cibele, e il Santuario di Apollo, legato alla dinastia seleucide.

L'impianto urbano di tipo regolare (Fig. 4), realizzato già in età ellenistica, viene adattato alla morfologia del terreno e non subisce grandi variazioni fino all'età protobizantina. Esso è costituito da una *plateia* con andamento NW-SE dalla quale si impostano nove *stenopoi* perpendicolari, a loro volta incrociati ortogonalmente da ulteriori trentacinque *stenopoi*. Gli isolati sono caratterizzati da lunghezze variabili, comprese tra 24-28 metri per i lati corti e 72-74 metri per quelli lunghi.

La città beneficiava dell'*asylia*, titolo prestigioso che sanciva lo status sacrale di Hierapolis e ne tutelava i beni sacri, attraverso un'inviolabilità volta a proteggere i pellegrini e quanto era legato al Santuario presso la grotta sacra²⁰.

Nel 133 a.C. Attalo III, sovrano del Regno di Pergamo, lasciò in eredità alla Repubblica di Roma il suo territorio, costituendo a partire dal 129 a.C. la provincia di *Asia Minor*.

Durante la fase tardo-repubblicana e la prima età imperiale la città beneficiò di un notevole sviluppo economico e monumentale, attestato sia dai dati di scavo sia dalle testimonianze epigrafiche e numismatiche.

¹⁴ SEMERARO 2020, pp. 203-226; SEMERARO 2021, pp. 220-223; SEMERARO 2024A, pp. 541-559, SEMERARO 2024B pp. 407-415.

¹⁵ D'ANDRIA 2017, p. 217.

¹⁶ D'ANDRIA 2017.

¹⁷ D'Andria 2018a, pp. 102-103; D'Andria 2019 p. 479-500.

¹⁸ COHEN 1995, 305-307; RITTI 2017, p. 276.

¹⁹ RITTI 2017, pp. X-XI, 7-11.

²⁰ RITTI 2017, pp. 294-298.

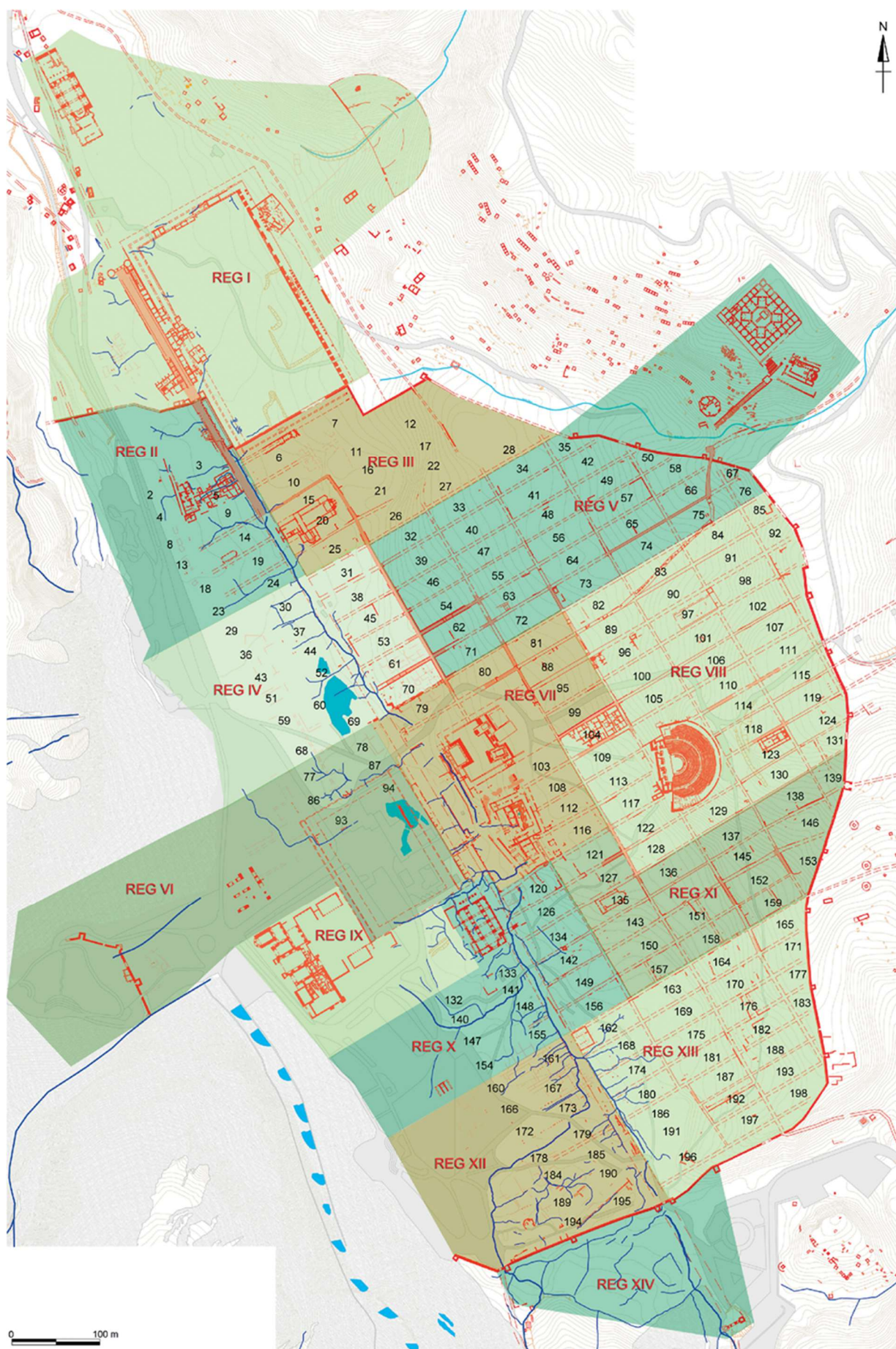


Figura 4, planimetria generale della città (da Scardozzi 2015).

Il Santuario di Apollo e il *Ploutonion* (REG VII) vengono quindi monumentalizzati. In particolare, il primo complesso viene dotato di un peribolo marmoreo che regolarizza la vasta area sacra, raccordandosi con il tessuto urbano e definendone l'articolazione generale: all'interno del *temenos* gli edifici non risultano orientati secondo l'impianto urbano, bensì sulla base della principale spaccatura prodotta dalla faglia. Nel Santuario (Fig. 5) vengono realizzati il peribolo dorico, gli edifici templari e il sistema di terrazzi collegati da scalinate. L'intero complesso santuarioale viene strutturato secondo un progetto scenografico, che sfrutta e al contempo colma il dislivello di circa 7 m tra il grande terrazzo superiore e quello inferiore, sul quale si aprono uno degli accessi al *temenos* e la *plateia*. Vengono inoltre realizzati altri due edifici sacri: l'Edificio B, tempio periptero dedicato ad Apollo Archegete e edificio principale del complesso santuarioale, e l'Edificio C²¹, verosimilmente deputato, come il preesistente Edificio A, alle pratiche mantiche (tramite una camera ipogea) che si svolgevano nel Santuario.



Figura 5, planimetria del Santuario di Apollo (da Scardozzi 2015).

²¹ SEMERARO 2012, p. 319.

L'*Agorà* Civile è oggetto di monumentalizzazione in età augustea-tiberiana²²: la piazza viene circonscritta da portici marmorei di ordine ionico, dei quali si individuano i resti in posizione di crollo all'interno del laghetto del "*Pamukkale Termal*", oggi trasformato in una piscina a servizio dei clienti dello stabilimento.

Nell'area centrale della città (REG VIII) viene realizzato un teatro, affine alla categoria dei teatri greci, con orchestra di forma circolare, non separata dalla *cavea* costituita da gradinate in travertino²³. L'orientamento dell'edificio teatrale, ruotato rispetto a quello del tessuto urbano, è finalizzato all'adattamento della *cavea* al pendio naturale.

In seguito al rovinoso sisma che colpì la città nel 60 d.C., Hierapolis fu al centro di rilevanti trasformazioni che comportarono l'espansione dell'abitato sia verso nord che verso sud, in zone precedentemente occupate dalle necropoli. La città raggiunge in età Flavia la sua massima estensione, pari quasi a 72 ettari. Oltre agli interventi di restauro degli edifici danneggiati viene realizzato un complesso termale nel settore settentrionale della città, denominato Grande Edificio. Inoltre, l'allora proconsole d'Asia Sesto Giulio Frontino (84-85 d.C.) fa prolungare la *plateia*, che raggiunge in questa fase una lunghezza di 1.360 metri, e agli estremi della stessa fa costruire due porte monumentali a tre fornici dotate di due torri laterali con funzione ornamentale (circolari in quella settentrionali e quadrate in quella meridionale). La c.d. Via di Frontino è provvista di botteghe su entrambi i lati, con facciate unificate da una trabeazione in travertino di ordine dorico²⁴. In questa sistemazione regolare delle facciate non si riscontrano interruzioni per l'inserimento di incroci stradali²⁵. Inoltre, viene disposta una latrina immediatamente all'interno della via, anch'essa integrata nel sistema decorativo e di fondamentale importanza per i viaggiatori che giungevano in città.

Nell'area tra il prolungamento della *plateia* e la collina della necropoli orientale (REG I), in età adrianea, viene realizzata l'*Agorà* Nord. Per fare spazio alla piazza, di circa 170 per 230 m, furono obliterate parte della necropoli orientale e impianti per la produzione di ceramica. Si ipotizza che la piazza assolvesse a molteplici funzioni: attività commerciali, svolgimento di gare atletiche e spettacoli gladiatori.

L'*agorà* era delimitata da una Basilica-*Stoa* sul lato orientale e tre *stoai* sui restanti lati. La Basilica era posta su una gradinata alta 5 metri e lunga 250 metri, probabilmente sfruttata come tribuna dagli spettatori che dovevano assistere alle manifestazioni nell'antistante spiazzo non pavimentato²⁶.

²² D'ANDRIA 2005, pp. 147-155; D'ANDRIA 2007b, pp. 1-46.

²³ D'ANDRIA 2001, pp. 96-115; D'ANDRIA 2007a, pp. 145-155; DE BERNARDI FERRERO 2007, pp. 17-228; MASINO, SOBRÀ 2012, pp. 207-233.

²⁴ ISMAELLI 2009.

²⁵ DE BERNARDI FERRERO 1997, pp. 233-234, 236-238; VERZONE 1978, p. 397-400.

²⁶ ROSSIGNANI, SACCHI 2007; ROSSIGNANI, SACCHI 2011 pp. 234-237; ROSSIGNANI, BARATTO 2012, pp. 515-532.

A questo periodo si data il Teatro Nord, situato sul pendio che delimita a est l'*Agorà Nord*, il quale precedentemente ricondotto alla fase ellenistica di Hierapolis, è stato invece attribuito al processo di monumentalizzazione che coinvolge questo settore della città nel II sec. d.C.²⁷. Lo stato di conservazione del monumento è pessimo, sono ancora visibili solo una porzione dei sedili in travertino della *summa cavea* e alcune sostruzioni del settore centrale dell'*ima cavea*. Tramite le indagini da georadar è stato possibile individuare l'orchestra e parte della scena, ancora interrati²⁸.

Nel corso del II sec. d.C. anche il settore centrale di Hierapolis subisce una serie di interventi che ne modificano l'aspetto. In prossimità dell'*Agorà civile*, su una superficie corrispondente a 4 *insulae*, viene edificato il complesso delle Terme Grandi, che con la palestra ad esso annessa doveva svolgere anche funzioni di ginnasio²⁹. Quest'ultimo, indagato solo parzialmente allo stato attuale delle ricerche³⁰, doveva presentarsi come un'ampia area libera – adibita a palestra – circondata da un peristilio dorico.

Nello stesso periodo anche il *Ploutonion* è interessato da interventi di monumentalizzazione; viene infatti costruito un *theatron* al di sopra della porta degli inferi, ad una quota più alta di 2,5 m³¹. Questa scalinata permetteva agli spettatori di assistere in sicurezza ai rituali del santuario. All'età severiana è datata un'altra importante fase di ristrutturazione e monumentalizzazione. Il Teatro situato al centro della città viene in gran parte ricostruito: sostituiti i sedili in travertino dell'*ima* e *summa cavea* con sedute in marmo, eliminate le *parodoi* e realizzati il nuovo *logheion* e la decorazione marmorea della *scaenae frons*, articolata in tre ordini³².

Nel Santuario di Apollo si assiste all'ampliamento dell'Edificio A e alla realizzazione di un grande Ninfeo con pianta a U tra la *plateia* e il terrazzamento dell'area sacra³³. Un secondo edificio simile viene realizzato in epoca severiana nei pressi dell'*Agorà Nord*, il c.d. Ninfeo dei Tritoni³⁴.

Nella riforma amministrativa di Diocleziano e poi di Costantino, Hierapolis e il territorio della valle ricadono nella provincia di *Phrygia secunda Pacatiana* (Fig. 6), appartenente alla Diocesi d'Asia.

²⁷ D'ANDRIA 2003, p. 111; SCARDOZZI, LIMONCELLI 2012, pp. 185-198.

²⁸ SCARDOZZI, LIMONCELLI 2012, p.186.

²⁹ SPANÒ, BONFANTI, CHIABRANDO, PELLEGRINO 2012, pp. 162-167.

³⁰ ISMAELLI 2016A, 2016B, 2016C.

³¹ D'ANDRIA 2013, p. 157-217.

³² DE BERNARDI FERRERO, CIOTTA, PENSABENE 2007; DE BERNARDI FERRERO 2007; PENSABENE 2007; SOBRÀ, MASINO 2010; MASINO, SOBRÀ, GABELLONE, LIMONCELLI 2011; MASINO, MIGHETTO, SOBRÀ 2012; MASINO, SOBRÀ 2012; SOBRÀ 2012; SOBRÀ, MASINO 2014; ISMAELLI, SCARDOZZI, SOBRÀ 2016; SOBRÀ 2016.

³³ D'ANDRIA 2011, pp. 161-168; CAMPAGNA, SCARDOZZI 2013, pp. 208-215.

³⁴ D'ANDRIA 2011, pp. 153-161; CAMPAGNA 2012, pp. 533-563 CAMPAGNA, SCARDOZZI 2013, pp. 215-220; CAMPAGNA 2018.



Figura 6, nell'organizzazione amministrativa dell'Impero Hierapolis appartiene alla Provincia di Phrygia secunda Pacatiana inquadrata nella diocesi d'Asia (da Wikimedia commons). In basso la personificazione della Provincia (Da Notitia Dignitatum).



Meno indagate ad oggi, risultano le trasformazioni subite dalla città nella prima metà del IV sec. d.C. prima del secondo terremoto distruttivo che, intorno alla metà del secolo, causò ingenti danni, segnando profondamente la storia della città³⁵.

³⁵ D'ANDRIA 2003, pp. 37, 92, 110.

A seguito del terremoto, nel corso della seconda metà del IV sec. d.C., forse più specificatamente nell'ultimo quarto del secolo (o, al più tardi, nei primi anni del V sec. d.C.), furono costruite le mura della città³⁶. La necessità di dotare la città di fortificazioni nasce dal lungo periodo di crisi politica e militare di fine IV secolo, specialmente durante i regni di Valente (364-378) e Teodosio I (379-395), impegnati con le incursioni dei goti sia nei Balcani che in Anatolia e la rivolta di Procopio (365-366)³⁷. Non sono presenti iscrizioni che celebrino l'edificazione delle mura, ma probabilmente l'inizio dei lavori coincide con gli editti di Teodosio (395) e Arcadio (396) che obbligano le città a dotarsi di una cinta muraria.

Costruite dunque di fretta e con materiali di reimpiego, rivelano una tecnica costruttiva ancora pienamente romana, cioè con l'impiego di blocchi in travertino squadrati e l'uso minimo di leganti. Il *terminus ante quem* per la loro datazione potrebbe coincidere con la realizzazione del complesso santuarioale che occupa la collina di San Filippo, agli inizi del V sec. d.C.; infatti se si fosse trattato di una progettazione unitaria ci si sarebbe aspettati un percorso molto più rettilineo tra lo *Stenopos* 13 all'interno della città, la Porta di San Filippo e l'omonimo ponte³⁸.

Il circuito non racchiude tutta la città romana, tralasciando ampie porzioni dell'area N, come la porta di Frontino, l'*Agorà* Nord e l'attiguo Teatro. Questi ultimi due furono in questa fase smantellati (così come altri edifici dell'area urbana) e sfruttati per l'approvvigionamento di materiali edilizi e la produzione di calce, da impiegare nei vari cantieri della città³⁹.

L'*agorà* settentrionale è interessata da un'attività di demolizione e trasformazione in cava, e sui livelli di abbandono viene poi creata un'area artigianale. Ad ovest della piazza, appena fuori la Porta Bizantina settentrionale, vengono impiantate strutture abitative nella seconda metà del V sec., che durante una fase di occupazione successiva, attestata al VI secolo, dispongono di fornaci probabilmente legate al quartiere artigianale⁴⁰.

I templi del Santuario di Apollo vengono in gran parte demoliti e i materiali riutilizzati altrove o ridotti in calce⁴¹. Successivamente, sui resti poi coperti con le macerie degli edifici danneggiati dal sisma, si impostano le strutture di epoca protobizantina⁴² (di questo settore, in particolare, ci occuperemo nel prossimo sottocapitolo).

La stessa sorte tocca al *Ploutonion*⁴³: la grotta viene progressivamente colmata da detriti e materiali edilizi e la vista del complesso obliterata attraverso la realizzazione di un muro composto da materiali

³⁶ SCARDOZZI 2010, pp. 93-126.

³⁷ AMM. MARC. XXVI, 6-10; ZOS. IV, 4-8.

³⁸ SCARDOZZI ET ALII, 2010, pp. 93-109.

³⁹ SCARDOZZI 2010, pp. 366-374.

⁴⁰ MASTRONUZZI, MELISSANO 2007, pp. 541-579.

⁴¹ SACCHI, BONZANO 2012, pp. 325-357.

⁴² SEMERARO 2012, pp. 298-300.

⁴³ D'ANDRIA 2017, pp. 217-241; D'ANDRIA 2018b, pp. 235-247; PANARELLI 2018, 325-337.

di reimpiego. Il muro aveva un'altezza di m 6,50 e una lunghezza di m 27, realizzato con blocchi di reimpiego provenienti dalla demolizione di edifici più antichi. In questo periodo si inizia lo smontaggio del *theatron* e i sedili vengono riutilizzati nel muro; sembra certo, dunque, che sia stato costruito volontariamente per nascondere l'antica facciata della grotta sacra⁴⁴.

Il Teatro posto al centro dell'abitato, persa ogni funzione originaria, tra V e VI sec. d.C. fu utilizzato a scopo abitativo⁴⁵.

Con l'obliterazione dei principali luoghi di culto pagani e la realizzazione di chiese si configura la Hierapolis cristiana. La prima costruzione è rappresentata dalla Cattedrale con battistero, realizzata tra la fine del V e gli inizi del VI sec. d.C., nella parte settentrionale dell'abitato (REG III)⁴⁶; la seconda è la cosiddetta Chiesa a Pilastri, eretta nel VI sec. d.C. nel cuore dell'area urbana (REG X)⁴⁷. Sulla collina a NE, oltre il Suini Dere (REGV), si imposta il complesso santuarioale di San Filippo, collegato al luogo della sepoltura dell'Apostolo tra I e II sec. d.C., frequentato già prima della monumentalizzazione di IV sec. d.C. Successivamente, tra V e VI sec. d.C., viene realizzata una chiesa a tre navate che ingloba la tomba dell'Apostolo. A nord si imposta una scalinata che porta al *Martyrion*, una chiesa a pianta centrale con ambienti laterali dedicati ai pellegrini; questo doveva essere il punto di arrivo di un percorso processionale, che comprendeva anche un edificio termale appena oltre il ponte di San Filippo⁴⁸.

Nell'organizzazione amministrativa del VII-VIII secolo, attribuita a Costanzo II, la valle del *Lykos* ricade nel *Thema Thrakēsion*, con capitale Colosse⁴⁹.

Il nome potrebbe derivare dallo stanziamento di "un'armata di traci" (*Thracianus exercitus*)⁵⁰ alla fine del VII secolo (Fig. 7); infatti i distretti, oltre a contribuire alla leva per la creazione o il reintegro delle armate, erano anche sede dell'accampamento delle stesse⁵¹.

Nel VII secolo, quando un terzo terremoto colpisce la città danneggiandola gravemente, il sistema di fortificazione non viene più ricostruito⁵².

⁴⁴ D'ANDRIA 2013, pp. 157-217.

⁴⁵ D'ANDRIA 2012, p. 147.

⁴⁶ ROMEO 2012, pp. 585-589; PEIRANO 2012 pp. 591-600.

⁴⁷ ARTHUR 2006, pp. 145-148.

⁴⁸ D'ANDRIA 2010, pp. 56-57; CAGGIA 2012, pp. 171-192.

⁴⁹ TREADGOLD 1997, p. 316.

⁵⁰ KAZHDAN 1991, p. 2080.

⁵¹ HALDON 1990, pp. 214-215.

⁵² SCARDOZZI 2010, p. 96; GUIDOBONI 1994, pp. 349-351, n. 231.

invetriate graffite. Dagli scavi emerge anche l'attività di officine di produzione ceramica come indice di una realtà insediativa stabile, riscontrabile anche in altre aree⁵⁸.

È stato recentemente ipotizzato che l'area a nord del Grande Edificio possa essere ricondotta a un *kastron*⁵⁹, tuttavia non sono stati effettuati saggi per interpretare meglio l'area.

Le ricerche nell'*insula* 104⁶⁰ permisero di indagare in modo estensivo un quartiere di età mediobizantina, in cui la viabilità è ormai costituita da viottoli che non tengono conto della griglia ortogonale originaria. In questa fase, le case seguono uno schema costruttivo preciso: i muri sono costruiti largamente da materiale reimpiegato, legato da un impasto di terra, con gli interstizi riempiti da piccoli pezzi di mattone, disposti secondo uno schema costante. Nelle coperture non si utilizzano più le tegole fittili; pertanto, gli ambienti dovevano avere tetti piani, con travi di legno che sostenevano terrazzi in terra battuta.

Altri nuclei abitativi sono stati individuati nella zona immediatamente a nord della Porta Bizantina settentrionale, addossati alle mura di fortificazione della fine del IV secolo. Sono state documentate planimetrie varie, con ambienti rettangolari costruiti intorno a cortili, numerosi depositi di derrate entro grandi *pithoi*, abbeveratoi per gli animali, che in qualche caso riutilizzano i sarcofagi in travertino della necropoli classica. Alcuni ambienti presentano su un lato una serie di strutture a pianta quadrata (circa m 1,50 di lato), pavimentate con mattoni, poggiate su banchine a circa 80 cm sopra i livelli pavimentali, in cui l'accesso avveniva dall'alto, per scaricare e prelevare il contenuto, che è stato possibile riconoscere come granai⁶¹. Una serie di strutture simili, ma di maggiori dimensioni, ancora inedite, era allineata all'interno del Teatro, nel grande vano rettangolare posto dietro la facciata della fronte scena, dove i *silos* potevano contenere una quantità maggiore di granaglie e, poiché non sono riferibili ad abitazioni private, dovevano costituire i depositi pubblici di beni alimentari appartenenti alla comunità cittadina⁶². Inoltre, tracce dell'abitato di X-XI sono presenti nell'area tra il Teatro e il Santuario di San Filippo. Lo scavo nelle *insulae* 73 e 96 ha portato alla luce un impianto produttivo e delle abitazioni.⁶³ Un'altra area di abitato è emersa dopo lo scavo di una trincea operato dagli archeologi del Museo di Denizli; la trincea corre all'interno delle *insulae* 75, 83 e 84, al fine di creare un percorso attraverso le rovine che permetta ai turisti di raggiungere più agevolmente la cosiddetta Porta di San Filippo⁶⁴.

⁵⁸ È stata individuata una fornace nell'abitato mediobizantino della *Stoa* di Marmo, ISMAELLI 2012, pp. 406-409.

⁵⁹ ARTHUR 2016, pp. 651-662.

⁶⁰ ZACCARIA RUGGIU 2019, 25-231.

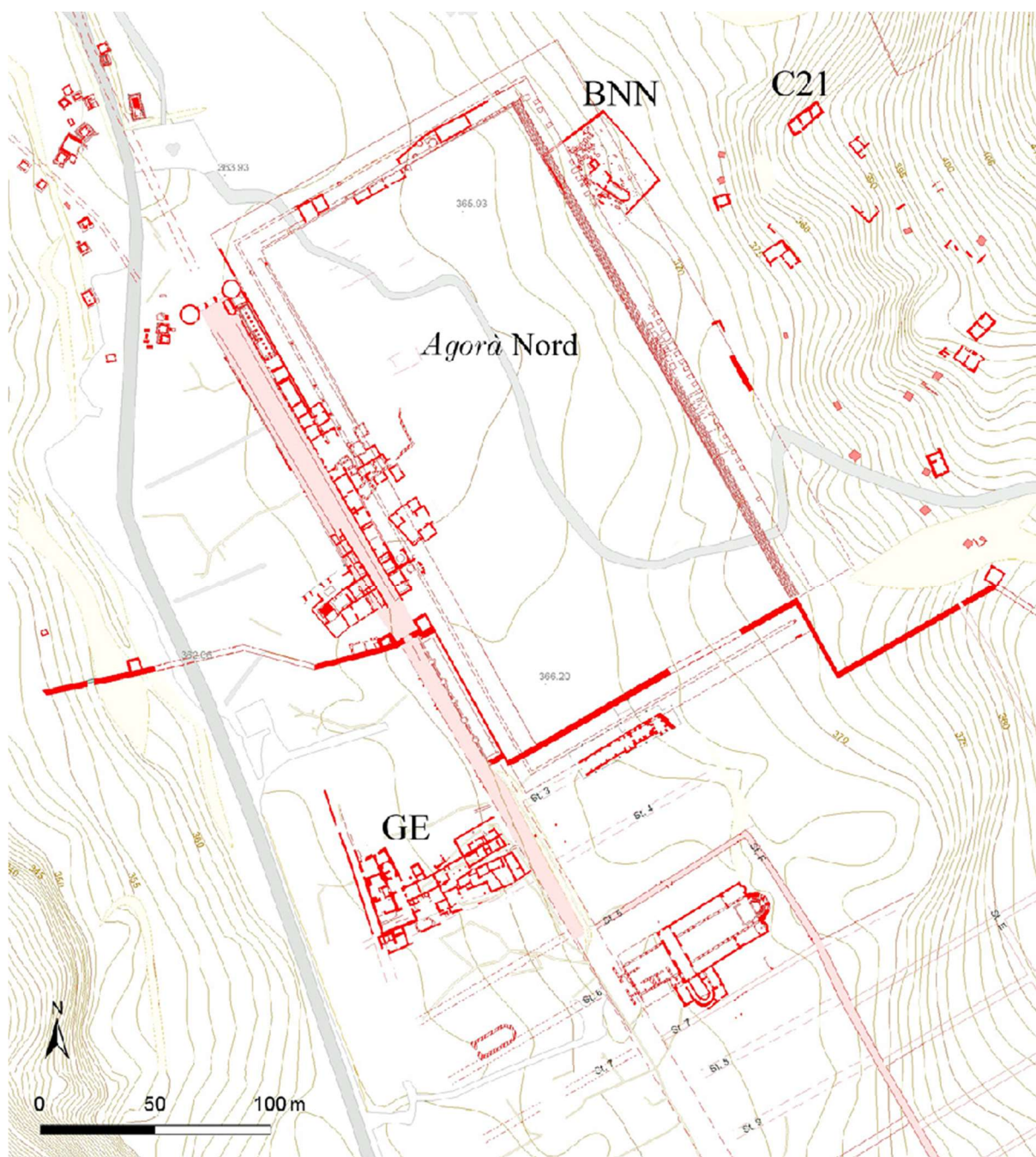
⁶¹ ARTHUR 2006, pp. 105-109.

⁶² D'ANDRIA 2018a, p. 158.

⁶³ D'ANDRIA 2016, pp. 623-650.

⁶⁴ D'ANDRIA 2018a, p. 161; SCARDOZZI 2015, pp. 149-151, Fogli 26 e 27.

Nell'area NE dell'*Agorà Nord* (Fig. 8) sono stati individuati una chiesa e un cimitero datati al IX-X secolo; dallo scavo sono emersi segnacoli ancora in posto, facendo ipotizzare un numero totale di sepolture pari a 113, di cui una all'interno dell'edificio sacro. L'abbandono è datato all'XI secolo, grazie al *terminus post quem* fornito da un tesoretto di monete di Costantino X Doukas (1059-1067)⁶⁵. Tale datazione sembrerebbe coincidere con le prime incursioni selgiuchidi in questa parte dell'Asia Minore, in seguito alla sconfitta delle forze bizantine a Manzikert nel 1071.



Per il XII secolo ci sono unicamente tracce sporadiche, probabilmente legate a occupazioni limitate nel tempo, e in relazione alla visita dell'imperatore Federico Barbarossa presso il *Martyrion* nel corso della terza crociata (1190) la città viene descritta "*dirutam civitatem*"⁶⁶.

Nella seconda metà del XII secolo, o nella prima metà del XIII secolo, venne costruita la c.d. Fortezza Selgiuchide⁶⁷ che occupava un'importante posizione strategica su uno stretto promontorio proteso dalla parte centro-occidentale del terrazzo verso ovest, a controllo della Valle del *Lycos*.

Anche le Grandi Terme (REG IX), in prossimità della fortezza, sono interessate da una fase di occupazione selgiuchide databile tra XIII e XIV secolo. All'interno dei vani dell'edificio romano fu ricavato un quartiere abitativo con ambienti che si aprivano su viottoli, in una fitta aggregazione che non è riscontrabile per questo stesso periodo nelle zone adiacenti e nel resto della città⁶⁸. Le occupazioni in questo periodo sono sparse in tutta la città; a est dell'Agorà Nord⁶⁹ si ipotizzano abitazioni in mattoni crudi e nell'area del Grande Edificio⁷⁰ sono state riconosciute strutture per tende. Tracce di frequentazione sono attestate nell'area del *Martyrion*⁷¹, nel Santuario⁷² e nel Teatro. Sembrerebbe dunque che l'occupazione nell'area delle Terme Grandi sia il nucleo centrale dell'abitato durante il periodo selgiuchide⁷³.

Tali frequentazioni sembrano interrompersi nel 1354, in seguito all'ennesimo evento sismico. Nei secoli successivi il sito fu interessato da presenze sporadiche di contadini⁷⁴, testimoniate dalla costruzione di recinti per animali, ripari e altri modesti edifici connessi ad attività agropastorali, localizzati nell'area nord della città⁷⁵.

⁶⁶ MGH, SRG: NS v, 72-90; NICETAS CONIATES, *Historia* IV, 7.

⁶⁷ ARTHUR 2002, pp. 221-227.

⁶⁸ D'ANDRIA 2018a, p. 157.

⁶⁹ ARTHUR *et alii* 2012, pp. 573-583.

⁷⁰ ARTHUR, BRUNO 2007, pp. 518-519.

⁷¹ Il vano 84, CAGGIA 2016, pp. 730-747.

⁷² SEMERARO 2012, p. 295.

⁷³ ŞİMŞEK 2000, pp. 167-192.

⁷⁴ ARTHUR 2006, pp. 17-31; ARTHUR *et alii* 2012, pp. 576-581; HILL *et alii* 2016, pp. 109-120.

⁷⁵ Sono presenti alcuni rinvenimenti dall'area delle Terme-Chiesa, CAGGIA 2022, pp. 185-192.

I.2 Applicazioni informatiche

Le ricostruzioni 3D in archeologia rientrano nel concetto più ampio di Archeologia Virtuale, la disciplina che cerca di sviluppare modi di utilizzare la visualizzazione computerizzata per la gestione globale del patrimonio archeologico. Essa infatti, consente di raccogliere, catalogare e rendere disponibili tutte le informazioni acquisite sullo scavo.

Il primo a parlare di Virtual Archaeology fu Paul Reilly⁷⁶: archeologo e informatico che nel 1991 indicò la possibilità di replicare gli scavi mediante modelli tridimensionali e soluzioni multimediali elaborate al computer. Successivamente il campo di applicazione venne ampliato ai sistemi di visualizzazione e ricostruzione di ambienti del passato facendone un veicolo di divulgazione scientifica e didattica.

La genesi a livello accademico in Italia si sviluppa contemporaneamente, con la creazione della rivista *Archeologia e Calcolatori* nel 1990.

I sistemi di rilievi digitale restituiscono oggi risultati sempre più precisi e realistici. Tra i più diffusi nella ricerca archeologica vi sono: i sistemi di fotogrammetria digitale aerea e terrestre, la tecnologia Laser Scanning.

La fotogrammetria digitale è un metodo di rilievo indiretto che permette di ottenere modelli digitali con un elevato livello di dettaglio, buona accuratezza geometrica e fotorealismo, attraverso il sapiente uso di una fotocamera digitale. A partire dalle fotografie dell'oggetto di interesse, acquisite da punti di vista differenti ma con lunghezza focale costante e con un adeguato grado di sovrapposizione, è possibile ottenere la restituzione tridimensionale, prima, dei punti nello spazio 3D, poi, delle superfici di interpolazione (mesh). Il processo avviene tramite appositi software che applicano algoritmi derivati dai principi di geometria proiettiva. Il sistema Laser Scanning, invece, si basa sull'emissione di raggi laser che colpiscono la superficie da rilevare e il calcolo del tempo di ritorno dei raggi riflessi. Per ciascun punto è possibile rilevare le coordinate nello spazio (ricavate da calcoli basati sulla lettura di angoli azimutali, zenitali e distanze. Il risultato finale di una "scansione" è un insieme digitale di migliaia di punti riferiti a una terna cartesiana di riferimento (x, y, z), detta "nuvola di punti".

Infine, i software per la modellazione tridimensionale, attraverso complessi calcoli algoritmici, sono in grado di simulare in modo sempre più accurato materiali e luce. In altre parole, consentono di definire quei parametri corrispondenti alle caratteristiche di riflessione, rifrazione, colore, rugosità, tipiche di ogni specifico materiale, quindi calcolare la luce che consente di percepire forme e materiali

⁷⁶ REILLY 1991.

esattamente come nella realtà. Si tratta del cosiddetto processo di rendering, con cui si ottengono immagini dai modelli tridimensionali (simulando le tecniche fotografiche).

Le prime applicazioni di fotogrammetria a Hierapolis sono state condotte dal Politecnico di Torino, sotto la direzione della professoressa Antonia Spanò⁷⁷.

Sono state utilizzate varie tipologie di strumenti aerei uniti agli strumenti di misurazione.

In ultimo gli UAV⁷⁸ (*Unmanned aerial vehicle*), con i quali si possono programmare i voli senza bisogno di controllare direttamente l'aeromobile. Il fine ultimo è quello di ottenere informazioni adeguate a una documentazione cartografica di grandi dimensioni e molto accurata (Fig. 9). Quest'ultima è utilizzata come supporto raster nel progetto GIS.

Utilizzando le ortofoto, è possibile esaminare le modifiche avvenute nelle aree di scavo fino al 2015, oltre ad analizzare le variazioni altimetriche e supportare la catalogazione spaziale dei reperti archeologici durante le fasi di scavo e di sistemazione. Una risoluzione di 2 cm e una precisione metrica inferiore a 2 cm dimostrano che questi prodotti sono elementi chiave per il processo di documentazione e aggiornamento geometrico nei contesti archeologici.

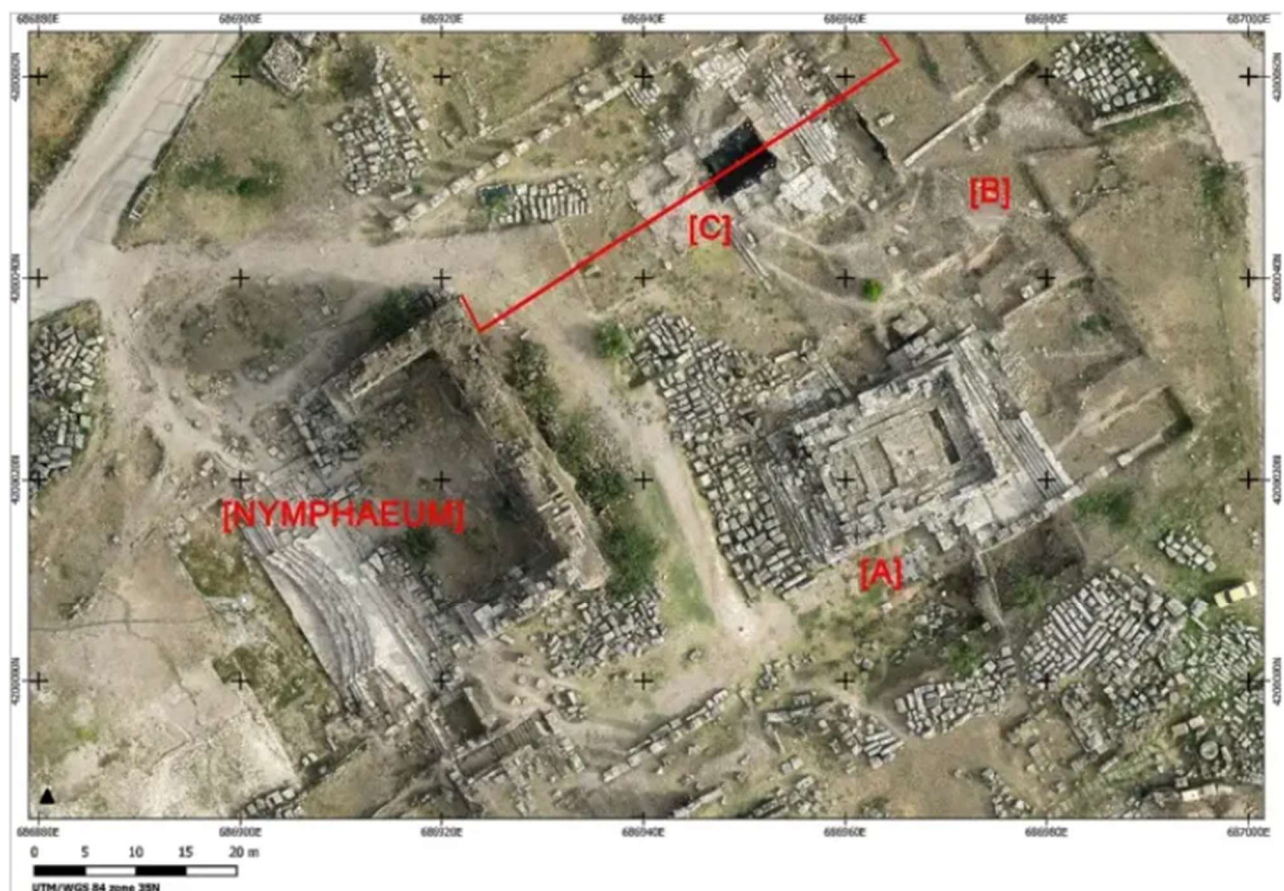


Figura 9, ortofoto di precisione del Santuario di Apollo (da CHIABRANDO 2018, p. 34).

⁷⁷ SPANÒ *et alii* 2012 pp.162-167.

⁷⁸ CHIABRANDO *et alii* 2018.

Il progetto Virtual Hierapolis, invece, nasce con l'intento specifico di ricostruire, dai dati di scavo, i monumenti della città, sia per fini divulgativi sia come strumento di studio delle ipotesi formulate.

Le origini del progetto si hanno nel 2007, in occasione del cinquantennio della Missione: Francesco D'Andria come direttore del IBAM-CNR portò avanti una collaborazione con ITLab, uno dei laboratori dell'Istituto, creato da Francesco Gabellone e affiancato da Massimo Limoncelli e Ivan Ferrari, i quali iniziarono a operare a Hierapolis utilizzando foto modellazione, fotogrammetria digitale e laser scanner. Successivamente sono stati pubblicati vari articoli sulle ricostruzioni virtuali a Hierapolis⁷⁹ fino alla pubblicazione di una monografia specifica nel 2019 (Hierapolis XIII)⁸⁰.

Il progetto ha prodotto una larga campagna di ricostruzioni tridimensionali di molti dei contesti scavati fino al 2015, in alcuni casi proponendo proposte costruttive e in altre l'elaborazione di eventuali proposte di restauro, come nel caso dei mosaici, delle pitture e delle iscrizioni nell'Insula 104 (Figg. 10-11).

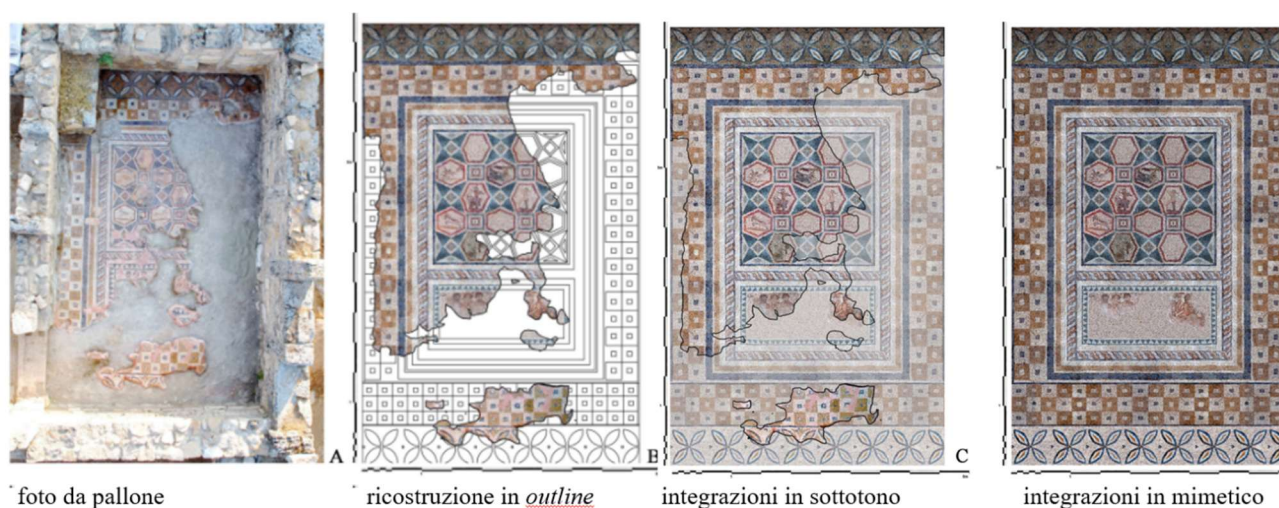


Figura 10, fasi del restauro virtuale del mosaico della stanza A26 (elaborazione da LIMONCELLI 2019).

⁷⁹ GABELLONE *et alii* 2011, come esempio di paper focalizzato sulle ricostruzioni 3D; in LIMONCELLI, SCARDOZZI 2018 e molti altri articoli le ricostruzioni sono inserite in discorsi più ampi di studio di uno specifico contesto o insieme di contesti.

⁸⁰ LIMONCELLI 2019.



Figura 11, ricostruzione 3D del vano A26 (da LIMONCELLI 2019).

È stata elaborata anche la ricostruzione del Santuario, delle terrazze superiore e mediana. Non sono state elaborate le evidenze della terrazza mediana e di accesso dalla terrazza mediana quella inferiore, né il *theatron* posizionato di fronte al Ninfeo e i portici (Figg. 12-13).

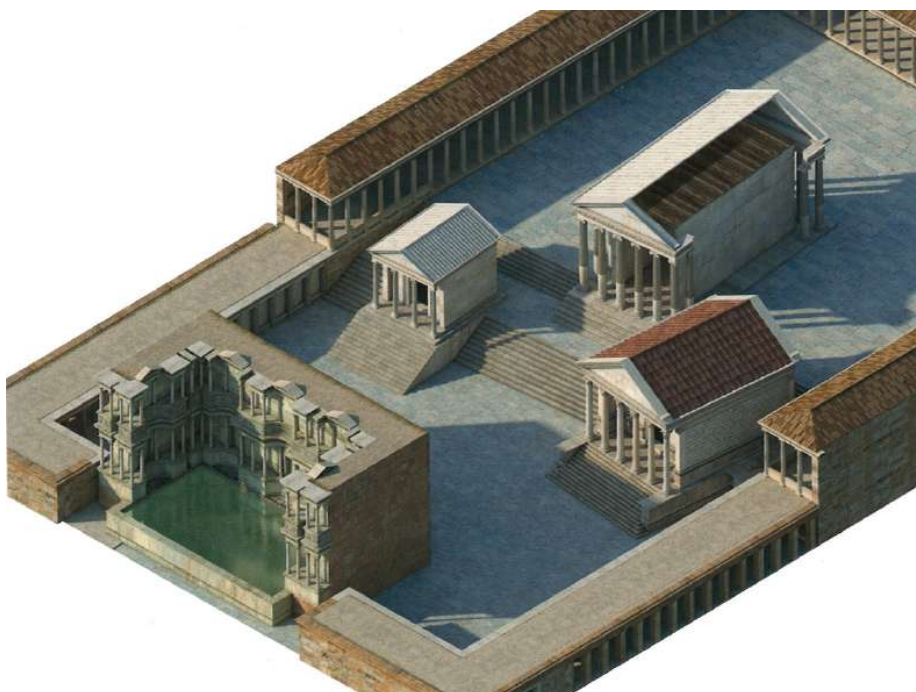


Figura 12, visione assonometrica del Santuario, elaborazione di M. Limoncelli (da ISMAELLI 2017A).

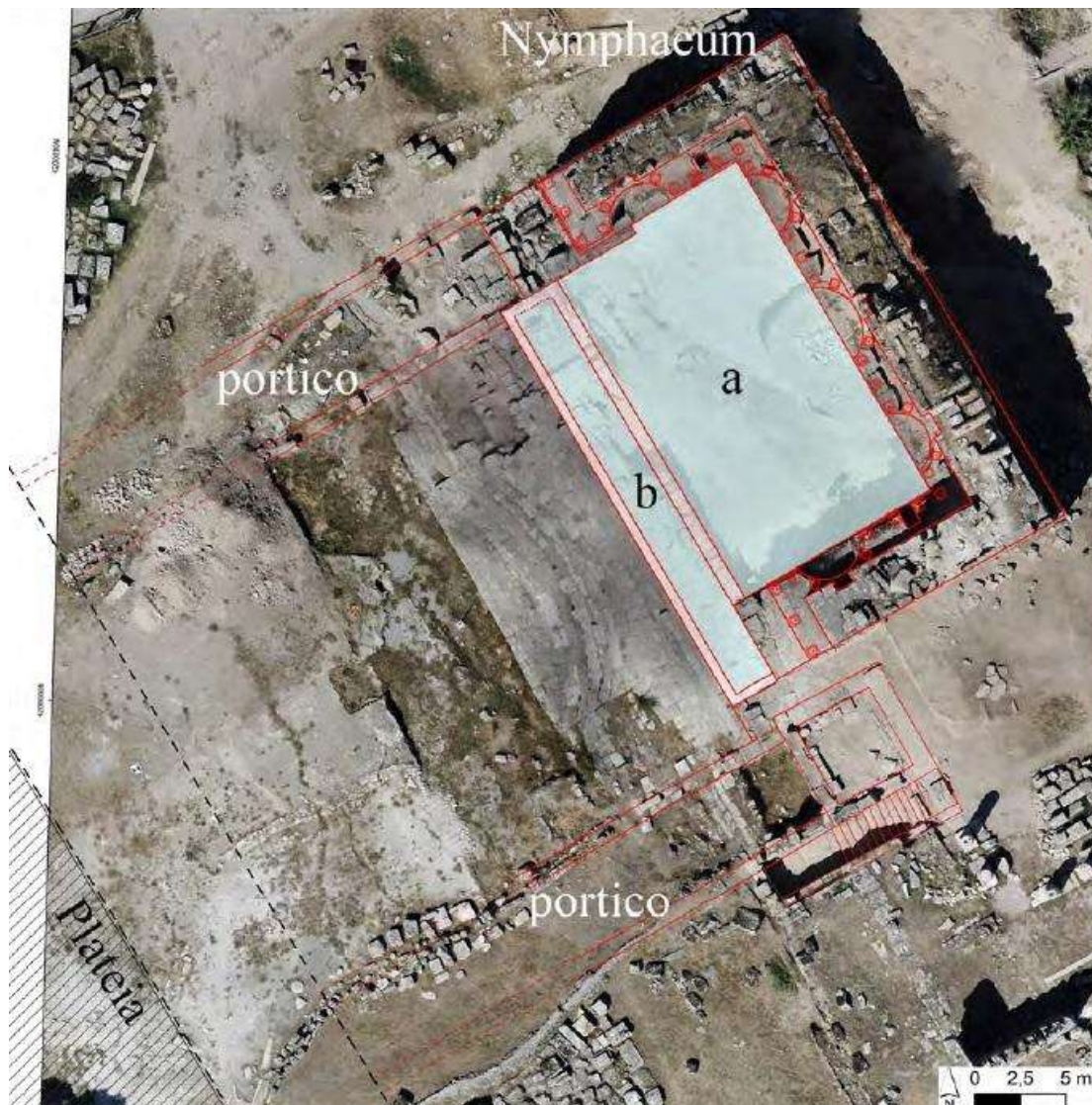


Figura 13, planimetria dell'area del Ninfeo con le evidenze non restituite in 3D (da SEMERARO 2021).

È stato prodotto, inoltre, un tour virtuale (Figg. 14-15)⁸¹ a itinerari vincolati:

- 1 – la *plateia* (*Agorà Nord*, *Cattedrale*, *Ploutonion*)
- 2 – l'area centrale (*Santuario di Apollo*, *Teatro*)
- 3 – la collina orientale (*Insula 104* e *Santuario di San Filippo*)

Il tour permette, in specifiche aree monumentali, la vista di diverse fasi cronologiche, principalmente per le due differenti fasi monumentali di età romana e la fase protobizantina.

⁸¹ LIMONCELLI 2019, pp. 163-199.

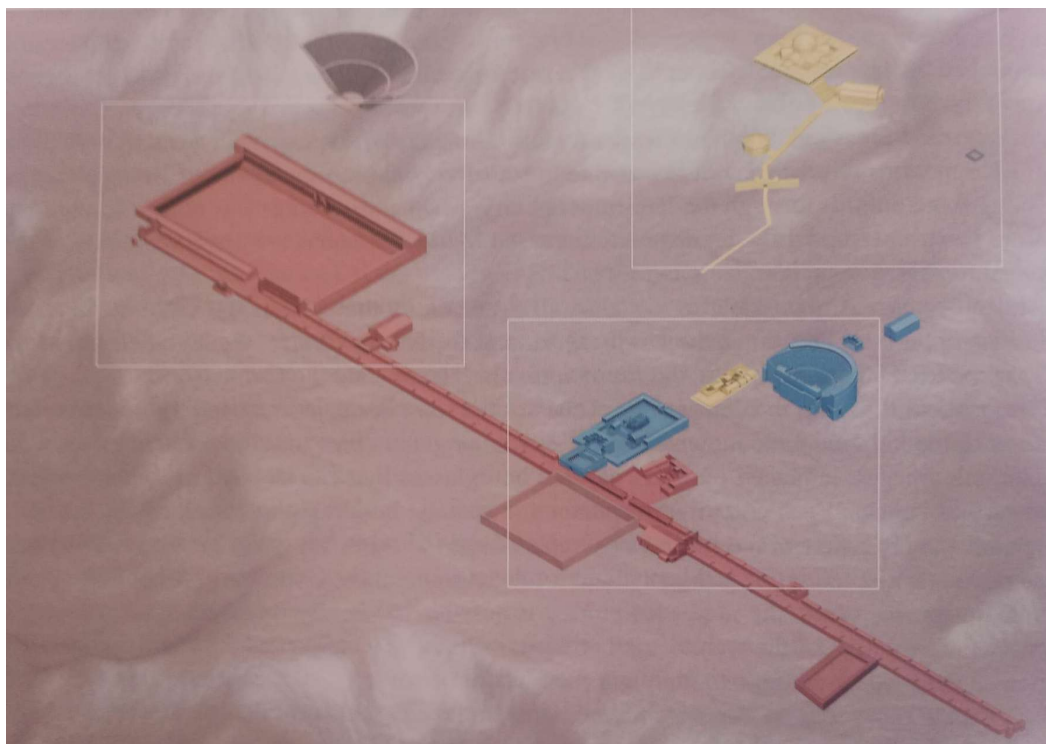


Figura 14, itinerari di Virtual Hierapolis (da LIMONCELLI 2019, p. 166).



Figura 15, interfaccia grafica dell'utente nel Virtual tour (da LIMONCELLI 2016b).

Infine, l'ultimo applicativo è la ricostruzione 3D del Santuario di Apollo tramite Esri ArcScene (Fig. 16). In questo caso il lavoro di modellazione (prevalentemente di estrusione dei dati planari) è volto a una prima lettura in alzato dei dati e delle ipotesi ricostruttive presenti nel progetto GIS⁸², oltre che alla riproposizione della sequenza stratigrafica.

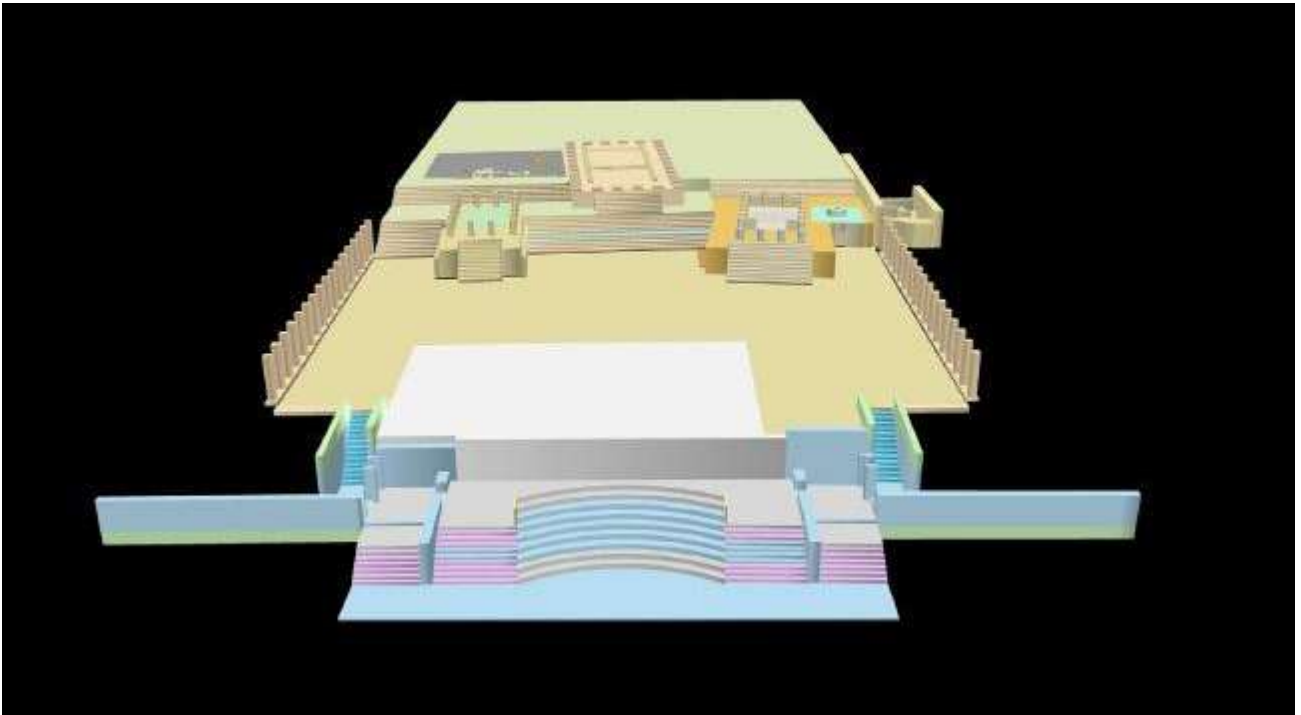


Figura 16, ricostruzione 3D ipotetica del Santuario (da SEMERARO 2016).

⁸² MONASTERO 2012; SEMERARO 2016.

CAPITOLO II – Il Santuario di Apollo a Hierapolis di Frigia

Il Santuario di Apollo

Dopo le indagini sistematiche di G. Carettoni e L. Fabbrini negli anni '60⁸³ il Santuario viene indagato in maniera sistematica a partire dal 2002 dalla professoressa G. Semeraro⁸⁴.

Scarse sono le tracce di età ellenistica, come d'altronde nel resto della città, riferibili alla pavimentazione di uno degli edifici templari e ad alcune strutture inglobate successivamente nel Ninfeo di età severiana⁸⁵.

In età augustea il Santuario viene dotato di un peribolo marmoreo⁸⁶ che cinge le tre larghe terrazze digradanti verso ovest, raccordate da scalinate in marmo. Il complesso è strutturato secondo un progetto scenografico ben preciso volto a monumentalizzare il dislivello di circa 7 m tra il terrazzo superiore e quello inferiore, su cui si apre uno degli accessi al *temenos* e alla *plateia*. A questa fase di monumentalizzazione si riferisce l'erezione dei templi B (il grande tempio periptero dedicato al culto di Apollo Archegete) e C (il quale presentava una camera ipogea). Quest'ultimo, insieme al tempio A, era destinato alle pratiche mantiche del Santuario⁸⁷. Al contrario del peribolo, perfettamente allineato alla maglia ortogonale degli isolati, i tre edifici templari non risultano orientati secondo l'impianto urbano. Essi ricalcano, infatti, l'andamento sotterraneo della faglia sismica⁸⁸.

In età Severiana (fine II – prima metà III sec. d.C.) sono attestati importanti interventi di ristrutturazione e monumentalizzazione. Questi interventi nascono dall'esigenza di riparare gli edifici della città danneggiati da un terremoto avvenuto sotto il regno di Alessandro Severo⁸⁹ e dalla volontà di aggiornare il repertorio monumentale decorativo ai nuovi gusti dell'epoca.

Nella trasformazione di III sec. l'Edificio A (Fig. 17) presenta ancora, al centro, l'antico *bothros* di età ellenistica. Ben riconoscibile è inoltre il muro continuo che definisce all'esterno il monumento e che appare realizzato con numerosi blocchi di reimpiego. Dell'apparato decorativo esterno sono presenti numerosi elementi architettonici conservati, e grazie all'ottimo stato di conservazione dei due frontoni è possibile una ricostruzione in via preliminare. Per quanto riguarda la fronte, si può ipotizzare che fosse definita da due ante, come si evince dallo studio dei capitelli conservati.

⁸³ CARRETTONI 1963, pp. 411-433; ISMAELLI 2017b, pp. 247-262.

⁸⁴ per la storia della ricerca si vedano SEMERARO 2008; SEMERARO 2012; SEMERARO 2016; SEMERARO 2020; SEMERARO 2021; SEMERARO 2024b; SEMERARO 2025.

⁸⁵ SEMERARO 2016; SEMERARO 2025.

⁸⁶ ISMAELLI 2009.

⁸⁷ SEMERARO 2012, 319.

⁸⁸ SEMERARO 2012, 316-322; SCARDOZZI 2015, 38-41, 165-166, 241-244.

⁸⁹ OR. SYB. XII, 279-281; RITTI 2017 p. 356.

Con tutta probabilità, per realizzare il muro interno sono state sfruttate le fondazioni del precedente *pseudomonopteros* (US 1414). Alla fase di III secolo è chiaramente riconducibile inoltre un nuovo pavimento, realizzato ad una quota di circa 20 cm più alta del pavimento di travertino, utilizzando blocchi di marmo reimpiegati e conservato solo in alcuni tratti (US 1417). Gli incassi e le tracce leggibili su questa struttura, nella parte sud, permettono di ricostruire la presenza di un accesso allo stretto spazio che corre intorno al muro interno. Un analogo accesso si può ipotizzare a nord. La pianta così ricostruita rimanda ad una articolazione dello spazio interno piuttosto singolare, dove prevale la tendenza a rendere poco accessibile l'area intorno al centro della struttura. Il tentativo di identificare confronti puntuali con le planimetrie più frequentemente attestate nei santuari di età romana non ha finora dato esiti. La pianta dell'Edificio A, nella fase di III sec. d.C., sembra essere stata pensata per rispondere ad esigenze specifiche del culto, così come avviene per tutta una serie di edifici culturali che non rispondono ai canoni consueti per l'architettura templare.

Il Tempio A è l'unico ancora in funzione nel VI sec. d.C.⁹⁰ e probabilmente la distruzione è legata al terremoto del VII sec. d.C. che inciderà particolarmente nella città. L'Edificio A subisce spoliazioni e rimaneggiamenti testimoniati dal reimpiego di elementi architettonici in strutture murarie mediobizantine⁹¹.



Figura 17, il Tempio A visto da ovest (foto dell'autore, ottobre 2018).

⁹⁰ SEMERARO 2008, p. 180; SEMERARO 2014, p. 15.

⁹¹ SEMERARO 2007a, pp. 171-173.

Gli altri due edifici templari, Edificio B⁹² e Edificio C⁹³ (il quale era caratterizzato da una camera ipogea), furono demoliti tra V e VI sec. d.C.

Un altro intervento notevole è la costruzione del Ninfeo (Fig. 18), ubicato più o meno nel centro del margine occidentale della terrazza inferiore, davanti gli Edifici B e C e con la facciata rivolta ad ovest. Il Ninfeo è costituito da un corpo principale (l. m 30,40, s. m 4,15), alle cui estremità rigirano due lunghe ali perpendicolari (l. m 10, s. m 2,80).

La costruzione dello stesso inizialmente venne attribuita al IV-V sec. d.C.⁹⁴; poi, sulla base di osservazioni di carattere costruttivo e stilistico⁹⁵ e sull'apparato decorativo⁹⁶, si evince che il Ninfeo monumentale debba essere collocato in età severiana. Inoltre, dallo studio del portico dorico⁹⁷ emerge che già in fase giulio-claudia fosse prevista una struttura in questa stessa area, forse riferibile a una prima fase del Ninfeo⁹⁸ o a un ingresso al Santuario (Fig. 19).



Figura 18, ninfeo visto da N-W (foto dell'autore, settembre 2021).

Dallo studio delle murature è stata riconosciuta un'attività di restauro che potrebbe riferirsi a un intervento di risistemazione del monumento successivo al sisma del IV sec. d.C.⁹⁹.

⁹² SEMERARO 2007a, p. 172, fig. 2, US 298; p. 196, fig. 40; SEMERARO 2016, pp. 193-195.

⁹³ SEMERARO 2012, pp. 298-305.

⁹⁴ VERZONE 1978, p. 443.

⁹⁵ CAMPAGNA 2006, pp. 391-396; CAMPAGNA 2008, p. 118.

⁹⁶ D'ANDRIA 2011, pp. 161-168.

⁹⁷ ISMAELLI 2009, p. 41, fig. 47.

⁹⁸ D'ANDRIA 2011, pp. 167-168.

⁹⁹ CAMPAGNA 2016, p. 228.

Non è presente ancora uno studio completo sulle fasi di costruzione e ristrutturazione¹⁰⁰.



Figura 19, stratigrafia muraria del lato N del Ninfeo (da SEMERARO 2016).

Le più recenti campagne di scavo e documentazione hanno inoltre permesso di acquisire nuovi dati sulle trasformazioni architettoniche e funzionali del Ninfeo e dell'area settentrionale del Santuario. Le indagini si sono concentrate in particolare sui rapporti stratigrafici tra il monumento, il portico giulio-claudio e le strutture connesse alla faglia, mettendo in evidenza una situazione articolata caratterizzata da canalizzazioni, livelli di crollo e strutture pertinenti a diverse fasi edilizie¹⁰¹ (Fig. 20).

¹⁰⁰ SEMERARO 2016, p. 216.

¹⁰¹ SEMERARO 2024b; SEMERARO 2025.



Figura 20, planimetria del Santuario di Apollo con gli interventi principali nell'area a Nord del Ninfeo (da Archivio MAIER).

Gli scavi più recenti hanno documentato la profonda apertura della faglia sismica con risalita di acqua termale e gas, scavata nell'area a nord del Ninfeo e per tutta la vasca dello stesso. Inoltre, sono state documentate strutture di canalizzazione riferibili probabilmente a interventi di età bizantina destinati alla gestione delle acque. In questo stesso settore sono stati inoltre individuati livelli più antichi impostati direttamente sul banco roccioso e vari elementi architettonici in crollo, alcuni dei quali riferibili a fasi precedenti del santuario¹⁰².

Le attività attualmente in corso mirano quindi alla definizione delle diverse fasi costruttive e di ristrutturazione del Ninfeo attraverso l'integrazione dei dati stratigrafici, architettonici e geomorfologici, nonché mediante il rilievo digitale e la documentazione sistematica delle strutture e dei blocchi architettonici conservati nell'area.

Parallelamente alle attività di scavo sono state avviate operazioni di rilievo, studio e restauro dei blocchi architettonici, oltre alla georeferenziazione delle evidenze archeologiche e alla revisione delle ipotesi ricostruttive del Ninfeo, finalizzate sia alla comprensione delle fasi edilizie sia ai futuri

¹⁰² SEMERARO 2025.

interventi di restauro e anastilosi del monumento¹⁰³ (Fig. 21), aggiornando così i dati della precedente ricostruzione elaborata della direttrice De Bernardi Ferrero¹⁰⁴ (Fig. 22).

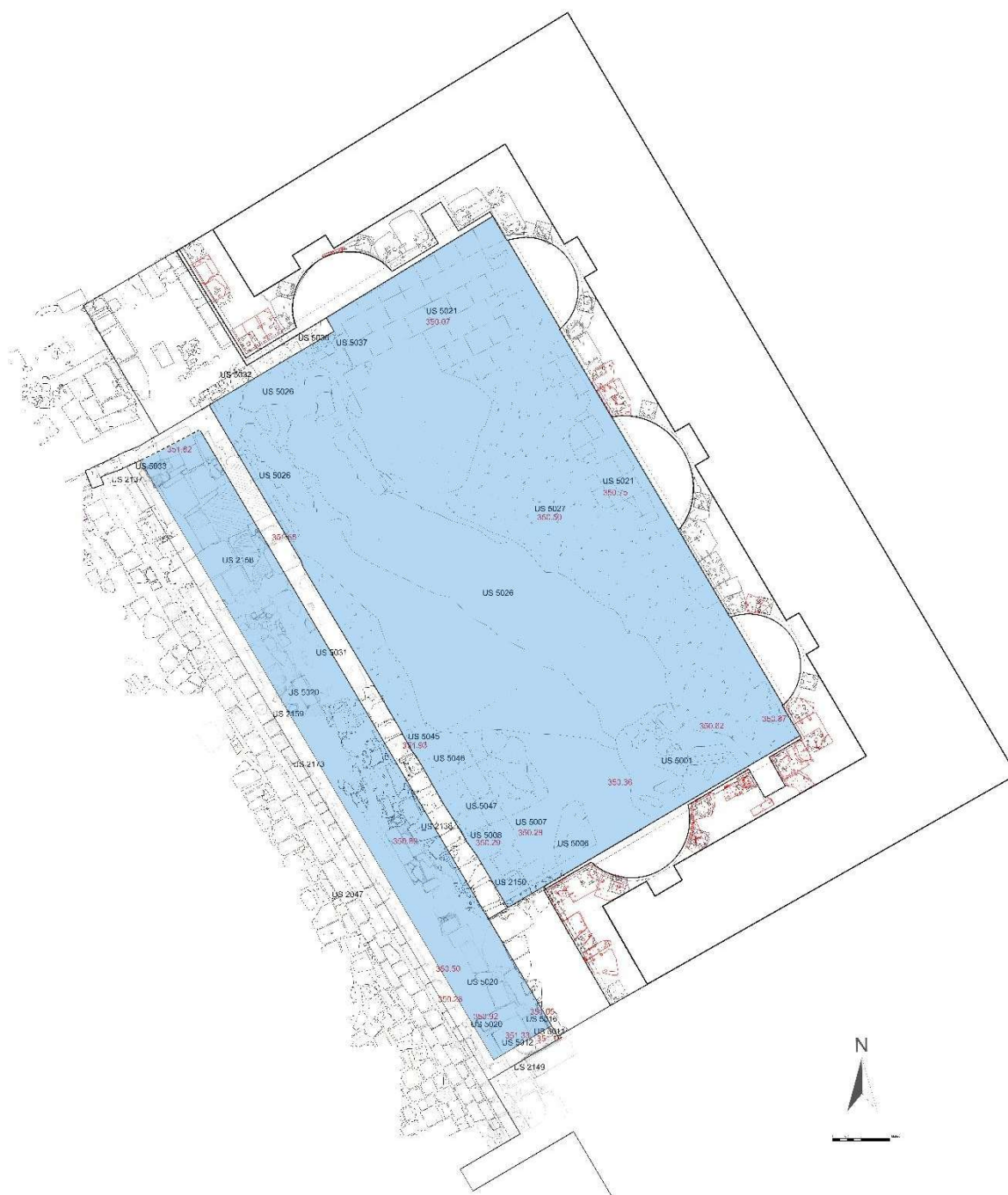


Figura 21, planimetria del Ninfeo, proposta ricostruttiva (elaborazione L. Campagna, da Archivio MAIER).

¹⁰³ CAMPAGNA 2018; SEMERARO 2024b.

¹⁰⁴ DE BERNARDI FERRERO 1999.

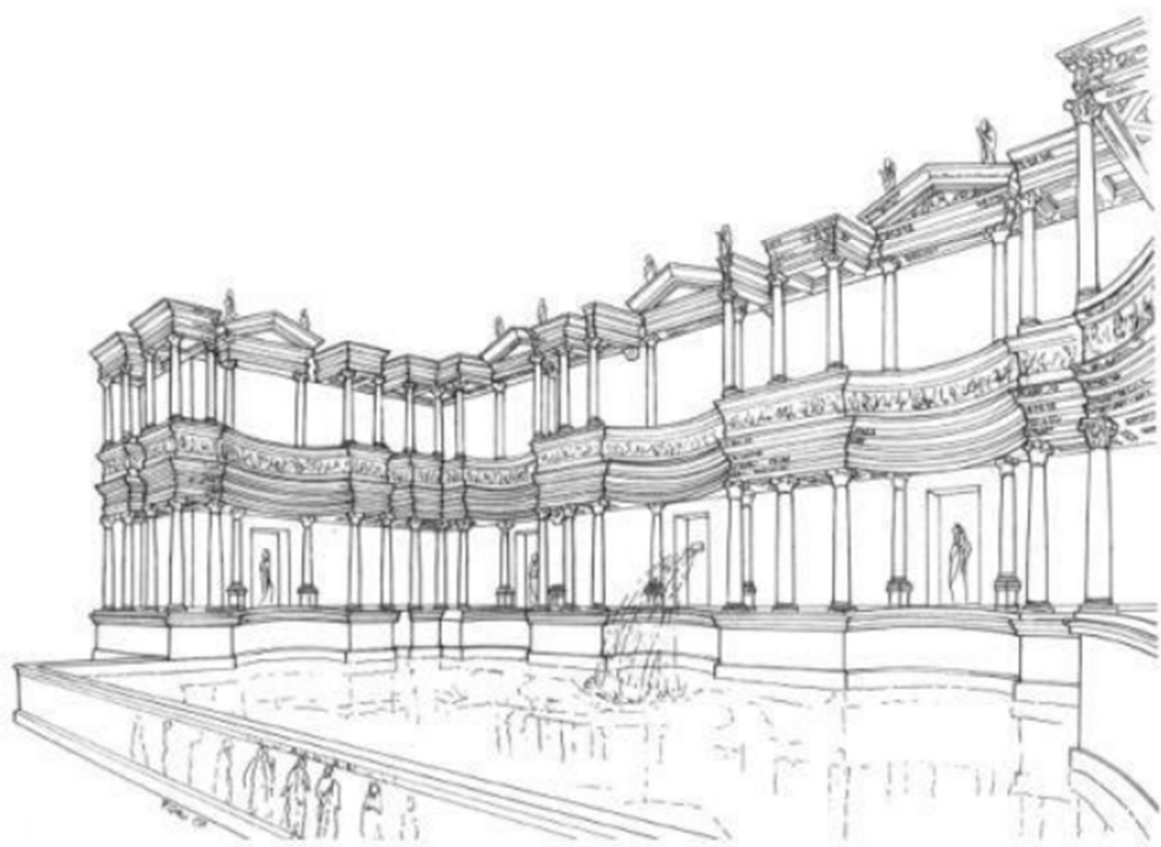


Figura 22, ipotesi ricostruttiva del Ninfeo (da DE BERNARDI FERRERO 1999).

CAPITOLO III - Obiettivi e metodologie della ricerca

III.1 Applicazioni GIS

La metodologia adottata per l'acquisizione della documentazione grafica sul terreno si è avvalsa di tecniche innovative, quali l'impiego della stazione totale e del GPS, che hanno consentito l'elaborazione di rilievi di dettaglio di tutte le evidenze archeologiche – in scala 1:20 e 1:50 – all'interno di un unico sistema georeferenziato (UTM35-ED50).

La tecnica celerimetrica (Fig. 23), applicata alla scala del dettaglio archeologico, supporta e ottimizza il rilievo manuale, permettendo un rapido e preciso posizionamento dei dati nel progetto digitale in ambiente GIS (Fig. 24). A differenza dei metodi tradizionali basati sulla triangolazione delle singole misure, il rilievo viene eseguito integralmente mediante stazione totale, che utilizza un raggio laser per determinare la distanza tra lo strumento e il prisma ottico posizionato sui punti da rilevare. In alcuni casi, la misurazione può avvenire anche tramite target specifici o direttamente sulla superficie dell'oggetto, senza significative perdite di precisione.

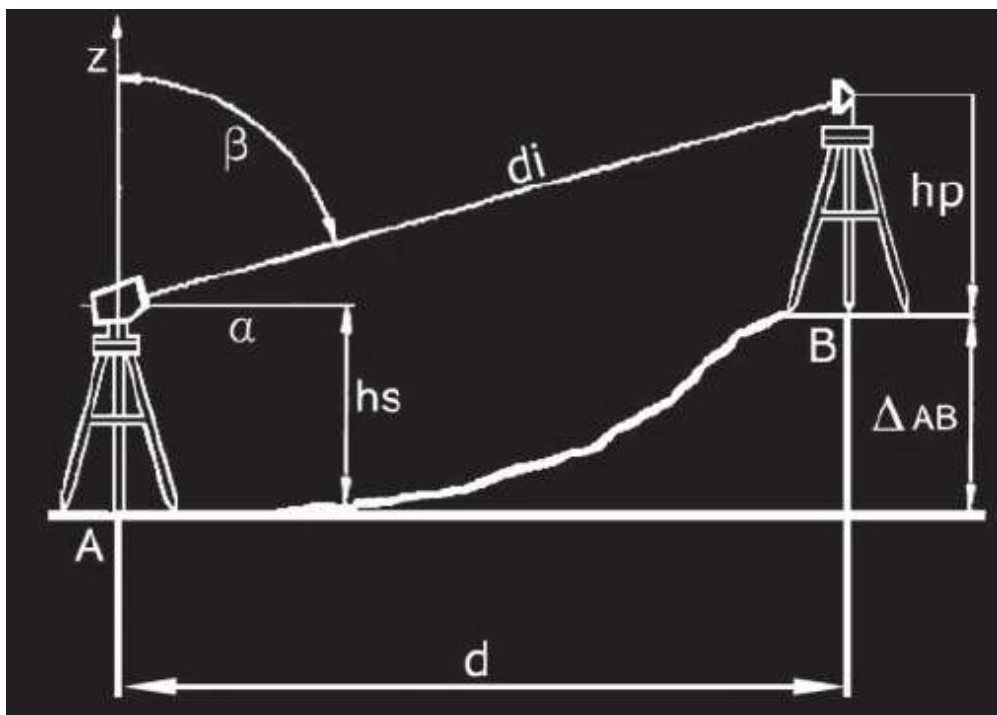


Figura 23, funzionamento di una stazione totale (da Semeraro, Pecere 2007b).

Nella fase preliminare si procede al posizionamento della stazione totale; la ricerca della posizione ottimale costituisce un aspetto fondamentale nell'area del Santuario, dove i dislivelli e le strutture in elevato possono rappresentare potenziali ostacoli durante le operazioni di battuta dei punti. Data la

presenza di diverse aree di scavo risulta fondamentale che la stazione disponga di un ampio raggio di visibilità, poiché prima di procedere con l'acquisizione dei punti è necessario effettuare l'orientamento della stessa, che avviene battendo i punti di almeno due capisaldi di coordinate note (capisaldi 6000, 6001, 10000, "interno", "esterno"), da inserire manualmente nel sistema. Per esigenze di economia operativa è pertanto necessario ridurre il numero di messa in stazione, al fine di ottimizzare i tempi ed evitare dispersioni durante le attività d'indagine. La stazione è inoltre dotata di un sistema CAD integrato che consente la visualizzazione dei punti e delle linee del progetto; ciò permette di controllare in tempo reale le coordinate acquisite – in particolare le quote altimetriche – ed eventualmente di individuare errori grossolani commessi dagli operatori. Durante i lavori sul campo la mole di documentazione del Santuario, sia quella descrittiva – in particolare schede US e diario di scavo – sia quella grafica, è stata gestita in modo organico allo scopo di renderne possibile il diretto utilizzo e collegamento all'interno delle procedure informatiche del progetto GIS. Si è cercato quindi di adeguare le procedure di documentazione archeologica di cantiere alla base dell'architettura generale del sistema informativo.

Dal punto di vista metodologico, si è scelto di eseguire rilievi di dettaglio in scala 1:20 e generali delle aree di scavo, documentando tutte le evidenze archeologiche, sia le strutture complesse sia le unità stratigrafiche orizzontali. Questo approccio consente una registrazione puntuale dei dati, funzionale alle successive analisi e alla ricostruzione complessiva dell'area del Santuario. In casi specifici, sono stati anche realizzati rilievi in scale 1:10 e 1:5 per le piante di dettaglio, mentre prospetti e sezioni vengono generalmente rilevati in scala 1:10.



Figura 24, battuta dei punti e aggiornamento dello schizzo.

Successivamente i dati grezzi acquisiti sul campo – distanze inclinate, angoli orizzontali e verticali – vengono elaborati mediante un programma di calcolo trigonometrico e trasformati in un insieme di punti di coordinate note (x, y, z) all'interno del piano cartesiano di riferimento.

Il file di punti così ottenuto viene quindi restituito e stampato alla scala desiderata (1:20, 1:50, etc.), costituendo lo schema grafico di base per l'esecuzione manuale del rilievo archeologico di dettaglio (Fig. 25).

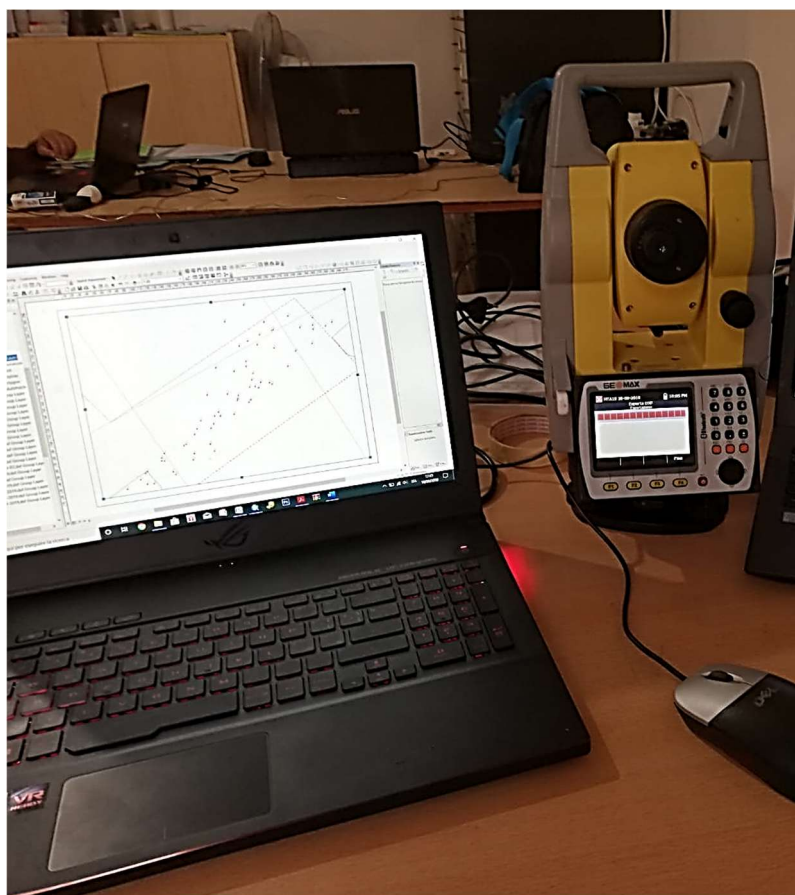


Figura 25, a destra la stazione sta scaricando i punti battuti su un supporto esterno, mentre nel pc a sinistra è stato elaborato uno schema base per un rilievo.

I rilievi vengono successivamente acquisiti come file raster e caricati all'interno dell'ambiente GIS; attraverso le procedure di georeferenziazione essi vengono collocati nello spazio digitale del Santuario. In una prima fase tali operazioni venivano gestite prevalentemente in ArcMap, mentre attualmente il flusso di lavoro è stato trasferito in ArcGIS Pro, in ragione della maggiore integrazione tra gestione dei dati, visualizzazione tridimensionale e interoperabilità con i più recenti standard di *geodatabase* e modellazione informativa.

A questo punto si procede al ricalco del rilievo di dettaglio mediante l'impiego di differenti tipologie di file vettoriali — principalmente punti, polilinee e poligoni — utilizzati per distinguere le diverse

unità e caratteristiche stratigrafiche: linee semplici, linee di pendenza, linee triangolate per la rappresentazione dei tagli, linee tratteggiate per tratti ipotetici e linee più sottili per le caratterizzazioni di dettaglio. Per distinguere i materiali viene adottata una specifica convenzione cromatica delle linee, ad esempio verde per i blocchi in marmo e marrone per quelli in travertino. Un'ulteriore distinzione cromatica è applicata alle fasi cronologiche: in rosso la fase ellenistica, il blu identifica la fase Giulio-Claudia, il verde chiaro quella protobizantina e il marroncino quella mediobizantina.

Generalmente possono essere anche applicate delle modifiche tramite una categorizzazione della simbologia, ovvero basandosi su un singolo campo della tabella attributi del vector differenziare in base ai valori inseriti differenti colori.

In tal modo, il lavoro svolto nelle diverse aree interessate dagli interventi di scavo stratigrafico può confluire nel sistema informativo generale della città, integrando, opportunamente semplificato, il rilievo su scala urbana. In un'area come quella del Santuario, caratterizzata da significativi dislivelli e salti di quota — tra la terrazza inferiore e quella superiore si registra infatti un dislivello superiore ai 4 m — l'impiego di uno strumento capace di calcolare angoli e distanze non solo consente di velocizzare le procedure di acquisizione dei dati, ma risulta fondamentale per ottenere una base cartografica ad alta precisione.

Il vantaggio di tale metodologia consiste nella disponibilità immediata di una serie di punti georeferenziati attraverso cui collocare l'intera documentazione grafica prodotta sul campo all'interno del GIS di scavo; le planimetrie cartacee, convertite in formato *raster* e georeferenziate, costituiscono infatti lo sfondo per la successiva digitalizzazione degli elementi rappresentati.

Tra le procedure predisposte per la documentazione dei blocchi architettonici rinvenuti nell'area del Santuario di Apollo è stato inoltre realizzato un database in Microsoft Access, finalizzato alla registrazione delle principali informazioni relative ai singoli elementi architettonici. Tale scelta è derivata dalla necessità di effettuare una classificazione preliminare dei blocchi e di predisporre un supporto integrato alla documentazione grafica.

Per la selezione del software GIS sono stati presi in considerazione principalmente ArcGIS Pro e QGIS. AutoCAD, pur frequentemente utilizzato in ambito archeologico, è stato escluso come piattaforma principale, poiché non consente di ottenere capacità di analisi spaziale e interrogazione dei dati paragonabili a quelle offerte da un ambiente GIS, sebbene la fase di disegno e vettorializzazione risulti generalmente più rapida.

Il passaggio da ArcMap a ArcGIS Pro risponde inoltre all'esigenza di adottare una piattaforma pienamente aggiornata e maggiormente performante: oltre a un'interfaccia più intuitiva e a una migliore gestione dei layout e dei dati raster e vettoriali, il software consente una più efficace

integrazione con database relazionali, servizi web cartografici e workflow tridimensionali, aspetti oggi centrali nella gestione dei dati archeologici complessi del Santuario.

Per la gestione del dato tridimensionale sono stati effettuati alcuni test utilizzando le nuove funzioni di ArcGIS PRO (Fig. 26), analogamente a quanto fatto negli anni precedenti con ArcScene¹⁰⁵, nel complesso per la gestione automatica delle estrusioni sono stati inseriti tre nuovi campi nella tabella attributi (Fig. 27):

- Q_base, che corrisponde alla quota assoluta in cui possiamo vedere l'inizio di una struttura;
- Q_max, la quota massima assoluta a cui una struttura è conservata;
- H; la differenza in metri tra Q_max e Q_base.

Per queste operazioni si è proceduto a convertire i *vector* selezionati in '*multipatch*', applicando tool di *geoprocessing* (come *Extrude* o *Layer 3D to Feature Class*) per trasformare dati 2D mantenendo gli elementi di attributo strettamente necessari.

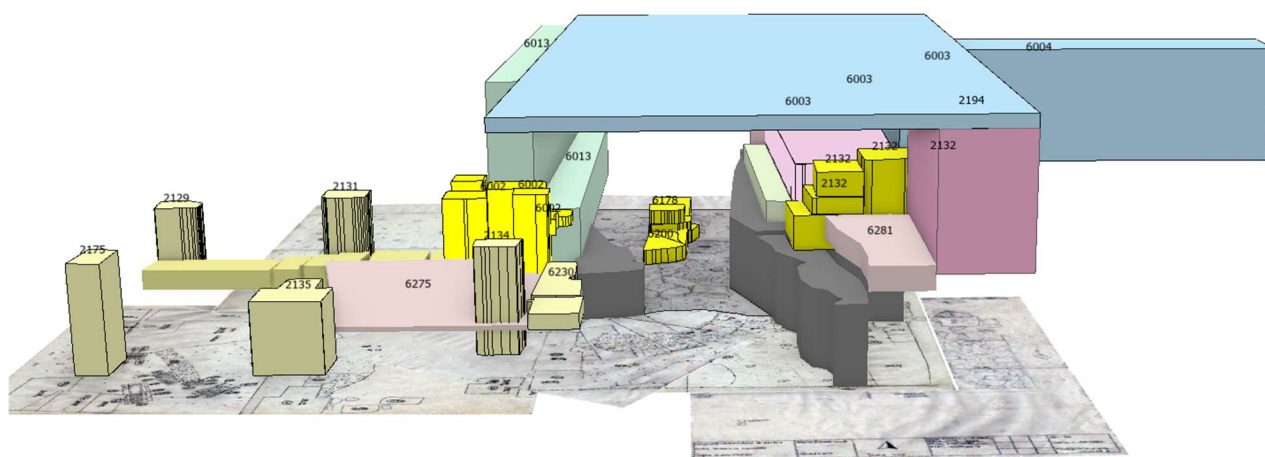


Figura 26, area a nord del Ninfeo, estrusione di alcune strutture, in basso è presente un'unione dei rilievi manuali effettuati durante lo scavo.

¹⁰⁵ SEMERARO 2016, MONASTERO 2012.

Multi_global5 - Santuario estrusioni - ArcGIS Pro

Multi_global5

Field: Selection:

	FID	Shape *	Id	N_US	Q_base	Q_max	H
3	2	MultiPatch M	0	2132	349,62	350,37	0,75
4	3	MultiPatch M	0	2132	350,37	350,73	0,36
5	4	MultiPatch M	0	2132	350,75	351,28	0,53
6	5	MultiPatch M	0	2132	350,18	351,49	1,31
7	6	MultiPatch M	0	2132	350,18	351,5	1,32

1 of 40 selected

Filters: 100%

Figura 27, tabella attributi utile all'estrusione in ArcGIS Pro.

III.2 Fotogrammetrie e modellazione 3D

Durante le campagne di scavo è stata impiegata la fotogrammetria per la restituzione tridimensionale di alcune evidenze archeologiche. Nonostante la sua rapida diffusione nell'ambito dell'archeologia e del restauro, essa non ha sostituito la tecnica celerimetrica né il rilievo manuale, ma ha piuttosto evidenziato come sia necessario integrare metodologie differenti, al fine di combinare i dati e ottenere un risultato quanto più rigoroso possibile.

I *software* di fotogrammetria usano una tecnologia *image-based*, in cui sensori passivi (camere e video camere) producono immagini dalle quali è possibile, attraverso un modello matematico ben preciso (in fotogrammetria le equazioni di collinearità o la DLT), ricavare le coordinate 3D dell'oggetto indagato.

Il primo passaggio, definito in differenti modi a seconda del software utilizzato, permette la *features detection*: attraverso una serie di algoritmi viene realizzata una nuvola di punti a bassa densità e vengono calcolati i parametri di scatto e la posizione delle camere (Fig. 28A). Il secondo passaggio consente di generare la '*dense cloud*' (Fig. 28B), attraverso la rianalisi del prodotto della *feature detection* e di un confronto con le immagini acquisite. Attraverso due operazioni, *expand e filter*¹⁰⁶, vengono espanse le aree prossime ai punti individuati in precedenza e corretti eventuali errori. Il connubio di questi due processi crea lo scheletro del modello virtuale, sul quale l'operatore può intervenire per effettuare operazioni di pulizia della nuvola di punti. Successivamente, la *dense cloud* viene convertita in una superficie poliedrica o *mesh* (Fig. 28C) e infine rivestita di immagini digitali o *texture* (Fig. 28D). A partire dal modello così ottenuto è possibile elaborare ortofoto, integrare delle linee di disegno (quali linee di sezione e curve di livello) e produrre modelli DEM (Modello Digitale di Elevazione) e DSM (Modello Digitale della Superficie). Per un utilizzo corretto vengono seguite alcune linee guida operative:

- garantire una copertura completa dell'oggetto, possibilmente ripreso a 360°, sia in senso orizzontale sia verticale;
- disporre di fotogrammi sovrapponibili del 60-80 %;
- acquisire immagini in condizioni di illuminazione ottimali, evitando contrasti eccessivi e ombre non uniformi.

Il *software* utilizzato per processare le immagini e costruire il modello tridimensionale è 3D Flow Zephyr Aerial (3DF Aerial v. 8). La scelta di questo programma, in alternativa al più diffuso Agisoft Metashape, è stata determinata in virtù del livello più alto di prestazioni in alcune

¹⁰⁶ BEZZI E BEZZI 2011, p. 104.

specifiche¹⁰⁷:

- entrambi i *software* permettono di aggiungere ulteriori immagini a quelle già allineate. Zephyr si distingue in quanto offre l'opportunità di specificare a quali immagini, fra quelle allineate, sono vicine quelle che è necessario inserire;
- Zephyr offre molte più opzioni per configurare il comportamento degli algoritmi per meglio adattarlo al tipo di acquisizione fatta (oggetti ravvicinati, foto da drone, etc.);
- entrambi i *software* offrono una stima delle dimensioni reali degli oggetti ricostruiti. Metashape però richiede che le foto siano geolocalizzate (geotiff) e in generale non restituisce una buona stima delle dimensioni reali (nello specifico, l'errore quadratico medio);
- Zephyr consente inoltre l'estrazione automatica dei fotogrammi da video, attraverso la parametrizzazione del livello di similarità, permettendo quindi la generazione di modelli 3D anche a partire da sequenze video.

Nelle recenti campagne di scavi è stato realizzato un modello generale dell'area di scavo a nord del Ninfeo, oltre a diversi modelli di dettaglio relativi a specifiche evidenze (fondazioni, faglia, arco di scarico, Ninfeo etc.). L'acquisizione delle immagini è avvenuta in prossimità dello zenit solare, al fine di ridurre il più possibile la presenza di ombre – comunque inevitabili per via della mole del Ninfeo – e di garantire una maggiore leggibilità delle superfici in maniera dettagliata. Per giunta, le attività di pulizia e sistemazione dello scavo venivano svolte ogni mattina, rendendo di fatto non sempre possibile l'acquisizione di immagini utili nelle prime ore del giorno.

Le immagini sono state acquisite mediante voli con drone, oltre che tramite macchina fotografica digitale e smartphone.

Per garantire la coerenza metrica dei modelli fotogrammetrici sono stati impiegati *marker* bicromi per l'individuazione dei Ground Control Points (GCP), battuti mediante stazione totale.

¹⁰⁷ TAMPUCCI, MORONI 2021.

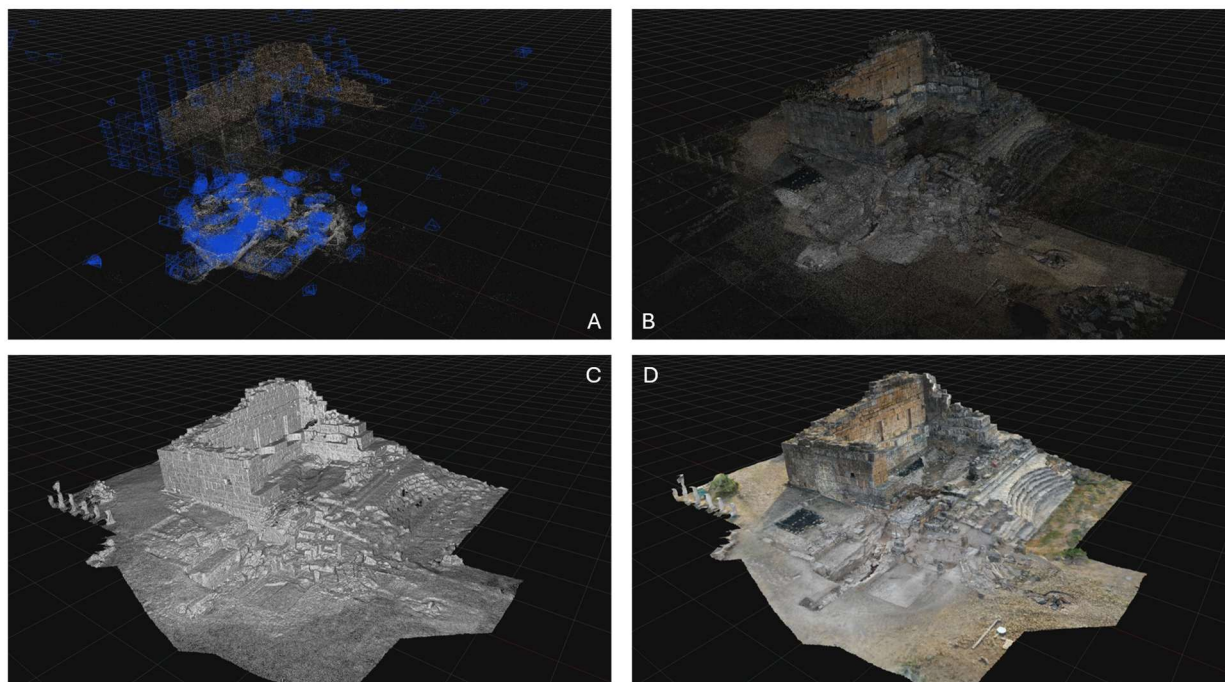


Figura 28, fasi di elaborazione della fotogrammetria: A nuvola sparsa, B nuvola densa, C mesh, D mesh con texture.

Per la modellazione 3D è stato utilizzato il software Maxon Rhinoceros 8 (Rhino); la scelta del software è stata motivata dalla possibilità di integrare direttamente i dati prodotti in ambiente GIS e importarli mantenendo proporzioni, misure e tipologia di file vector e raster. Rhinoceros è strumento di modellazione di superfici 3D flessibile e di agevole utilizzo, che consente di costruire geometrie NURBS (*Non-uniform rational basis spline*) e poligonali mesh per la realizzazione di modelli tridimensionali di oggetti a forma libera. L'interfaccia del software si colloca in una posizione intermedia tra i sistemi CAD e i software di modellazione pura come 3ds Max e Maya.

Per una facile gestione degli oggetti di superficie, il software permette di unire due o più superfici contigue che condividono bordi comuni, formando così una polisuperficie. Tra le diverse modalità per rappresentare un solido al computer, il solido di Rhino è una superficie o una polisuperficie che racchiude un volume senza spazi vuoti, aperture o intersezioni tra le singole superfici. Per ottenere forme ed effetti di forma speciali a partire da superfici già costruite, è possibile utilizzare gli strumenti di trasformazione disponibili nel software.

Per facilitare la gestione di modelli di prodotti o sistemi con più componenti, Rhino consente di creare definizioni e istanze di blocchi. Per far fronte ad altre operazioni computerizzate permette di importare ed esportare vari formati di file, sia linee e punti in formato '.dxf' sia tutti i vari formati di modello 3D (obj, fbx etc.). A supporto dell'interpretazione umana di design, è inoltre possibile produrre disegni tecnici 2D, secondo le quattro visioni canoniche (frontale, laterale, superiore e

prospettica). Fondamentalmente, è possibile rappresentare un oggetto 3D in tre modi principali: wireframe, superficie o solido.

Il modello wireframe rappresenta la tipologia primitiva di oggetto 3D ed è costituito da un insieme di curve non connesse nello spazio tridimensionale. Le curve definiscono esclusivamente il modello di un oggetto tridimensionale che, in questo caso, non ha informazioni relative a superficie o volume, ma solo dati che descrivono i bordi dell'oggetto.

Il modello a superficie, invece, è un costrutto matematico bidimensionale privo di spessore che, rispetto al wireframe, integra informazioni relative al contorno e alla forma dell'oggetto. Tale tipologia è comunemente impiegata nei sistemi di produzione e nella generazione di rendering fotorealistici o animazioni.

Il modello solido rappresenta infine il livello più completo di descrizione tridimensionale, in quanto integra dati geometrici di bordo e superficie con informazioni volumetriche. Questa tipologia di modello non è finalizzata esclusivamente alla visualizzazione, ma trova applicazione anche nelle fasi di analisi progettuale e di calcolo.

Per la gestione dei dati di scavo sono stati importati degli export RASTER prodotti dal GIS o da rilievi diretti di elementi di blocchi architettonici (es. Fig. 29), al fine di ottenere una pianta di base, integrati con ortofoto. La restituzione degli alzati è stata invece affrontata con modalità differenti: dove disponibili, sono state inserite le fotogrammetrie, convertite successivamente in mesh all'interno di Rhino; negli altri casi si è proceduto all'estrusione di elementi semplici direttamente dai dati VECTOR importati, oppure dalla modellazione di elementi complessi in elevato (quali porzioni di portici) partendo dai rilievi architettonici e dalle ipotesi ricostruttive¹⁰⁸.

¹⁰⁸ D'ANDREA 2017.

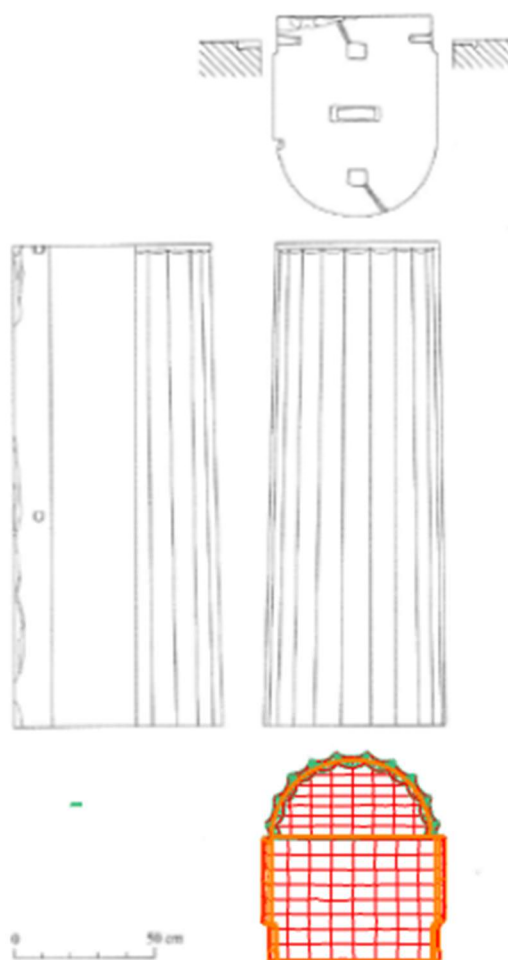


Figura 29, rilievo da elementi da elementi RASTER editi, Rhinoceros (immagine da ISMAELLI 2009).

III.3 Applicazioni del BIM

Negli ultimi due decenni il panorama dell'architettura, dell'ingegneria e della conservazione ha assistito a una trasformazione profonda dovuta all'adozione delle metodologie digitali, e in particolare del Building Information Modeling (BIM). Nato inizialmente come strumento destinato al settore delle nuove costruzioni, il BIM si è progressivamente imposto come paradigma capace di ridefinire processi, linguaggi e forme di collaborazione tra professionisti. Dal punto di vista legislativo, in Italia, il D.Lgs. 50/2016 (Codice dei Contratti Pubblici) e il DM 560/2017, introducono l'obbligatorietà progressiva del BIM negli appalti pubblici, mentre dal 1° gennaio 2025, il BIM è obbligatorio per tutti i lavori pubblici, in linea con la strategia europea per la transizione digitale del settore delle costruzioni.

In questo contesto, l'Unione Europea finanzia molti progetti in questo ambito. Per la formazione su questo tema sono stati sfruttati i mesi in azienda previsti dal percorso dottorale, presso il CETMA (Centro di Ricerca e Trasferimento Tecnologico).

In questo periodo si è potuto lavorare all'interno del progetto OpenDBL¹⁰⁹, il quale è un'iniziativa europea co-finanziata dal programma Horizon Europe (grant agreement no. 101092161) che si propone di definire, sviluppare e far adottare un *Digital Building Logbook* (DBL) aperto e standardizzato per il settore AECO (Architecture, Engineering, Construction & Operations). Il concetto di *Digital Building Logbook* si inserisce nel più ampio processo di digitalizzazione del costruito, proponendosi come uno strumento in grado di raccogliere, organizzare e rendere accessibili tutte le informazioni relative al ciclo di vita di un edificio: dalla progettazione alla costruzione, dalla gestione alla manutenzione, fino alla dismissione o riqualificazione.

L'intento principale del progetto è la definizione di una piattaforma digitale aperta che consenta di integrare dati provenienti da differenti fonti – modelli BIM, sensori IoT, sistemi di monitoraggio energetico o strutturale, documentazione amministrativa e normativa – in un unico ambiente condiviso. In tal modo il *Logbook* diviene una vera e propria “memoria digitale” dell'edificio, uno strumento di conoscenza continua che accompagna il bene lungo tutto il suo ciclo di vita, assicurando trasparenza, tracciabilità e aggiornamento costante delle informazioni.

In questa prospettiva, il modello informativo non rappresenta soltanto una restituzione geometrica dell'edificio, ma un'infrastruttura interoperabile capace di mettere in relazione dati, procedure e piattaforme differenti, favorendo una gestione coordinata e dinamica delle informazioni lungo tutto il ciclo di vita del manufatto¹¹⁰. In questo quadro, il BIM si configura come un sistema digitale capace

¹⁰⁹ <https://www.opendbl.eu/>

¹¹⁰ GATTULLI, PINNETTI, RINALDI, 2025, pp. 198–216.

di integrare modelli geometrici, dati tecnici e procedure operative all'interno di un ambiente interoperabile. L'obiettivo non è soltanto la rappresentazione tridimensionale dell'edificio, ma la costruzione di un modello condiviso e aggiornabile nel tempo, utile a supportare processi decisionali, verifiche progettuali, manutenzione e gestione del patrimonio costruito. La possibilità di federare informazioni provenienti da discipline differenti consente inoltre di ridurre la frammentazione dei dati e migliorare il coordinamento tra i diversi attori coinvolti nel processo edilizio e conservativo¹¹¹. Il consorzio *Open DBL* ha previsto la realizzazione e la sperimentazione della piattaforma in diversi casi studio europei, tra cui gli edifici pilota di Ruvo di Puglia in Italia, Mislata in Spagna, edificio ENEA a Roma e Kifissia in Grecia, quest'ultimo è stato il lavoro principale su cui è avvenuta la formazione teorica sul BIM. In ciascun contesto il progetto mira a verificare l'efficacia dell'infrastruttura digitale nel favorire la gestione integrata dei dati, la condivisione tra operatori pubblici e privati, e la valutazione delle prestazioni degli edifici sotto il profilo energetico, strutturale e manutentivo.

La diffusione del BIM non si è limitata al mondo dell'edilizia contemporanea, ma ha progressivamente abbracciato anche ambiti più complessi e stratificati, come quello del patrimonio culturale.

In questo contesto, è emersa la declinazione denominata Heritage Building Information Modeling (HBIM), concepita per rispondere alle esigenze specifiche di documentazione, restauro e valorizzazione dei beni storici e archeologici¹¹².

Un aspetto distintivo dell'HBIM è la capacità di integrare informazioni eterogenee all'interno di un unico modello. Ogni elemento architettonico può essere arricchito da schede descrittive, fotografie, dati diagnostici, documenti d'archivio e riferimenti bibliografici. Questo processo consente di superare la tradizionale frammentazione delle fonti, che in passato erano disperse tra archivi cartacei, disegni bidimensionali, relazioni tecniche e database separati.

La logica sottostante è quella della banca dati relazionale: il modello non è soltanto una rappresentazione grafica, ma diventa un contenitore dinamico di conoscenza, aggiornabile nel tempo. Ciò apre scenari innovativi per la manutenzione programmata, la gestione dei rischi, la pianificazione degli interventi e persino per la comunicazione al grande pubblico.

Ogni oggetto digitale è arricchito con metadati relativi a materiali, stato di conservazione, datazione e fonti documentarie, trasformandolo da semplice geometria a nodo informativo. Il modello HBIM diventa una piattaforma integrata, capace di aggregare dati provenienti da archeologia, architettura, ingegneria e diagnostica dei materiali. Le informazioni possono essere strutturate su tre livelli:

¹¹¹ ACCA Software, 2020, pp. 12-40.

¹¹² MURPHY et alii 2009; FAI et alii 2011.

- **Geometria (LOD):** livello di dettaglio dell'elemento;
- **Informazione (LOI):** dati storici, materici e diagnostici;
- **Documentazione:** fotografie, relazioni, report di laboratorio.

La riflessione internazionale ha messo in luce come l'applicazione del BIM al patrimonio culturale non possa essere interpretata come una mera trasposizione tecnologica, ma debba essere considerata una vera e propria evoluzione metodologica. Essa implica un ripensamento complessivo dei processi di rilievo, modellazione e gestione, nonché l'elaborazione di protocolli specifici in grado di rispondere alle peculiarità dei beni storici, caratterizzati da forme irregolari, stratificazioni costruttive e condizioni conservative eterogenee¹¹³.

Nei siti archeologici, l'HBIM si pone come strumento fondamentale per la ricostruzione ipotetica di strutture parzialmente conservate. La capacità di associare dati geometrico-informativi a evidenze archeologiche permette di simulare assetti originari, di interpretare fasi costruttive e di pianificare interventi di conservazione mirati¹¹⁴.

Un esempio paradigmatico è costituito dagli scavi di siti complessi in cui le stratificazioni sovrapposte richiedono un modello multilivello capace di distinguere epoche costruttive diverse. In questo senso, l'HBIM agisce come ponte tra la ricerca archeologica e la gestione operativa, consentendo di documentare ogni fase con precisione e di mantenere aggiornabili i dati raccolti.

Il contesto turco rappresenta un caso particolarmente interessante per l'applicazione dell'HBIM, grazie alla ricchezza e varietà del patrimonio architettonico e alla complessità dei siti. Molti edifici storici necessitano di interventi urgenti di conservazione, mentre altri risultano poco documentati o inaccessibili per motivi logistici o conservativi. In questo scenario, l'HBIM si è rivelato uno strumento efficace per raccogliere, integrare e gestire informazioni complesse in maniera coerente.

Tra i progetti più significativi in Turchia vi è quello condotto sulla Casa Storica n. 56 di Akçakoca. In questo caso, l'HBIM è stato utilizzato per creare una libreria digitale completa degli elementi costitutivi dell'edificio, combinando rilievi laser scanner, fotogrammetria e modellazione parametrica. Il progetto ha consentito di documentare con precisione geometrica e informativa ogni componente, dall'ossatura strutturale agli elementi decorativi, offrendo un modello aggiornabile e facilmente consultabile da diversi professionisti¹¹⁵.

¹¹³ LOGOTHETIS et al. 2015; BRUMANA et al. 2017.

¹¹⁴ ORENI et al. 2014.

¹¹⁵ YLDIZ et al. 2024.

Parallelamente, a Konya¹¹⁶ sono stati sviluppati workflow integrati che collegano i dati di rilievo tridimensionale all'HBIM, supportando analisi strutturali, valutazioni conservative e strategie di intervento. Questi progetti dimostrano come l'HBIM possa facilitare la gestione del patrimonio turco, ottimizzando la pianificazione dei lavori, riducendo rischi e fornendo strumenti di fruizione digitale attraverso applicazioni multimediali e percorsi virtuali¹¹⁷.

In ambito prettamente archeologico sono noti pochi interventi: significativo è il lavoro di Tugba Saricaoğlu, che nel suo dottorato ha sperimentato l'utilizzo dell'HBIM come strumento di documentazione, gestione e conservazione integrata dell'*Heroon* di Erythrae (Ildır)¹¹⁸.

Nonostante i vantaggi evidenti, l'implementazione dell'HBIM in Turchia presenta alcune criticità. La mancanza di standardizzazione nazionale limita la possibilità di sviluppare protocolli condivisi tra le diverse istituzioni e professionisti. Inoltre, la formazione specialistica necessaria per utilizzare efficacemente tali strumenti è ancora poco diffusa, e la realizzazione di modelli dettagliati richiede investimenti significativi sia in termini di tecnologia sia di risorse umane.

Infine, per ArcheoBIM¹¹⁹ si intende l'applicazione diretta e specifica su contesti archeologici. L'eterogeneità dei dati, sia dal punto di vista di tipologie di materiali e di rinvenimenti, pone una sfida metodologica e tecnico-applicativa nella raccolta e rielaborazione dei dati.

Negli anni si sono moltiplicati i casi studio in contesti archeologici. Uno dei primi casi è quello della Cripta della Chiesa dei SS. Sergio e Bacco a Roma¹²⁰, dove si è in presenza di un'area all'interno della chiesa particolarmente stratificata, con strutture che vanno dall'età repubblicana all'età post-classica con differenti fasi costruttive.

Un altro esempio è costituito dallo scavo della Domus Regia¹²¹, dove l'applicazione H-BIM è servita a facilitare la gestione, documentazione e diffusione dei dati e combinare sinergicamente le diverse metodologie e flussi di dato. Le piattaforme informative e le soluzioni cloud si sono rivelate la soluzione appropriata per l'integrazione dei dati metrici con dati archeologici semantici, includendo e aggiornando le analisi precedenti; nello specifico il progetto è stato gestito all'interno di una piattaforma FOSS HBIM (FreeCAD), progettata come ambiente dinamico per la modellazione parametrica e il collegamento con le informazioni semantiche.

¹¹⁶ YILMAZ et al. 2015.

¹¹⁷ KOCATURK et al. 2020.

¹¹⁸ SARICAOĞLU 2021; SARICAOĞLU, SAYGI 2022.

¹¹⁹ GARAGNANI et alii 2016.

¹²⁰ SCIANNA et alii 2015.

¹²¹ DIARA, CAVALLERO 2021.

CAPITOLO IV - Applicazione di Modellazione e HBIM al Santuario

IV.1 Modellazione, applicazione, problemi e risultati

La modellazione digitale applicata al patrimonio archeologico costituisce oggi uno strumento metodologico imprescindibile, non solo come mezzo di rappresentazione, ma come parte integrante del processo di ricerca.

La sua natura non si esaurisce nel fornire un'immagine evocativa, ma agisce quale ipotesi scientifica, costantemente sottoposta a verifica, revisione e confronto critico. Per questo motivo, la modellazione 3D richiede la stessa trasparenza metodologica e lo stesso rigore scientifico che caratterizzano le fasi tradizionali della ricerca archeologica.

In tale direzione si collocano i Principi di Siviglia¹²², che hanno fissato linee guida condivise a livello internazionale, ponendo particolare attenzione alla necessità di esplicitare obiettivi, tecniche, metodologie e fonti. Il rispetto di questi principi implica la documentazione chiara delle fasi del processo ricostruttivo e la possibilità, da parte della comunità scientifica, di riesaminare e validare i risultati.

L'adozione di un approccio trasparente è inoltre fondamentale per contrastare quello che in letteratura è definito *black-box effect*¹²³, ovvero la difficoltà di comprendere il rapporto tra i dati archeologici originali e il modello finale. Una ricostruzione priva di un'adeguata comunicazione metodologica rischia di ridursi a mera suggestione visiva, in cui non è possibile distinguere tra evidenze oggettive e parti ipotetiche o evocative.

La problematica si accentua oggi con la crescente diffusione delle IA generative applicate alle ricostruzioni visive: strumenti potenti ma che, se utilizzati senza adeguati criteri di validazione, possono aumentare la confusione tra dati scientifici e rappresentazioni narrative¹²⁴. Di fronte a tali sviluppi, diventa ancora più urgente predisporre strumenti condivisi che consentano di valutare l'attendibilità delle ricostruzioni e la loro coerenza con le fonti.

Per rispondere a queste esigenze, si propone l'inserimento di una tabella di sintesi dell'affidabilità della ricostruzione 3D¹²⁵, che consenta di esplicitare, in forma descrittiva e graduata, i diversi livelli di certezza relativi ai dati stratigrafici, geometrici, comparativi e strutturali. Tale approccio non solo riduce il rischio di opacità, ma contribuisce a trasformare la ricostruzione in un vero e proprio

¹²² ICOMOS 2017; GABELLONE 2012.

¹²³ HUGGETT 2021; DEMETRIESCU 2018.

¹²⁴ TENZER et alii 2024; ALTAWHEEL et alii 2024.

¹²⁵ BENTKOWSKA-KAFEL 2020.

strumento di ricerca, capace di stimolare nuove ipotesi e di rendere il processo scientifico pienamente accessibile e verificabile.

Di seguito viene esplicitata la proposta di tabella, in cui sono presentati campi di tipo descrittivo, con diverse gradazioni di valore. I primi otto campi sono di tipo descrittivo-oggettivo mentre l'ultimo ha un indirizzo soggettivo, in cui si cerca di dare un valore all'attendibilità della ricostruzione sulla base dei precedenti campi:

- *Stato della struttura*: descrive la condizione della struttura: *integra, in loco lacunosa, in crollo, assente*
- *Qualità dei dati stratigrafici*: descrive la qualità della documentazione da scavo che ha interessato la struttura, nei casi in oggetto sarà sempre “*scavo diretto documentato*” per indicare che le strutture sono state scavate con l'odierna accuratezza e documentazione dell'archeologia contemporanea;
- *Qualità dei dati geometrici*: indica quale o quali tecniche di rilievo sono state utilizzate per restituire i dati geometrici delle strutture (*schizzi misurati, rilievo celerimetrico, rilievo 3D*);
- *Cronologia*: indica in quale fase o macrofase l'elemento è stato costruito/messo in posa, restaurato, subito cambio di destinazione d'uso e abbandonato/demolito;
- *Confronti (funzione strutturale)*: indica se sono presenti altre strutture nell'area di scavo o nel sito di strutture simili che abbiano stessa funzione strutturale specifica, inteso non come stesso schema di scarico delle forze (ad esempio non archi o muri in quanto tali, ma muri di terrazzamento o archi che scavalcano faglie sismiche), in questo caso è prevista la possibilità di *presente* o *assente*, nel caso di presente si inserisce anche dove collocati, se *nell'area* di scavo, ovvero confronti che possono riferirsi allo stesso sistema/progetto architettonico, o *nel sito* inteso in altri complessi edilizi coerenti;
- *Confronti (tecnica costruttiva)*: indica se ci sono strutture che abbiano la stessa tecnica costruttiva, la stessa tipologia di materiale e stesse dimensioni dei componenti costitutivi, anche in questo caso si applicano *presente* o *assente* e *nell'area* o *nel sito*.
- *Confronti (decorativo-stilistico)*: indica se ci sono strutture nel sito che abbiano la stessa tipologia decorativa (ad esempio presenza di rivestimenti, facciavista, elementi decorativi ecc.), anche in questo caso si applicano *presente* o *assente* e *nell'area* o *nel sito*;
- *Coerenza strutturale*: indica se la struttura ha una coerenza e rapporti di tipo strutturale con altri elementi o edifici: se *si appoggia / è appoggiato, si lega, è tagliato, tamponato* ecc.;
- *Strutture precedenti*: indica se sono presenti elementi precedenti o coevi alla struttura,
- *Strutture successive*: indica se ci sono elementi successivi alla struttura, come coperture o alzati superiori;
- *Affidabilità*: commento finale basato sugli elementi della tabella, con una gradazione *certo, probabile, possibile, ipotetico*.

- Grande Arco a nord del Ninfeo

Il primo intervento di modellazione è avvenuto nell'area a nord del Ninfeo, partendo dal modello 3D scalato e integrandolo con i dati GIS. Di seguito saranno analizzate singolarmente le strutture architettoniche che compongono questo complesso architettonico, in modo da definire quali dati stratigrafici sono stati utilizzati.

Contesto:

Dalle attività di scavo 2019-2021 si è iniziato ad approfondire l'area del portico settentrionale di età giulio claudia. L'area è collocata a nord del ninfeo severiano ed erano già emerse in anni precedenti alcune strutture (cd pilastri) nelle vicinanze, riutilizzati in impianti produttivi di età mediobizantina. Dagli studi preliminari sulla struttura del ninfeo era stata individuata delle strutture più antiche¹²⁶ reimpiegate come fondazioni del Ninfeo. In queste strutture è anche presente un arco tamponato (US 2213) posizionato per scavalcare la faglia sismica.

La presenza di quest'arco e l'assenza di strutture superficiali permetteva già di ipotizzare il prosieguo della faglia sismica proprio in coincidenza con il muro occidentale del portico, ipotesi poi confermata nelle successive campagne di scavo.



Figura 30, area a nord del Ninfeo, scavo 2022, a destra gli elementi in posto individuati nel 2021 e a sinistra e in basso altri elementi dell'arco.

¹²⁶ Semeraro 2016, pp. 202-207.

Durante la campagna 2021 sono emerse alcune strutture di età contemporanea che avevano superficialmente coperto gli strati antichi. Rimosse queste strutture intrusive sono emersi due conci denominati US 6058 (Fig. 30). I conci sono in travertino, con due alette sulle due facce non in adesione (Fig. 31).

Nelle campagne di scavo 2022-2024 è stata approfondita l'area della faglia e delle aree prospicienti, permettendo il recupero degli elementi architettonici e di stratigrafie e strutture in diretta correlazione con l'arco **US 6058**.



Figura 31, deposito di blocchi architettonici nel Santuario, conci dell'arco, 2022.

Fasi di lavoro:

Sono stati inizialmente rilevati i blocchi ancora in posto (anno di scavo 2021) tramite fotogrammetria; successivamente al rinvenimento di altri elementi e al posizionamento in un deposito dedicato sono stati restituiti in posto tramite rilievo manuale (Fig. 32).

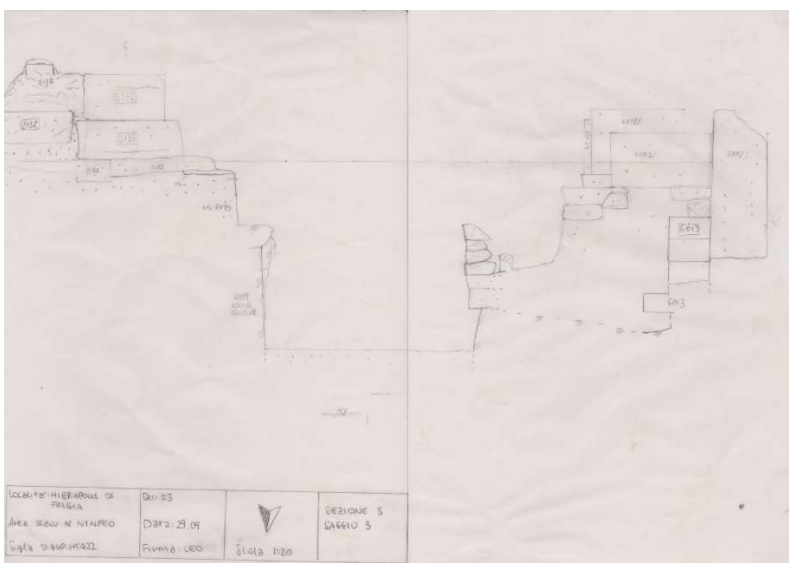


Figura 32, prospetto dell'area tra US 6002 e US 2212, (elaborazione del 2022, Archivio MAIER).

Gli elementi rinvenuti successivamente erano in alcuni casi in crollo, sull'allineamento E-W dell'arco, tra strutture di spalla (US 2132 e 6002). Altri elementi invece erano presenti nella stessa area a circa un metro di distanza e in quote più basse, questo ha reso necessario aggiornare più volte la fotogrammetria dell'area.

Viene realizzata una sezione manuale E-W per rappresentare le UUSS 2132 e 6002, i lati della roccia della faglia per testare alcune curvature ricostruttive in 2D e verificare quote reali e ricostruttive.

Si è valutata anche la curvatura dei due elementi curvilinei delle spalle laterali dell'arco.

Dal punto di vista operativo, si è proceduto a recuperare dalla fotogrammetria, e integrare il rilievo manuale, i profili laterali del banco di roccia a E ed egli elementi architettonici a W. Si è impostata una linea di costruzione, che restituisce la luce, e una curvatura (semicircolare-ellissoide), riferita alla curvatura presente in US 6002. Viene effettuata questa scelta poiché la struttura US 6002 presentava uno stato di conservazione migliore; nel lato orientale l'US 2132 poggia sulla roccia, la quale presenta alcune lacune, probabilmente parte dell'attacco su quel lato era favorito da una lavorazione ora non presente. Tornando alla struttura 6002, visto che il punto di aderenza dei primi conci dell'arco è a circa a 80 cm dalla base della struttura, è stato posizionato un elemento parallelepipedo che aderisce alla facciata liscia di US 6002 e costituisce il piedritto della struttura ad arco (Fig. 33). Dai dati di scavo non è emerso questo elemento, probabilmente asportato nelle fasi successive della struttura, è presente però lo spazio di incasso aderente a 6002 e l'appoggio diretto sul banco roccioso, il quale sul lato occidentale della faglia era stato regolarizzato e appianato (vedi parte su US 6013).



Figura 33, modello 3D dell'arco, in evidenza i profili dei due lati di appoggio.

Per estrarre l'intero arco non era possibile usare il semplice comando 'estrudi' (estrudi curva planare → estrudi lungo curva) per l'inezienza della curvatura, poiché questo procedimento tendeva a non uniformare l'elemento geometrico rendendo non funzionale architettonicamente. Si è proceduto quindi alla realizzazione di una centina virtuale che ha diviso per cunei la circonferenza dell'arco, mantenendo una larghezza mediana dei blocchi architettonici rinvenuti. I conci vengono successivamente estrusi singolarmente, mantenendo una uniformità della curvatura e una divisione in elementi separati (Fig. 34).

Questa procedura permette una resa migliore della struttura in una futura fase di renderizzazione con l'applicazione di effetti *bump* e *displacement*.

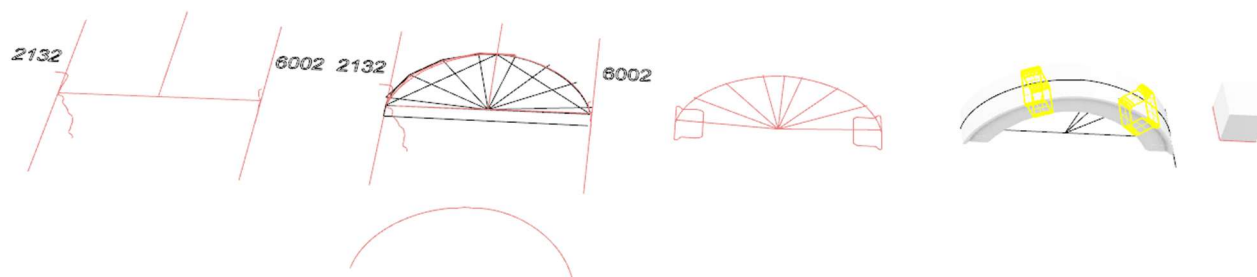


Figura 34, processo di modellazione, da import del profilo del prospetto alla centina virtuale.

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	In crollo per buona parte, con due blocchi parzialmente in posto
Qualità dei dati stratigrafici	Scavo diretto documentato
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età ellenistica
Confronti (funz. strutturale)	Presenti, molte strutture attestate con la stessa funzione nell'area ¹²⁷
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti nell'area
Confronti (decorativo-stilistico)	Ci sono confronti diretti sul sito, ma più recenti
Coerenza strutturale	La struttura è coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	Sono presenti elementi coevi e/o precedenti alla struttura
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, sono assenti alcuni elementi che poggiavano sulla struttura.
Affidabilità	Certa, fondata su elementi direttamente visibili sul terreno e coerente con l'contesto architettonico.

¹²⁷ Lo stesso arco 2213, e l'arco di sostruzione del Tempio A, da SEMERARO 2008, in generale BOYD 1978.

- Muro del portico

Contesto:

Questa struttura viene meglio indagata nelle campagne di scavo 2019-2023. Il muro è costituito da blocchi di piccole e medie dimensioni, che nella fonte occidentale presentano un facciavista; nella porzione orientale invece lo stato di conservazione è peggiore, ma è possibile vedere che la struttura poggia sulla roccia regolarizzata. La struttura aveva una funzione statica, permetteva l'inserimento della spalla della volta che scavalcava la faglia sismica. Inoltre, la facciata orientale doveva essere alta almeno fino all'altezza della copertura della faglia e doveva presentarsi come un muro di terrazzamento tra il terrazzo inferiore e quello mediano.

Questa struttura presenta un aspetto rispetto al muro di terrazzamento presente nella parte meridionale del Ninfeo (Fig. 35), il quale è costituito da blocchi di grandi dimensioni¹²⁸. La differenza potrebbe risiedere nella differente destinazione d'uso dei due muri di terrazzamento: il 6013 (Fig. 36) funge da spalla per la struttura a volta costituita anch'essa di piccoli blocchi che copre la faglia.



Figura 35, muro di terrazzamento a sud del Ninfeo, US 2001 (da SEMERARO 2016, p. 214).

¹²⁸ SEMERARO 2016, pp. 201-207.



Figura 36, foto frontale del muro US 6013, 2025 (da Archivio MAIER).

Fasi di lavoro:

Si è operato il posizionamento del muro **US 6013**, ancora in posto nella porzione inferiore. Il muro viene estruso fino all'altezza delle fondazioni del portico giulio claudio e intersecato con le strutture laterali della volta (US 6357, Figg. 37, 38).



Figura 37, ricostruzione del muro US 6013 (in blu) all'altezza del pavimento del portico di età Giulio-Claudia, vista da ovest.



Figura 38, ricostruzione del muro US 6013, con l'alzato del muro di fondo del portico di età Giulio-Claudia, assonometria.

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	In loco, in parte lacunosa
Qualità dei dati stratigrafici	Scavo diretto documentato
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età tardo ellenistica - augustea
Confronti (funz. strutturale)	Sono presenti molte strutture con la stessa funzione nell'area
Confronti (tecnica costr.)	Non ci sono confronti diretti sul sito
Confronti (decorativo-stilistico)	Non ci sono confronti diretti sul sito
Coerenza strutturale	La struttura è coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	Sono presenti elementi coevi e/o precedenti alla struttura
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, sono assenti alcuni elementi che poggiavano sulla struttura.
Affidabilità	L'affidabilità generale del modello è certa, fondata su elementi direttamente visibili sul terreno e coerente con l'contesto architettonico.

- Struttura a Volta

Contesto:

A seguito delle campagne di scavo 2021-2022 era stata ipotizzata la presenza di una struttura a volta che coprisse la faglia. L'ipotesi si fondava sulla presenza nel lato orientale di un taglio di asportazione di una struttura muraria. Nella campagna 2023 lo scavo è stato allargato verso nord, rinvenendo **US 6357**, una porzione di volta costruita in piccoli blocchi di pietra e poggiante sulla roccia, posizionata subito a nord di US 6003 (Figg. 39, 40).



Figura 39, foto aerea dall'area, 2023 (Da Archivio MAIER).



Figura 40, foto frontale dell'intradosso della volta US 6357, 2023 (Da Archivio MAIER).

Fasi di lavoro:

Durante le attività di scavo fu realizzata un prospetto rilevato a mano e successivamente una fotogrammetria complessiva dell'area di scavo. Il prospetto considerava una luce interna di circa 2.5 metri, con l'estensione della curvatura verso il muro 6013.

Durante le prime prove di modellazione sono emersi problemi nel prolungamento della volta per tutta l'area della faglia.

Nel prospetto ricostruttivo viene utilizzata come spalla occidentale della struttura la roccia e parte del muro 6013, che nel punto più prossimo all'inizio della volta è ancora in parte in posto. Prolungando questa sezione è emersa la mancanza di aderenza con l'andamento del muro 6013, portando il muro di spalla occidentale a non avere appoggi ed essere "sospeso" al di sopra della faglia. Da un rilievo più accurato (Fig. 41) si è valutata prima di tutto un maggiore spessore della muratura della volta e si è operata la creazione di una linea mediana di faglia che fosse spezzata e non lineare (Fig. 42); dai dati GIS sono stati recuperati gli allineamenti di US 6357 e del taglio del *ghost wall* e l'andamento ricostruttivo di 6013, creando sezioni della curvatura dell'arco posizionata in più punti della volta (Figg. 43, 44).



Figura 41, rilievo del prospetto con ricostruzione dell'arco US 6357, 2023 (da Archivio MAIER).

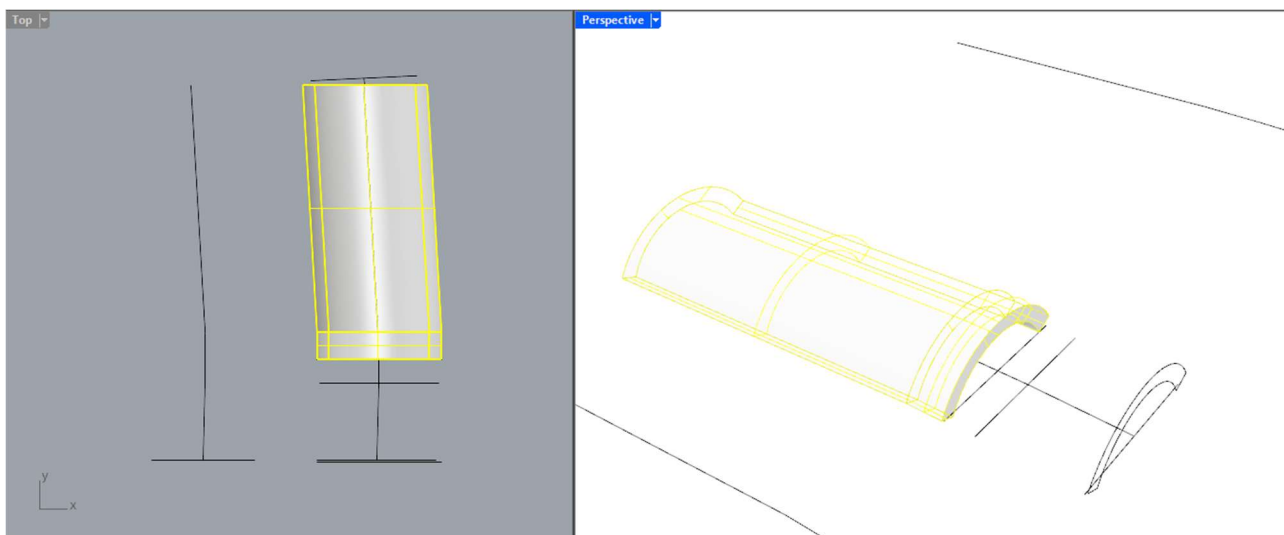


Figura 42, modello 3D della volta con bisettrice spezzata, a sinistra prospetto a destra assonometria.

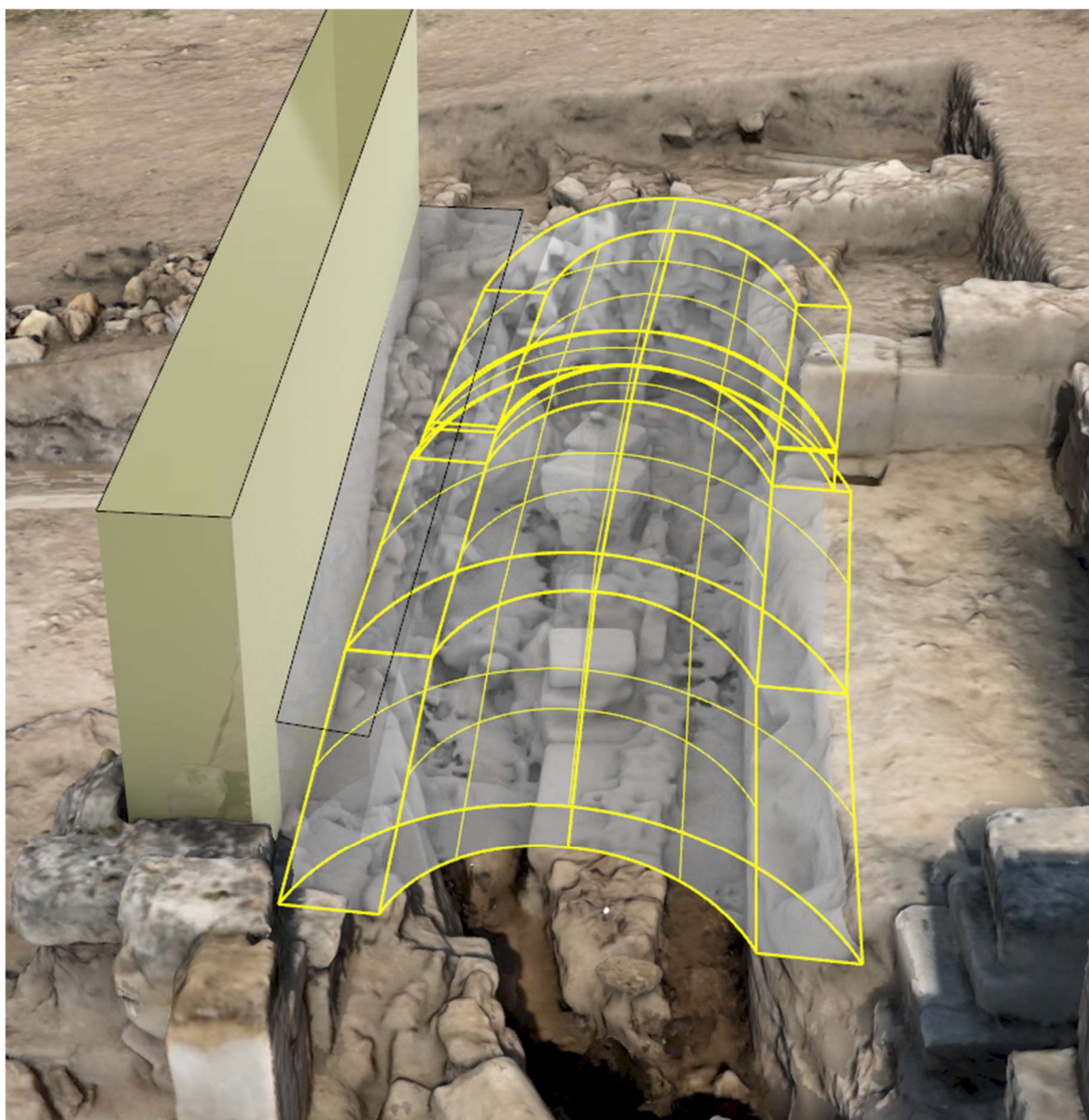


Figura 43, modello 3D della volta visto da sud, caricato su fotogrammetria, in elevato anche il muro 6013 e la spalla della volta.



Figura 44, modello 3d della volta, visto da ovest. Presenti anche la ricostruzione delle fondazioni del portico di età Giulio-Claudia (in rosso) e il piano pavimentale del portico e un parziale delle semicolonne.

Una prima versione della volta era stata ipotizzata durante la campagna di scavi del 2021, quando i dati sulla faglia erano ancora parziali ed erano presenti diverse interferenze di età contemporanea. Erano però già emersi sia il muro 6013, parzialmente in vista ed era stato riconosciuto un *ghost wall* nella porzione orientale del saggio, che faceva ipotizzare la presenza di una copertura a volta. In questa prima fase non era ancora stato individuato il muro 6357, in quale ha permesso di vedere e utilizzare una curvatura di questa struttura ancora in posto.

Nella ricostruzione iniziale (Fig. 45) era stato ipotizzato un muro di spalla della volta particolarmente alto (che arrivava fino al primo filare di US 6003), che sopprimeva alla costruzione di una volta particolarmente spessa e a sesto ribassato.

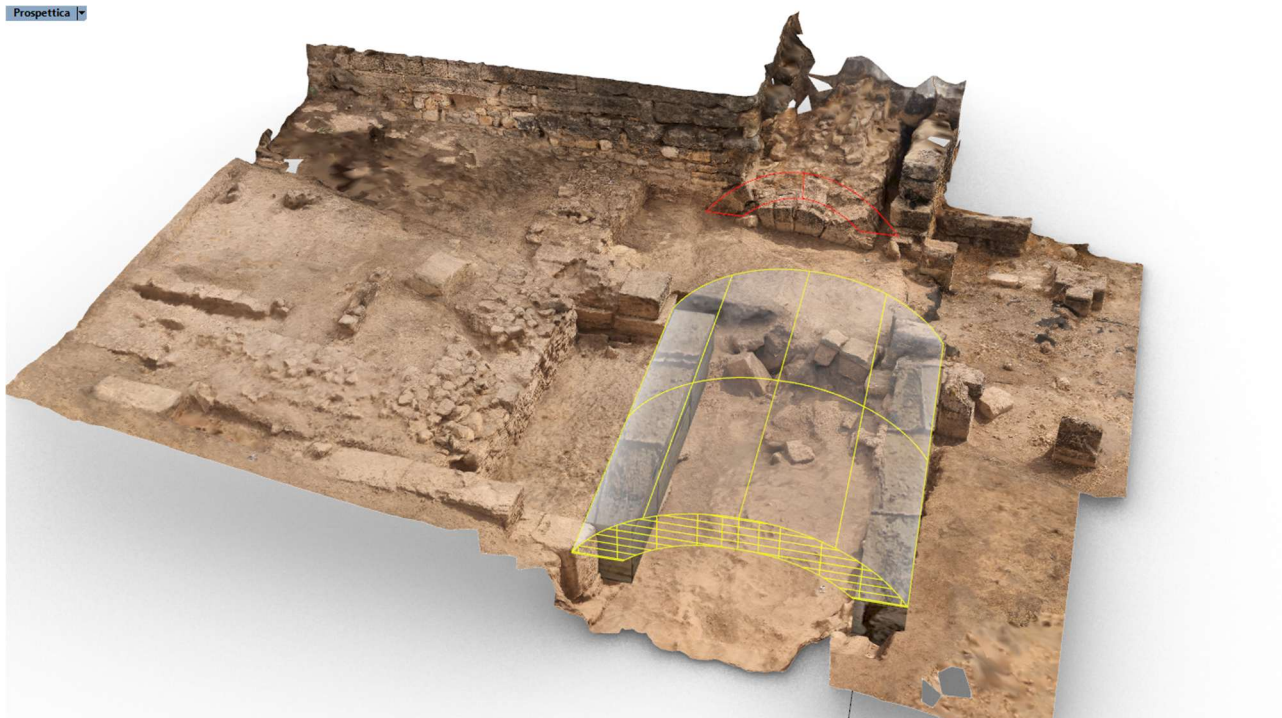


Figura 45, prima ipotesi ricostruttiva sulla base dei dati noti nel 2021.

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	Parzialmente in loco
Qualità dei dati stratigrafici	Scavo diretto documentato
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età tardo ellenistica-primo imperiale
Confronti (funz. strutturale)	Sono presenti molte strutture con la stessa funzione nell'area (US 2213, Ninfeo ¹²⁹ , Tempio C ¹³⁰ , area del Ploutonion)
Confronti (tecnica costr.)	Non ci sono confronti diretti sul sito
Confronti (decorativo-stilistico)	Non ci sono confronti diretti sul sito
Coerenza strutturale	La struttura è coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	Sono presenti elementi coevi e/o precedenti alla struttura
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, sono assenti gli elementi che poggiavano al di sopra della struttura.
Affidabilità	L'affidabilità generale del modello è certa, fondata su elementi direttamente visibili sul terreno e coerente con l'contesto architettonico.

¹²⁹ SEMERARO 2024b, 2025.

¹³⁰ SEMERARO 2012 pp. 303-305.

- Arco inglobato nel Ninfeo

Contesto:

La struttura ad arco (**US 2213**) individuato tra 2009 e 2010¹³¹ è riferibile a un edificio di età ellenistica, su cui in età severiana vengono appoggiate le fondazioni del Ninfeo. La struttura è composta da grandi conci di travertino e appare parzialmente scivolata e roto-traslata. La struttura è visibile anche nel lato interno del Ninfeo, con condizioni di conservazione peggiori. Nelle campagne 2022 e 2023 è stato approfondito lo scavo dell'area intorno, rivelando il tamponamento della struttura e un muro di appoggio sottostante (Fig. 46).

Probabilmente in età Giulio-Claudia era presente una struttura legata all'uso delle acque di cui unica testimonianza sono una serie di canali in strati post-ellenistici e inglobati nelle fondazioni del portico; mentre nella fase severiana l'avancorpo nord del Ninfeo poggia direttamente sopra l'arco, attualmente questo elemento non è più visibile.



Figura 46, foto dell'arco US 2213, da Nord (da Archivio MAIER).

¹³¹ SEMERARO 2016.

Fasi di lavoro:

Visto che la porzione dell'arco è ancora presente ma roto-traslata si è proceduto a recuperare il contorno dei blocchi (comando *'polilinea attraverso mesh'*) direttamente dalla fotogrammetria (Gif. 47) e a ruotarli e alzarli per farli aderire alla superficie. Successivamente sono stati estrusi per la lunghezza attualmente visibile (Fig. 48).



Figura 47, ortofoto frontale da fotogrammetria dell'arco 2213 (da Archivio MAIER).



Figura 48, modello dell'arco 2213 riposizionato nella posizione originale, su fotogrammetria.

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	Integra, parzialmente spostata
Qualità dei dati stratigrafici	Scavo diretto documentato
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età ellenistica
Confronti (funz. strutturale)	Presente nell'area (Tempio A, Santuario di Apollo ¹³²)
Confronti (tecnica costr.)	Presente nell'area (Tempio A, Santuario di Apollo)
Confronti (decorativo-stilistico)	/
Coerenza strutturale	La struttura è coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	Sono presenti elementi coevi alla struttura
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, sono assenti alcuni elementi che poggiavano sulla struttura.
Affidabilità	Certa, fondata su elementi direttamente visibili sul terreno e coerente con l'contesto architettonico.

¹³² SEMERARO 2008, in generale BOYD 1978.

- Scalinata di collegamento tra i terrazzi

Contesto:

Durante la campagna di scavo 2021 sono emersi tre elementi in pietra (**US 6101**) a ridosso del muro di fondazione del portico settentrionale di età Giulio-Claudio. Questi elementi sono riferibili ad una gradinata, la cui presenza fu già ipotizzata¹³³ dallo studio della gradinata posizionata nella parte meridionale del Santuario. Nella campagna di scavo successiva sono stati individuati più a est due elementi in pietra (**UUS 6230 6231**) che potrebbero consistere nei gradini iniziali.

Nella campagna di scavo 2023 invece è stato dettagliato maggiormente lo studio delle fondazioni del portico riuscendo a individuare due fasi costruttive diverse, una prima datata all'età ellenistica (**US 6312**, legata anche alle strutture presenti al di sotto del Ninfeo) e una successiva integrazione di età romana che alzava maggiormente le quote per la costruzione del portico (Fig. 48).



Figura 49, foto aerea dell'area in cui è ipotizzata la scalinata, 2024 (Da Archivio MAIER).

¹³³ SEMERARO 2016, pp. 205-207.

Fasi di lavoro:

Dalle quote tra gli elementi più in basso (349.56 m slm) e più in alto (351.12) e la distanza complessiva da ricoprire (4.75 m) non era possibile inserire la stessa scalinata presente nella parte meridionale del Santuario (h ca 25 cm, con spessori variabili tra 40 e 60 cm, Semeraro 2016); si è proceduto a mettere in opera gradini con alzate di 25 cm, ma vista la luce ridotta e le quote si è ipotizzata la presenza di una piattaforma di attesa.

Probabilmente questa distanza maggiorata è dovuta alla presenza della faglia sismica proprio in quel punto e la piattaforma poteva essere utilizzata per la vista della faglia sismica, che in età ellenistica doveva essere in qualche modo visibile. Proprio a ridosso della scalinata e dell'arco 6058 è presente un "pozzo"; osservando le pareti è possibile vedere sia roccia regolarizzata che blocchi di pietra, suggerendo l'intenzionalità nella realizzazione di questa struttura.

In una prima versione della scalinata si è proceduto a inserire prima i gradini e poi la piattaforma, ipotizzando la presenza di un arco di sostegno incassato nel banco di roccia presente nella parte orientale. Dallo studio delle misure e l'inserimento del modello ricostruttivo sulla fotogrammetria questa soluzione è stata scartata vista la carenza di spazio e dati a sostegno. Nella seconda ipotesi è stata inserita prima la piattaforma e poi la gradinata, in questa ipotesi non è presente un arco a sostegno della struttura e la piattaforma coincide con la posizione dell'arco 6058 (Figg. 50-52).

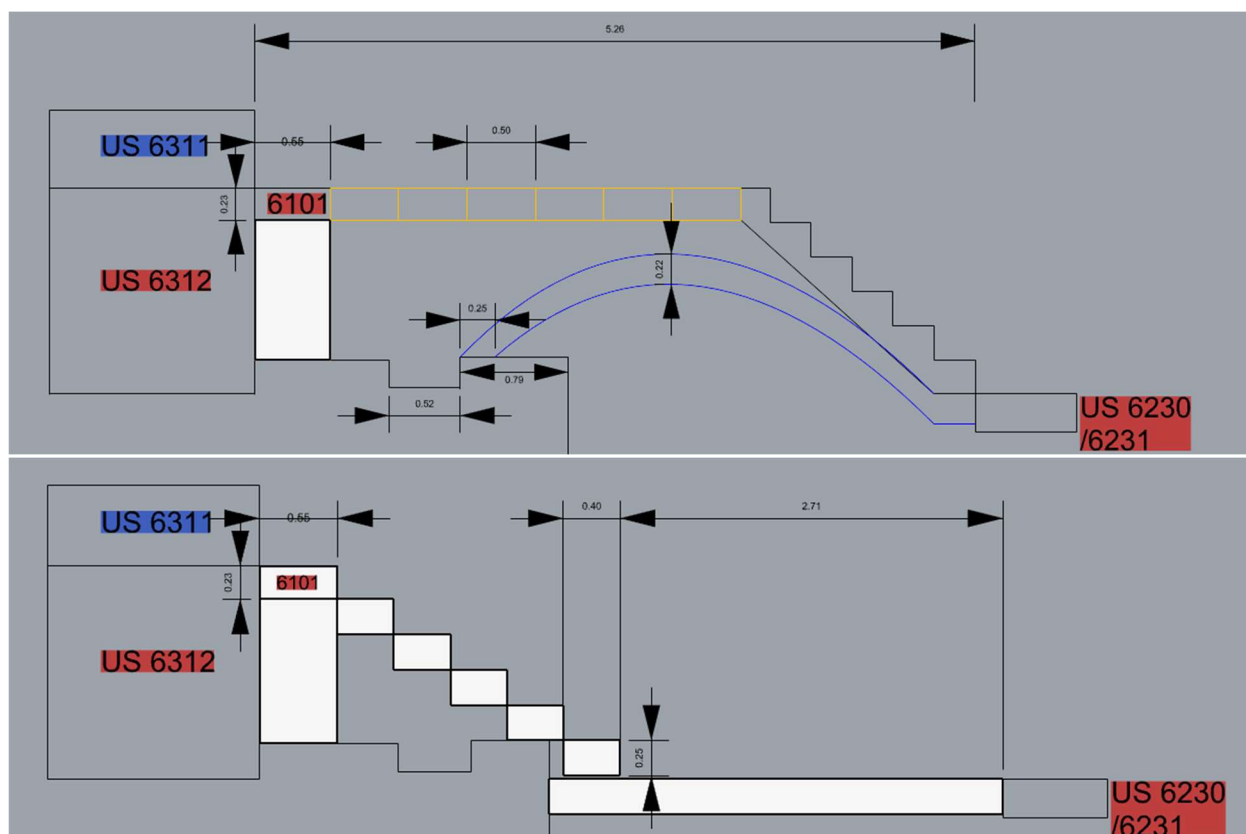


Figura 50, sezione ricostruttiva della scalinata, in alto ipotesi 1 e in basso ipotesi 2, da Rhinoceros.

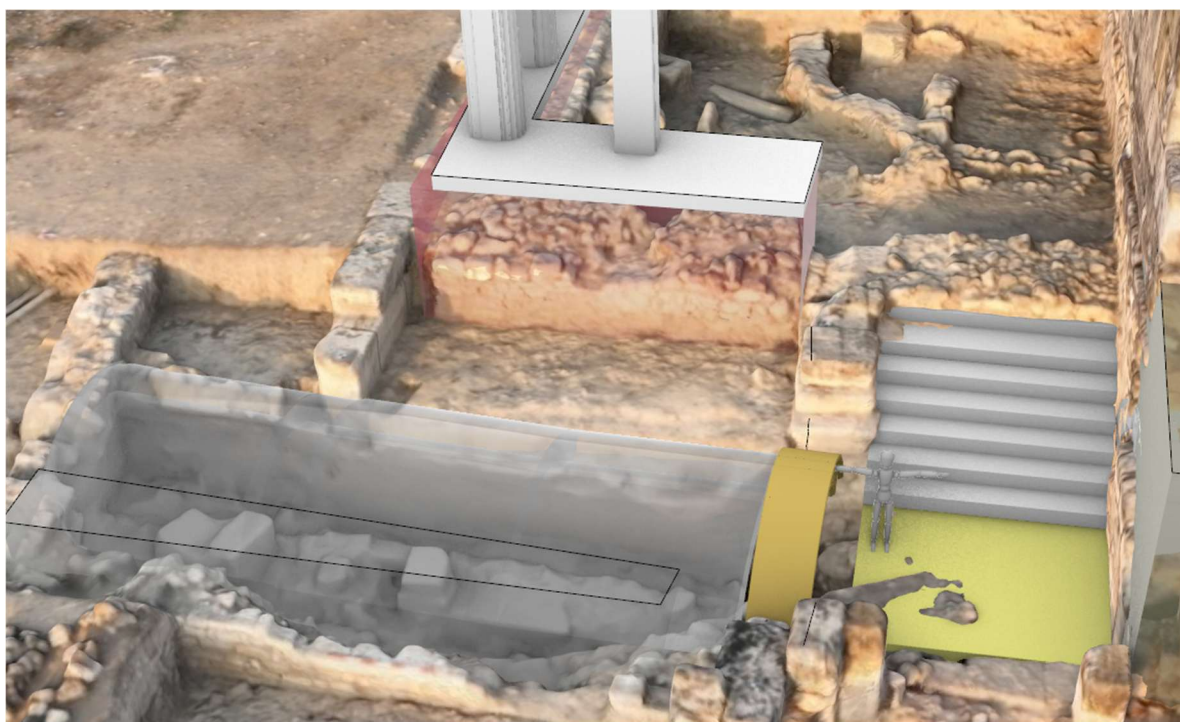


Figura 51, modello 3D su fotogrammetria: scalinata, volta e fondazioni del portico di età Giulio-Claudia.



Figura 52, modello 3D su fotogrammetria, scalinata, manichino e posizionamento del pavimento del portico di età Giulio-Claudia.

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	In loco alcuni elementi, molto lacunosa
Qualità dei dati stratigrafici	Scavo diretto documentato
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età ellenistica - romana
Confronti (funz. strutturale)	È presenta una struttura con stessa funzione nell'area
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti sul sito ¹³⁴
Confronti (decorativo-stilistico)	Non ci sono confronti diretti sul sito
Coerenza strutturale	La struttura sembrerebbe coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	Sono presenti elementi coevi e/o precedenti alla struttura
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, e una obliterazione della struttura
Affidabilità	L'affidabilità generale del modello è possibile, fondata su pochi elementi visibili sul terreno e ipotizzabile su strutture simili speculari nel Santuario.

¹³⁴ SEMERARO 2016 per la scalinata presente a sud del Ninfeo.

- Portico dorico del Santuario

Contesto:

Il portico del Santuario di Apollo era costituito da una struttura monumentale di ordine dorico sia in marmo che in travertino, articolata lungo il terrazzo mediano dell'area sacra (Fig. 53). Dell'alzato si conservano diversi elementi architettonici, tra cui basi, rocchi di colonna, capitelli dorici, architravi e blocchi pertinenti alla trabeazione, che hanno consentito una proposta ricostruttiva del colonnato e del sistema delle coperture¹³⁵ (Fig. 54). Le fondazioni del portico, riferibili alla fase giulio-claudia di monumentalizzazione del santuario, risultano oggi documentate in più punti dell'area a nord e a sud del Santuario¹³⁶. Le campagne di scavo condotte tra il 2017 e il 2019 hanno permesso di approfondire la conoscenza del monumento, chiarendo alcuni rapporti stratigrafici tra il portico, le strutture precedenti e le successive trasformazioni dell'area sacra. I nuovi dati emersi durante lo scavo hanno inoltre consentito di rettificare il posizionamento del colonnato sulla base delle evidenze archeologiche documentate *in situ*¹³⁷.



Figura 53, area del portico meridionale, vista da est, 2019 (Da Archivio MAIER).

¹³⁵ ISMAELLI 2009.

¹³⁶ SEMERARO 2007; SEMERARO 2016.

¹³⁷ SEMERARO 2021 pp. 214-215.

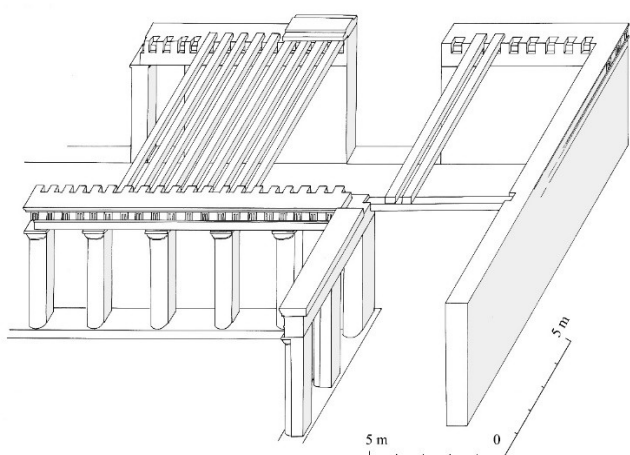


Figura 54, assonometria ricostruttiva del portico a sud (da Ismaelli 2009).

Fasi di lavoro:

Durante gli scavi viene realizzata una fotogrammetria del portico meridionale (Fig. 55).

Sono stati analizzati i blocchi architettonici pertinenti al portico, utilizzando i disegni analitici editi relativi a stilobati, pilastri con semicolonne addossate, capitelli e fregi-architravi del sistema decorativo del santuario¹³⁸. Attraverso il confronto dimensionale tra gli elementi conservati e gli interassi proposti nello studio architettonico, è stato possibile definire una scansione modulare coerente del colonnato e delle travature lignee superiori. Per la ricostruzione della trabeazione si è proceduto inizialmente al ridisegno vettoriale dei profili architettonici principali, successivamente estrusi e assemblati in ambiente tridimensionale (fig. 56). Il posizionamento del colonnato è stato successivamente rettificato utilizzando i dati provenienti dagli scavi recenti. Altre fondazioni sono emerse nel 2019 hanno infatti evidenziato alcune discrepanze rispetto a quanto noto, permettendo di correggere l'interasse.



Figura 55, fotogrammetria del portico meridionale del Santuario, 2019 (Da Archivio MAIER).

¹³⁸ ISMAELLI 2009.

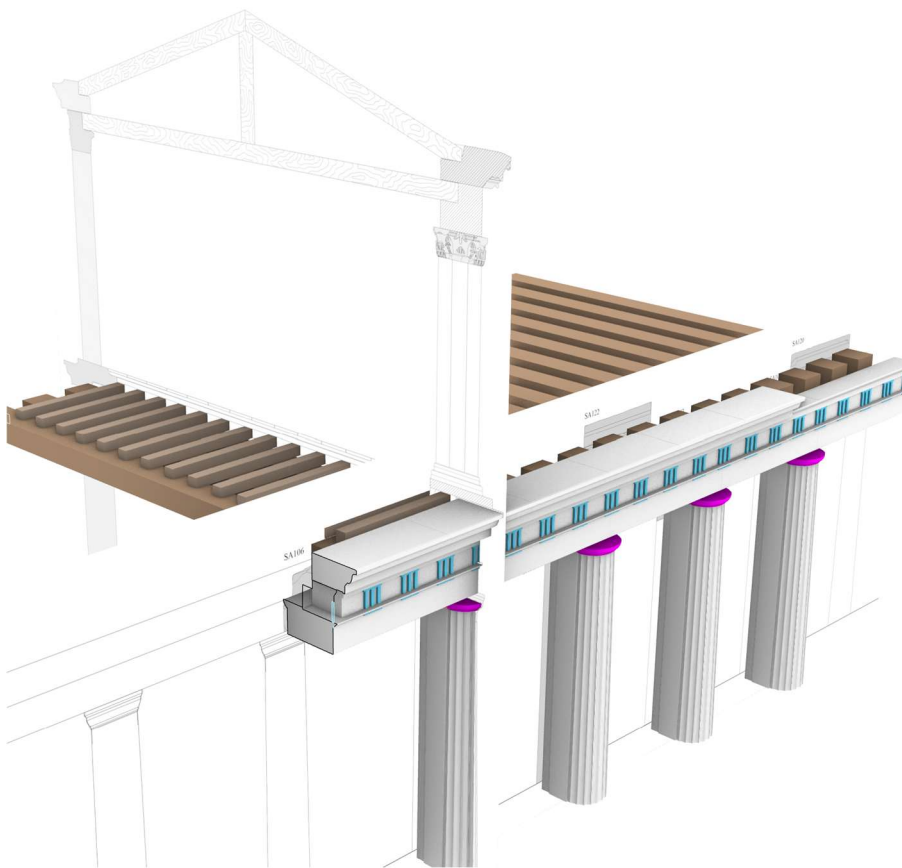


Figura 56, assonometria del portico dorico, esploso delle travature del primo ordine (elaborazione del 2023).

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	In loco alcuni elementi, molto lacunosa
Qualità dei dati stratigrafici	Scavo diretto documentato
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età romana
Confronti (funz. strutturale)	È presenta una struttura con stessa funzione nell'area
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti sul sito ¹³⁹
Confronti (decorativo-stilistico)	Ci sono confronti diretti sul sito
Coerenza strutturale	La struttura sembrerebbe coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	Sono presenti elementi coevi e/o precedenti alla struttura
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, e una asportazione di elementi della struttura
Affidabilità	Certa, fondata su elementi direttamente riscontrabili nel contesto architettonico

¹³⁹ Confronti strutturali e stilistici sono la via di Frontino, ISMAELLI 2009; e la Stoà di marmo ISMAELLI 2016, pp.237-278.

Elementi del Ninfeo del Santuario

- Corpo del Ninfeo

Contesto:

Il Ninfeo del Santuario è costituito da un corpo principale (l. m 30,40, s. m 4,15), alle cui estremità rigirano due lunghe ali perpendicolari (l. m 10, s. m 2,80, Fig. 57).

La struttura è realizzata per un'ampia porzione con grandi blocchi di travertino, similmente ad altri grandi edifici di età severiana (come nel caso del Teatro), nella porzione superiore invece sono presenti molti elementi di reimpiego, sia in travertino che in marmo, probabilmente testimonianza di una travagliata fase costruttiva o di un intervento di restauro (Fig. 58).

L'edificio ospitava due ordini decorativi, di cui spicca la presenza dell'incavo per l'architrave del primo ordine, che si conserva per tutta l'ala settentrionale e il corpo centrale dell'edificio.

Il corpo risulta parzialmente lacunoso nella porzione del secondo ordine e nell'ala meridionale.

Sono presenti delle strutture precedenti di età ellenistica, inglobate nelle fondazioni dell'edificio.

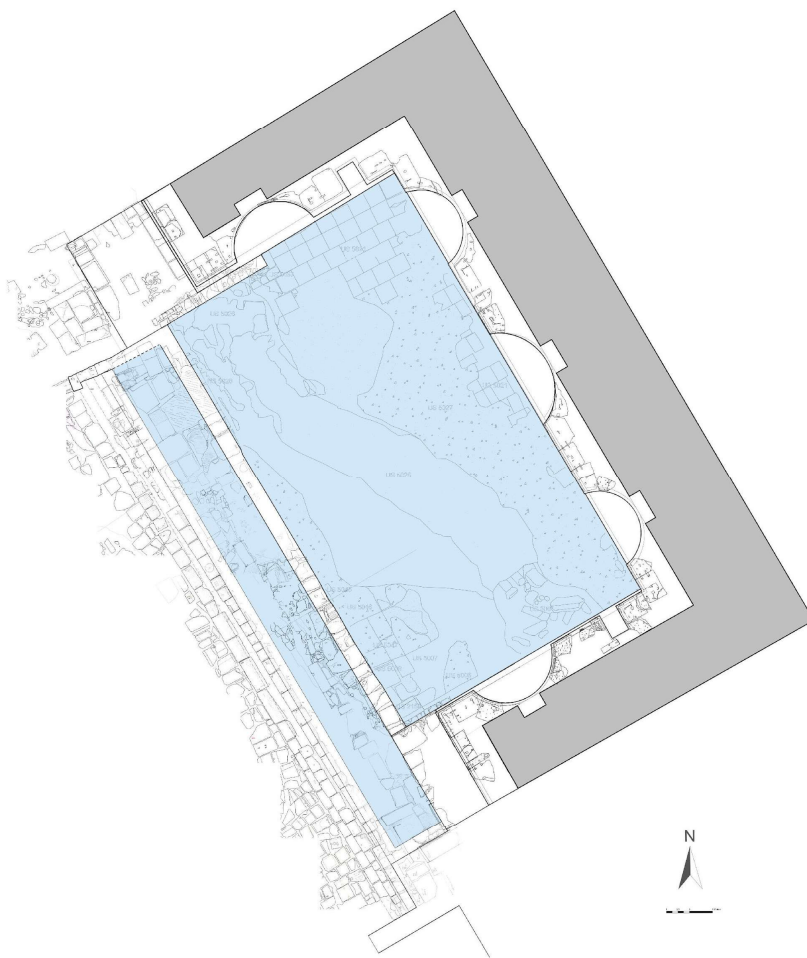


Figura 57, planimetria del Ninfeo del Santuario, elaborazione di L. Campagna (Da Archivio MAIER).



Figura 58, modello 3D da laser scanner, elaborazione del Politecnico di Torino (Da Archivio MAIER).

Sulla faccia retrostante sono state riconosciute quattro aperture, posizionate nel lato superiore della struttura. All'interno di questi ambienti sono stati riconosciuti vari elementi architettonici in travertino e marmo, reimpiegati nella costruzione della parte superiore del Ninfeo a seguito di un restauro di età tardo-romana. Le cavità sembrano essere state realizzate intenzionalmente, probabilmente con funzione statica o di alleggerimento della muratura, come indicato dalla presenza di legante tra i blocchi ancora visibile in più punti (Fig. 59, 60).



Figura 59, muro di fondo del Ninfeo, lato est, ortofoto da modello 3D, dettaglio delle cavità.



Figura 60, immagine della camera 3, elementi architettonici reimpiegati.

Fasi di lavoro:

Per il corpo del Ninfeo sono stati realizzati diversi rilievi, effettuati con stazione totale e supporto di aerofotogrammetria. Per la modellazione 3D sono state utilizzate diverse fotogrammetrie di tutta l'area, in parte integrando le lacune delle murature, soprattutto per l'avancorpo sud.

In merito agli ambienti 3 e 4, sufficientemente grandi da potervici entrare, è stata effettuata una fotogrammetria per documentare gli elementi presenti. Vista la difficoltà di esecuzione in un ambiente con illuminazione molto differente e con poca possibilità di manovra all'interno, sono stati effettuati diversi test per produrre una fotogrammetria coerente seppur in un sistema relativo, in parte rettificato con una scalatura manuale basato su misure di controllo (Fig. 61).

Considerato l'attuale stato della ricerca è ipotizzabile che questi ambienti possano fungere da spazi volutamente cavi, forse per un alleggerimento della struttura (probabilmente durante la ricostruzione/restauro), non potendo però garantire sulla precisione delle fotogrammetrie e sulla complessità di sottrarre questo tipo di polisuperfici con un modello, non sono state prese in considerazione in questa fase.



Figura 61, esploso della camera 4, da fotogrammetria, visibili gli elementi reimpiegati.

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni:

Stato della struttura	Struttura in parte lacunosa
Qualità dei dati stratigrafici	Rinvenuti nell'area, architettonicamente coerenti
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età severiana
Confronti (funz. strutturale)	Sono presenti strutture con stessa funzione nel sito
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti sul sito e nella regione
Confronti (decorativo-stilistico)	Vedi cfr. Ninfeo dei Tritoni ¹⁴⁰
Coerenza strutturale	La struttura sembrerebbe coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	Elementi ellenistici in fondazione
Strutture successive	Cambio di destinazione d'uso, restauro, strutture nelle vicinanze di età bizantina
Affidabilità	Certa, fondata su elementi direttamente riscontrabili nel contesto architettonico

¹⁴⁰ Campagna 2018.

- Cornici del podio

Contesto:

I blocchi della cornice del podio rappresentano il primo elemento architettonico dell'apparato decorativo del Ninfeo. Sono mancanti circa una decina di esemplari. Sui blocchi sono inoltre presenti delle superfici lavorate (piani di attesa) di forma quadrangolare che attestano il posizionamento delle basi di colonna del primo ordine (Fig. 62).

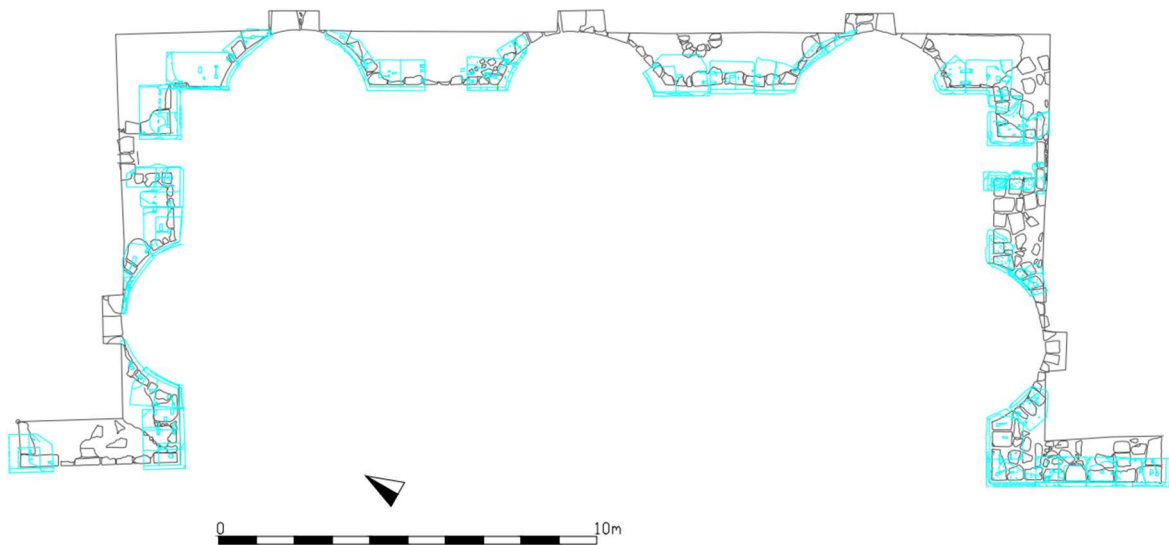


Figura 62, planimetria con il posizionamento delle cornici del podio elaborazione di L. Campagna (Da Archivio MAIER).

Fasi di lavoro:

Per la realizzazione dell'elemento, ci si è basati sui rilievi in pianta e sul prospetto, si è inserito il *raster* su Rhinoeros, si è ricalcata la linea di prospetto e la si è ruotata di 90° con *ruota 3D*. Si è proceduto alla creazione di linee di riferimento che indicassero spessore e lunghezza, le quali sono stati utili come guida per operare il comando '*estrudi → su polilinea*', in modo che la sezione composita (che presenta sporgenze e rientranze) fosse replicata per tutti i segmenti e le linee curve dell'apparato (Fig.63).

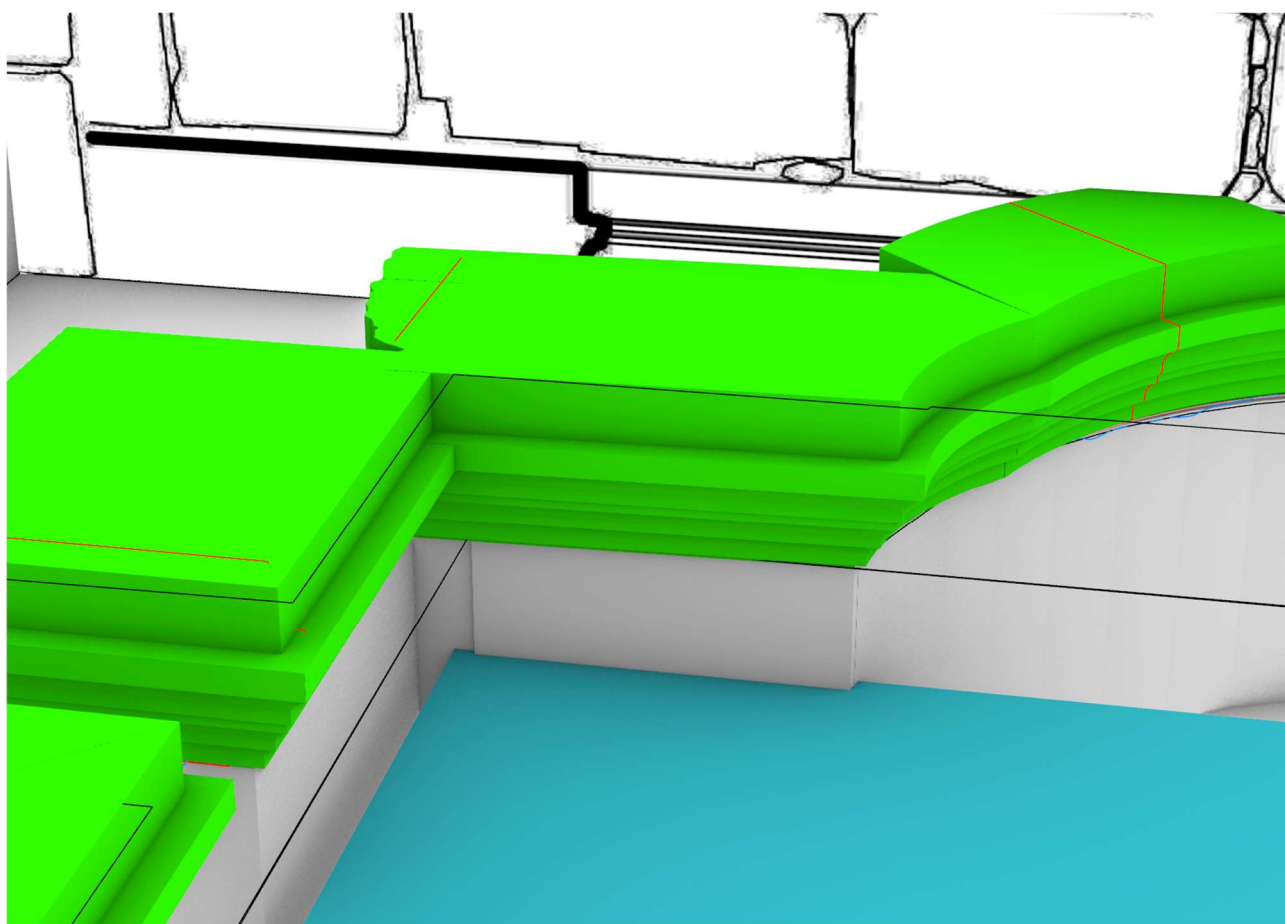


Figura 63, modello 3D delle cornici del podio, in rosso la sezione trasversale, in nero le polilinee di andamento, sul retro il prospetto raster.

Stato della struttura	In loco alcuni elementi, post restauro
Qualità dei dati stratigrafici	Rinvenuti nell'area, architettonicamente coerenti
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico
Cronologia	Età severiana
Confronti (funz. strutturale)	/ elementi in alzato
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti sul sito
Confronti (decorativo-stilistico)	Vedi cfr.
Coerenza strutturale	La struttura è coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	/
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, e una obliterazione della struttura
Affidabilità	Certa, fondata su elementi direttamente riscontrabili nel contesto architettonico

- Basi, colonne e capitelli del I ordine

Contesto:

Le basi del colonnato (Fig.64) del primo ordine sono di tipo ionico-attico con un plinto di forma quadrangolare sul quale si articola il toro inferiore e a seguire la scozia posta tra un primo e un secondo listello, quest'ultimo sormontato dal toro superiore che, in questa versione, tende a non sporgere particolarmente oltre il filo del listello sottostante. Gli elementi integri si presentano in diversi stati di conservazione, altri invece sono frammentari.

Questi elementi presentano un'altezza complessiva tra i 21 e 25 cm, un diametro tra i 42 e 47 cm, un diametro di attesa tra i 42 e 46 e uno di posa di tra i 44.5 e i 51.5 cm.

Le differenti dimensioni degli elementi e dei piani di attesa/posa, indicano una difformità morfologica di ogni singola composizione base – colonna – capitello, le quali però raggiungo sempre una dimensione totale di 3.55 metri (4.01 metri considerando anche le cornici del podio, Fig. 67).

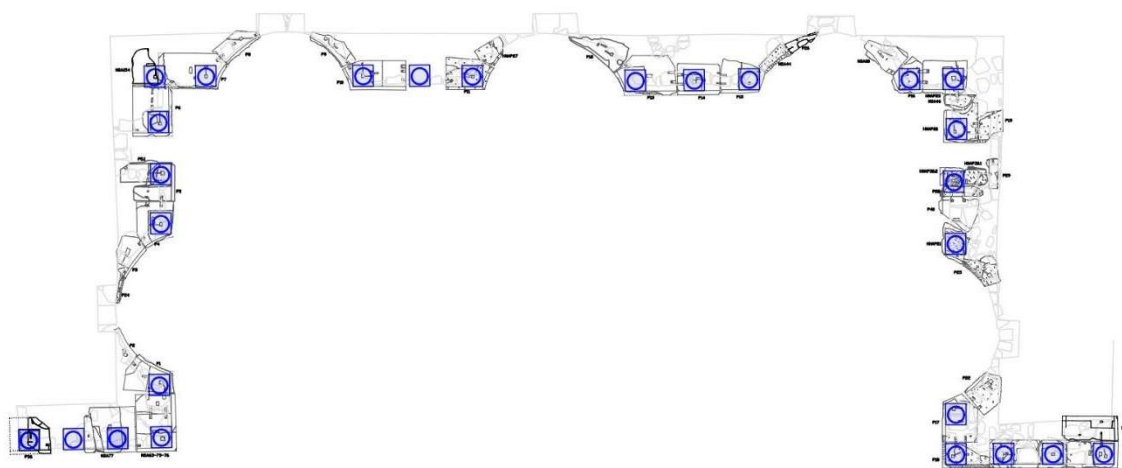


Figura 64, elaborazione di L. Campagna (Da Archivio MAIER).

Fasi di lavoro:

Per le colonne, nelle prime versioni della modellazione ci si è basati su alcuni rilievi manuali di frammenti di fusto. Inizialmente gli elementi modellati presentavano una rastremazione non coerente col vero, dovuta al metodo di estrusione dell'elemento (Fig.65).

In seguito, è stata applicata una procedura che permettesse di ottenere un modello coerente col vero (disegno 2D raster → ricalco della curvatura con strumento 'curva → finestra superfici, swipe su binario'). Inoltre, questi modelli sono stati esportati su AutoCAD vista la necessità di produrre nuovi elementi *ex novo* per il restauro del Monumento.

Per le basi si è proceduto con il medesimo metodo, inserendo in un secondo momento il dado della base e unendo i due elementi 3D con comando ‘*unisci*’.

Per i capitelli in un primo momento si è proceduto ad adottare una versione semplificata del blocco architettonico, in un secondo momento è stato possibile utilizzare una faccia integra di un elemento e replicarla per i quattro lati, operando delle ‘*mesh*’ in ‘*NURBS*’ e successivamente avvalendosi di strumenti di ‘*sculpting*’ (Fig. 66).



Figura 65, fusti del primo ordine, da sinistra un rilievo (elaborato da L. Campagna, Archivio MAIER), al centro l'elemento estruso, a destra il taglio laser su modello 3D adoperato per l'anastilosi (2025, Archivio MAIER).

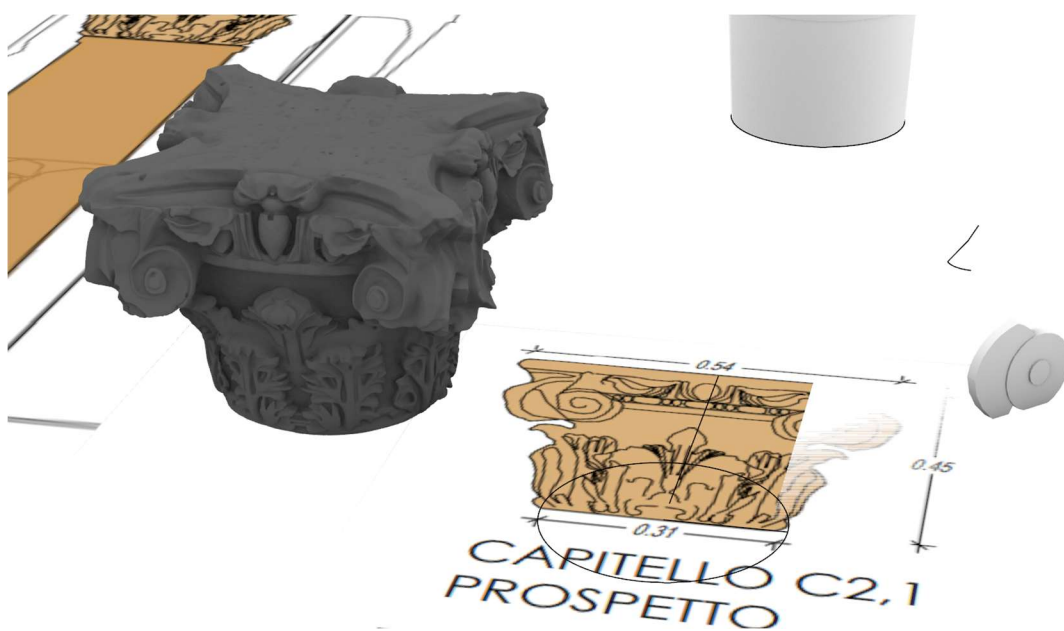


Figura 66, capitello del primo ordine, a sinistra il modello 3D, a destra un rilievo (Archivio MAIER).

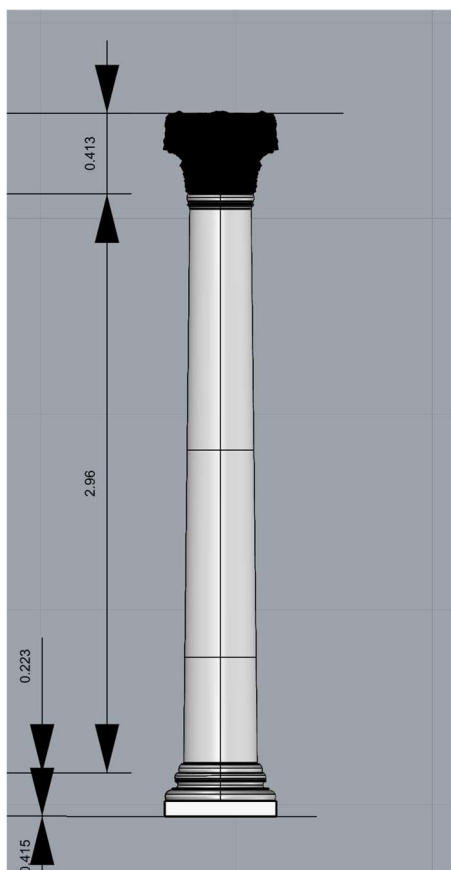


Figura 67, montaggio di base, fusto e capitello con misure di controllo.

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	In loco alcuni elementi,
Qualità dei dati stratigrafici	Rinvenuti nell'area, architettonicamente coerenti
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età severiana
Confronti (funz. strutturale)	Sono presenti strutture con stessa funzione nell'area
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti sul sito
Confronti (decorativo-stilistico)	Vedi cfr. Campagna 2018
Coerenza strutturale	La struttura sembrerebbe coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	/ elementi in alzato
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, e una obliterazione della struttura
Affidabilità	Certa, fondata su elementi direttamente riscontrabili nel contesto architettonico

- Architravi e cornici del I ordine

Contesto:

Gli architravi del primo ordine¹⁴¹, a seguito delle operazioni di restauro e pulitura, sono stati disposti a terra nella sequenza corrispondente all'assetto originario, confermato anche dalla presenza dei fori delle grappe di ancoraggio (Fig. 68). Questi elementi erano agganciati a travi secondarie e a componenti non strutturali. Dal punto di vista statico il peso dei blocchi di architrave era retto principalmente da capitelli e colonne, l'incrocio delle travi risultava centrato rispetto all'asse della colonna e al baricentro del capitello, assicurando la trasmissione verticale dei carichi senza eccentricità significative. Un ulteriore sostegno strutturale era fornito dal muro di fondo della struttura¹⁴², che presenta un incavo destinato ad accogliere gli architravi terminali e consentirne l'ancoraggio.

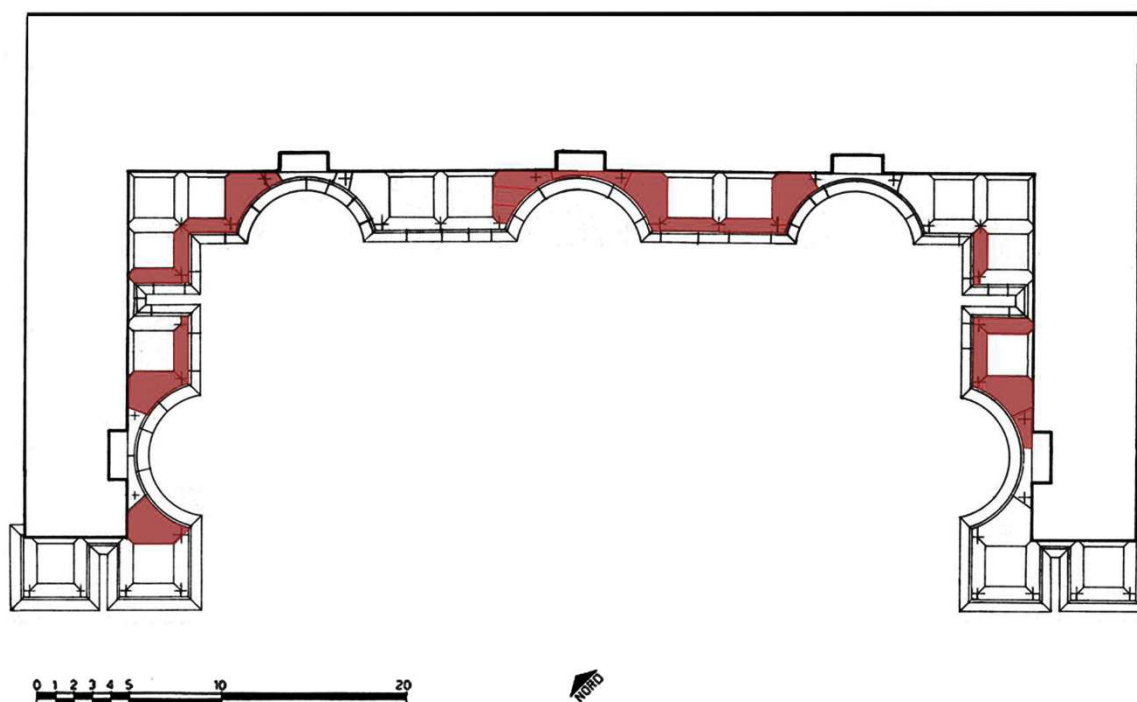


Figura 68, planimetria con il posizionamento degli architravi, elaborazione di D. De Bernardi Ferrero (Da Archivio MAIER).

Fasi di lavoro:

Per la realizzazione sia delle architravi-fregio che delle cornici, ci si è basati sui rilievi in pianta e sul prospetto, si è inserito il *raster* su Rinocheros, si è ricalcata la linea di prospetto e

¹⁴¹ CAMPAGNA 2018, pp. 563-597-

¹⁴² CAMPAGNA 2016, p. 228.

la si è ruotata di 90° con *'ruota 3D'*. Si è proceduto alla creazione di linee di riferimento che indicassero spessore e lunghezza, le quali sono stati utili come guide per operare il comando *'estrudi' → 'su polilinea'*, in modo che la sezione composita (che presenta sporgenze e rientranze) fosse replicata per tutti i segmenti e le linee curve dell'apparato.

A completamento dell'analisi, è stata realizzata una fotogrammetria degli architravi mediante 3DF Zephyr (Fig. 69). Dopo la generazione del modello tridimensionale, si è proceduto alla decimazione della nuvola densa e al taglio delle porzioni ricostruite in eccesso, ottenendo un modello ottimizzato. Quest'ultimo è stato successivamente scalato e importato nella ricostruzione 3D eseguita in Rhinoceros, al fine di verificare in tre dimensioni il corretto posizionamento degli elementi e di valutare con precisione le relazioni strutturali tra architravi, capitelli e colonne (Fig.70).

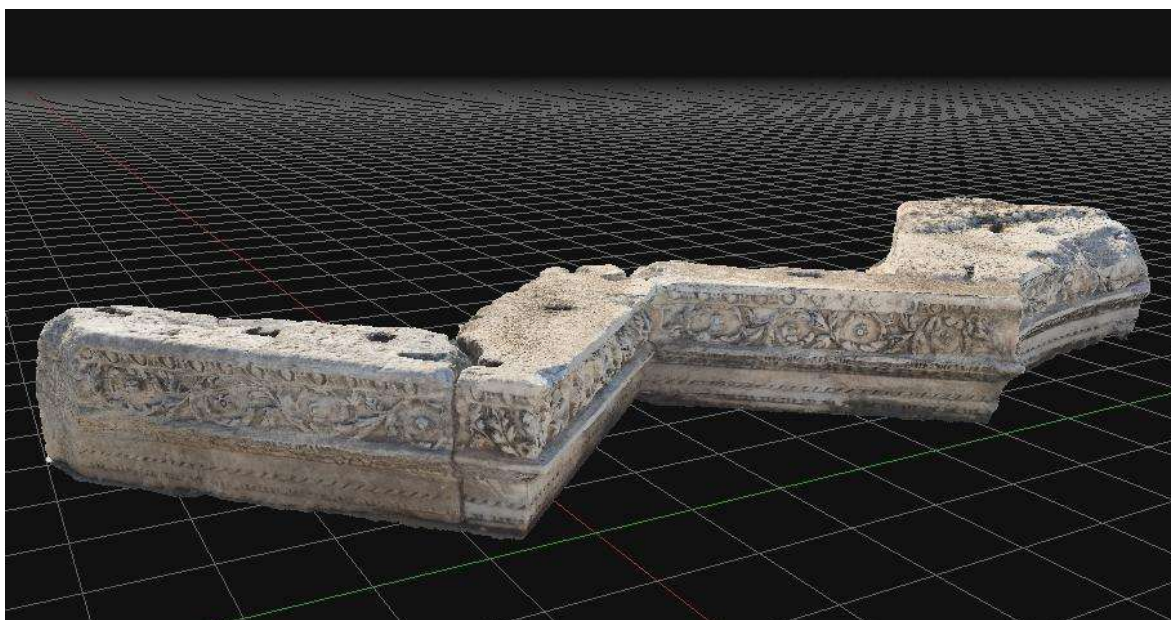


Figura 69, modello 3d da fotogrammetria (elaborazione 2025).



Figura 70, ricostruzione degli elementi del primo ordine (elaborazione 2025).

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	In loco alcuni elementi,
Qualità dei dati stratigrafici	Rinvenuti nell'area, architettonicamente coerenti
Qualità dei dati geometrici	Rilievo celerimetrico e 3D
Cronologia	Età severiana
Confronti (funz. strutturale)	Sono presenti strutture con stessa funzione nell'area
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti sul sito
Confronti (decorativo-stilistico)	Vedi cfr. Campagna 2018
Coerenza strutturale	La struttura sembrerebbe coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	/ elementi in alzato
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, e una obliterazione della struttura
Affidabilità	Certa, fondata su elementi direttamente riscontrabili nel contesto architettonico

- Frontoni del secondo ordine

Contesto:

Sul secondo ordine del Ninfeo, erano presenti cinque timpani a coronamento delle edicole, in corrispondenza delle grandi esedre semicircolari. I Cinque frontoni triangolari, realizzati ciascuno in tre blocchi — uno centrale e due laterali — comprendevano il timpano e le cornici orizzontali e rampanti, analoghe alle altre cornici architettoniche della fronte monumentale. I timpani erano decorati a rilievo con busti frontali di divinità identificabili con Apollo, Artemis-Selene, Leto, Zeus ed Hera¹⁴³ (Fig.71).



Figura 71, frontone di Apollo, ortofoto da fotogrammetria (2022, da Archivio MAIER).

Fasi di lavoro:

Durante la campagna di scavo 2022 è stato possibile documentare i frontoni custoditi nei magazzini del Museo di Hierapolis.

Si è proceduto a una fotogrammetria singola dei vari elementi, prendendo anche misure di controllo per poterli scalare.

Visto lo stato di conservazione e l'impossibilità di poter cogliere adeguatamente la parte inferiore degli elementi la fotogrammetria sebbene precisa nella sua interezza conserva alcune imperfezioni dovute alle condizioni non favorevoli della campagna fotografica. Sono state quindi realizzate delle ortofoto scalate e successivamente caricate come *raster* all'interno di Rhinoceros (Fig. 72). Successivamente sono stati rilevati dalla vista frontale i vari elementi con spessori diversi, controllando le misure da fotogrammetria. In questa fase non essendo previsto un rendering ma volendo comunque dare visibilità alla decorazione si è proceduto a realizzare un contorno delle raffigurazioni e ad estrarre queste polilinee (Fig. 73). Successivamente i blocchi sono stati caricati nella restante parte del modello.

¹⁴³ D'ANDRIA 2011, p. 162-164; DE BERNARDI FERRERO 1999, p. 697-698.



Figura 72, ricalco su Rhinoceros dell'ortofoto.



Figura 73, modello 3D del frontone di Apollo.

Sintesi sull'affidabilità delle ricostruzioni

Stato della struttura	
Qualità dei dati stratigrafici	Rinvenuti nell'area, architettonicamente coerenti
Qualità dei dati geometrici	Rilievo 3D
Cronologia	Età severiana
Confronti (funz. strutturale)	Sono presenti strutture con stessa funzione nel sito
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti sul sito
Confronti (decorativo-stilistico)	Vedi cfr. Campagna 2018
Coerenza strutturale	La struttura sembrerebbe coerente e integrata con altri elementi architettonici
Strutture precedenti	/ elementi in alzato
Strutture successive	Sono visibili interventi successivi, probabilmente legati a smontaggi/restauri antichi
Affidabilità	Certa, fondata su elementi direttamente riscontrabili nel contesto architettonico. Sul posizionamento esatto di quale divinità sono state formulate proposte (vedi D'Andria 2011).

Proposta di ricomposizione

A partire dagli elementi architettonici ricomposti singolarmente è stata elaborata una proposta di ricostruzione complessiva del Ninfeo del Santuario, sviluppata attraverso diverse ipotesi ricostruttive e verifiche volumetriche e proporzionali dei singoli elementi (Fig. 74).

Di seguito viene presentato un set di visualizzazioni elaborato in Rhinoceros comprendente piante, assonometrie, prospetti e sezioni in modalità wireframe, utile alla lettura complessiva dell'organizzazione architettonica del monumento e delle relazioni tra i diversi elementi ricomposti.

In questa fase non sono stati inseriti nella discussione ricostruttiva gli elementi pertinenti al secondo ordine, ad eccezione dei frontoni. La modellazione è stata sviluppata sulla base dei dati attualmente disponibili e delle evidenze note, ma richiede ulteriori verifiche e validazioni prima di poter proporre una restituzione definitiva. Tale cautela risulta necessaria soprattutto alla luce dei rinvenimenti emersi durante le più recenti campagne di scavo, che hanno restituito nuovi elementi attribuibili al secondo ordine del monumento, finora noto soltanto in maniera parziale.

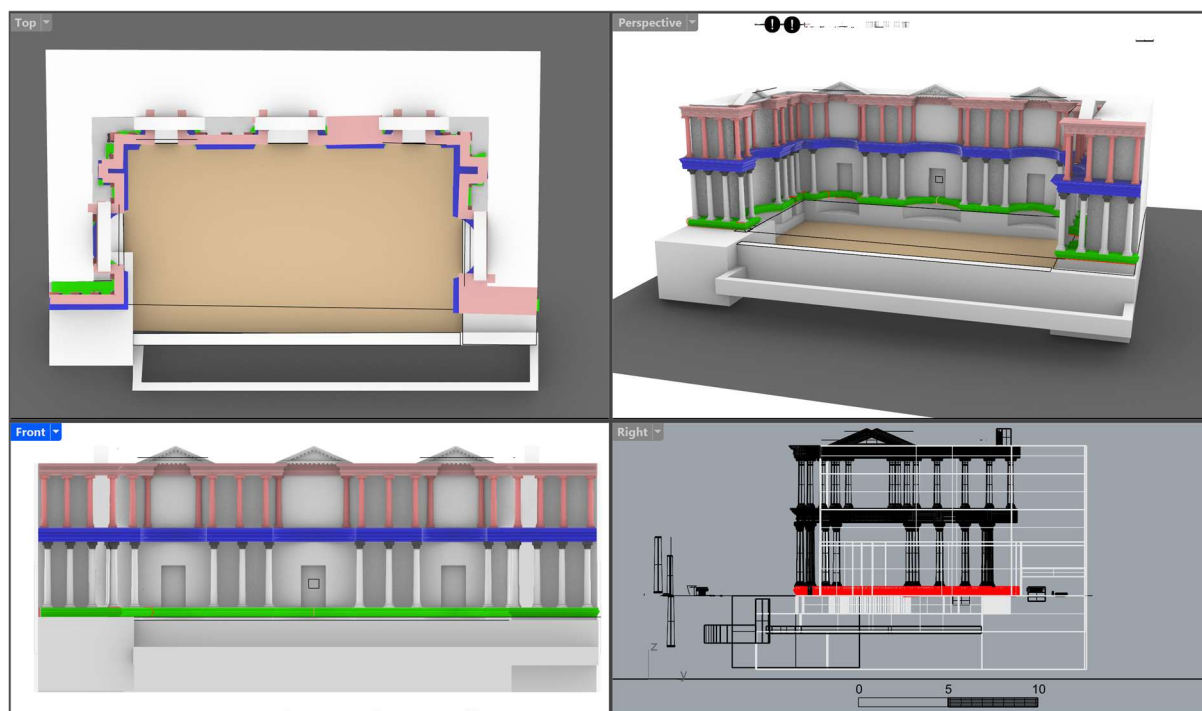


Figura 74, set di viste da Rhinoceros, proposta di ricostruzione complessiva del Ninfeo del Santuario (2025).

- Fregio dell'amazzonomachia

Contesto:

A seguito dell'ultima campagna di scavo è inoltre emerso nella faglia un elemento di fregio decorato appartenente al ciclo dell'Amazzonomachia. Elementi simili sono stati già individuati in campagne di scavo precedenti, e presentano importanti analogie con i fregi del Ninfeo dei Tritoni¹⁴⁴. Inizialmente si è ipotizzato che questo fregio corresse su un podio tra primo e secondo ordine, ma da analisi recenti più approfondite è stato appurato che invece dovessero decorare la vasca secondaria del Ninfeo. Questi due elementi potrebbero essere posizionati davanti al muro della vasca del Ninfeo, in prossimità di alcune specifiche lavorazioni (piano di attesa realizzato a gradina) sulla superficie della pavimentazione prospiciente alla vasca del Ninfeo. Purtroppo, il numero esiguo di elementi architettonici non permette una chiara disposizione o una ricostruzione dell'intero ciclo decorativo. È da evidenziare che l'elemento individuato recentemente sembrerebbe essere angolare.

Fasi di lavoro:

Di tale frammento è stato realizzato un modello 3D fotogrammetrico (Fig.75), che ha permesso la documentazione completa del rilievo scultoreo e delle fratture di rottura. Per un altro elemento dello stesso ciclo decorativo¹⁴⁵, già conservato nel museo, è stata eseguita la decimazione di una fotogrammetria precedentemente realizzata e il ricongiungimento virtuale dei due frammenti, verificando la compatibilità morfologica e dimensionale (Fig.76).

¹⁴⁴ D'ANDRIA 2011 pp. 151-172; CAMPAGNA 2018; GENOVESE 2013, pp. 123-130.

¹⁴⁵ D'ANDRIA 2011 fig. 12, p. 28; CAMPAGNA 2018, fig. 685, p. 586.



Figura 75, frammento di fregio rinvenuto nella campagna di scavi 2025, modello 3D.



Figura 76, in alto a sinistra foto della lastra presso il museo, in alto a destra modello 3D, in basso a sinistra incollaggio digitale degli elementi, in basso a destra integrazione da modello fotogrammetrico.

Stato della struttura	Elementi non in posto
Qualità dei dati stratigrafici	Rinvenuti nell'area, coerenti
Qualità dei dati geometrici	Rilievo 3D
Cronologia	Età severiana
Confronti (funz. strutturale)	Ci sono confronti diretti sul sito
Confronti (tecnica costr.)	Ci sono confronti diretti sul sito
Confronti (decorativo-stilistico)	Vedi cfr. Campagna 2018, Genovese 2013
Coerenza strutturale	Gli elementi sono coerenti con l'edificio, sebbene non chiaramente collocabili
Strutture precedenti	/
Strutture successive	/
Affidabilità	Probabile, posizionamento verosimile ma elementi nel complesso molto sporadici

IV.2 Modellazione, applicazione, problemi e risultati

Per la gestione del processo BIM (Building Information Modeling) e la modellazione parametrica dell'edificio, è stato utilizzato il software Graphisoft Archicad. La scelta di Archicad è stata dettata dalla sua capacità di gestire progetti complessi, integrando sia la modellazione tridimensionale sia le informazioni specifiche sui materiali e le tecniche costruttive. Questo software si distingue per la sua interfaccia intuitiva e per le sue funzionalità avanzate che permettono una gestione efficiente dei dati progettuali e costruttivi. Archicad consente di lavorare con un modello virtuale dell'edificio, definito attraverso componenti parametriche che possono essere facilmente modificate e aggiornate. Ogni elemento modellato contiene informazioni dettagliate sulle sue caratteristiche geometriche e costruttive, facilitando così il processo di documentazione e la produzione di elaborati tecnici quali piante, sezioni, prospetti e dettagli costruttivi.

Una delle caratteristiche più significative di Archicad è la sua capacità di gestire il formato IFC (Industry Foundation Classes), che garantisce l'interoperabilità con altri software BIM e CAD. Questo aspetto è stato fondamentale nel workflow adottato, in quanto ha permesso di integrare i dati provenienti da diverse piattaforme, tra cui Rhinoceros e GIS, garantendo un flusso di lavoro coeso e privo di discontinuità.

Per la modellazione degli elementi architettonici, sono stati utilizzati gli elementi modellati in Rhinoceros importati come elementi oggetto all'interno del modello.

La definizione dei piani, e delle differenti altimetrie permette di poter meglio evidenziare [questo avviene in pianta di default e selezionabile nella vista 3D] i diversi livelli altimetrici, potendo anche ragionare sulle diverse fasi di occupazione riferite a periodi diversi (Fig 77).

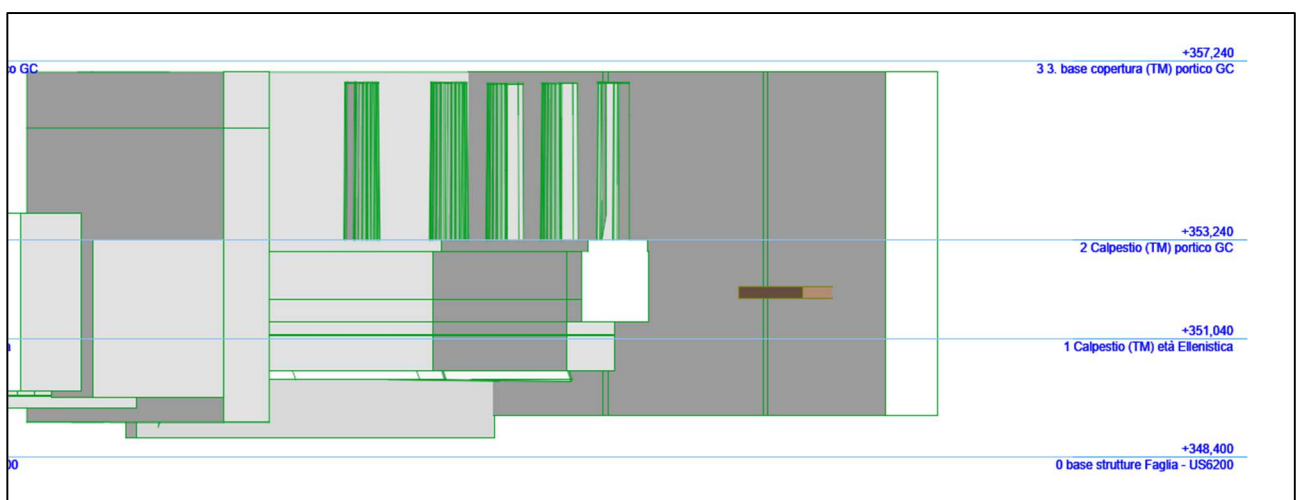


Figura 77, sezione con diversi piani, da ArchiCAD.

Nella foto sottostante l'importazione della modellazione a nord del Ninfeo operata su Rhinoceros, per uno sviluppo corretto dei dati sarà necessario uno step in più per l'importazione di ogni tipologia di singolo elemento in maniera separata, questo permetterà una corretta definizione degli attributi e la possibilità di ragionare su fasi differenti. (Fig. 78).

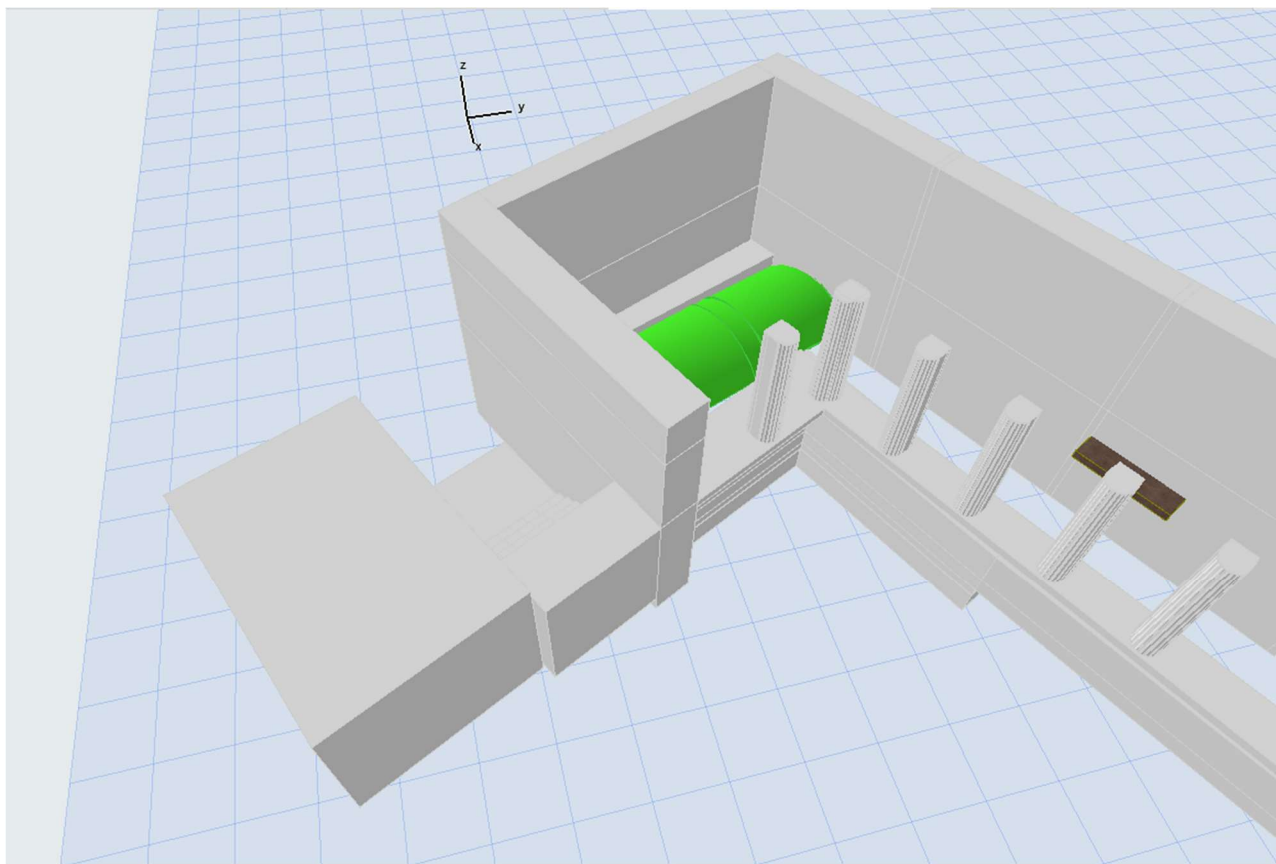


Figura 78, modello 3D importato su ArchiCAD.

Per quanto riguarda la gestione dei dati di scavo, sono stati importati in Archicad i file raster e vector provenienti dal GIS e le fotogrammetrie, che sono stati utilizzati come base per la modellazione del terreno e delle stratificazioni archeologiche.

Invece viene utilizzato uno strumento nativo del programma – *mesh* – il quale permette di creare elementi di terreno con pendenze e forme particolari che possono rendere l'idea degli strati di terreno scavati, dando la possibilità di inserire elementi funzionali al dato nella scheda IFC (Fig. 79). Nelle librerie è possibile associare diversi colori per differenziare i livelli, nello specifico fornire una colorazione in base alle cronologie.

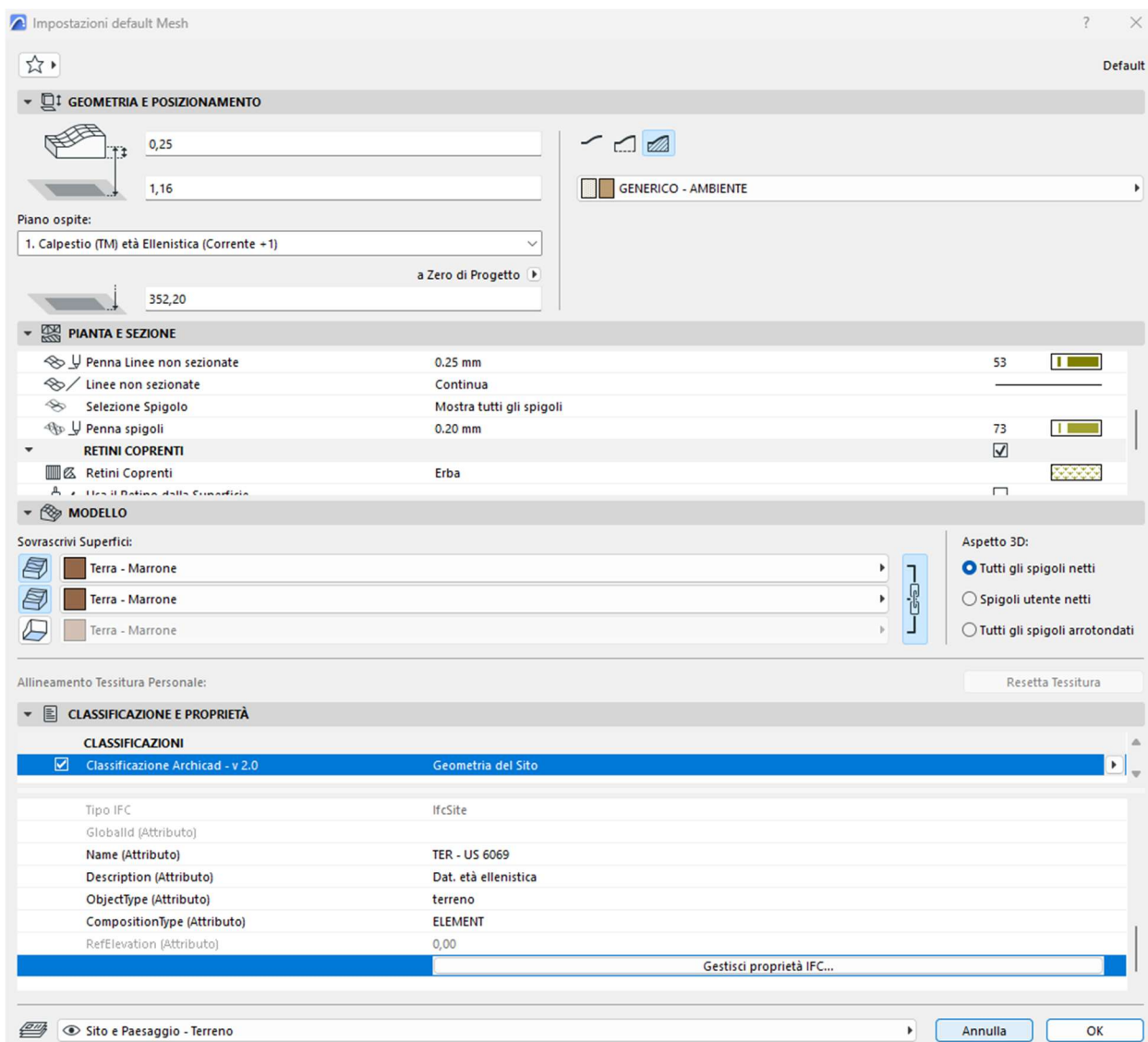


Figura 79, attributi IFC elaborati per strati archeologici.

Un altro aspetto rilevante dell'utilizzo di Archicad è stata la possibilità di implementare la metodologia HBIM, utile per la modellazione di edifici storici o di siti archeologici. Grazie a questa metodologia, è stato possibile associare al modello digitale informazioni storiche, materiali e tecniche costruttive, facilitando sia la fase di analisi che quella di restauro e conservazione. Dopo il completamento dell'import degli elementi geometrici segue la fase di implementazione di attributi in IFC, inserendo numeri di US e cronologie (Fig. 80). Da questa base è possibile collegare al sistema tutto un insieme di dati secondari come immagini (foto, particolari di piante) ed elementi tabellari visualizzabili (per USM rapporti stratigrafici e per US anche eventuali dati di TMA).

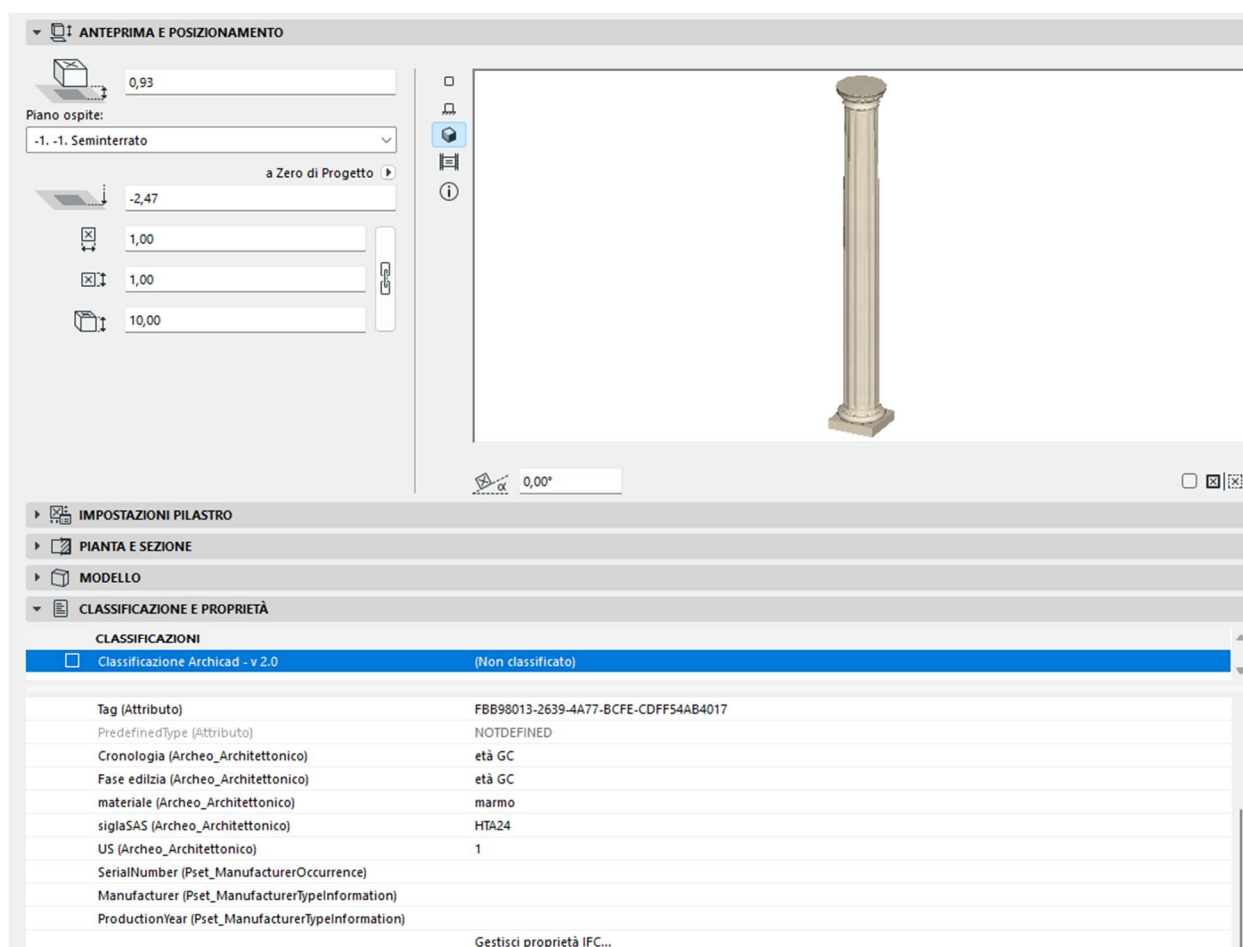


Figura 80, attributi IFC elaborati per elementi architettonici.

Per queste opzioni interoperabilità sarà necessario importare e gestire del modello su usBIM di ACCA [cloud privato], così da testare le funzionalità di condivisione, consultazione e gestione informativa in ambiente cloud-based. (Figg 81-82).

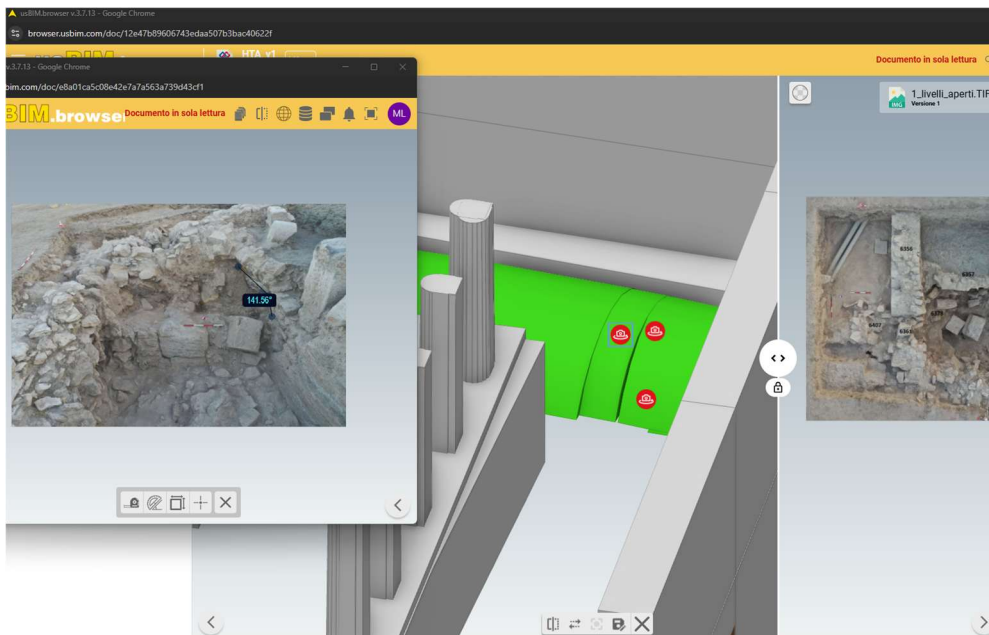


Figura 81, caricamento di dati immagine su usBIM.

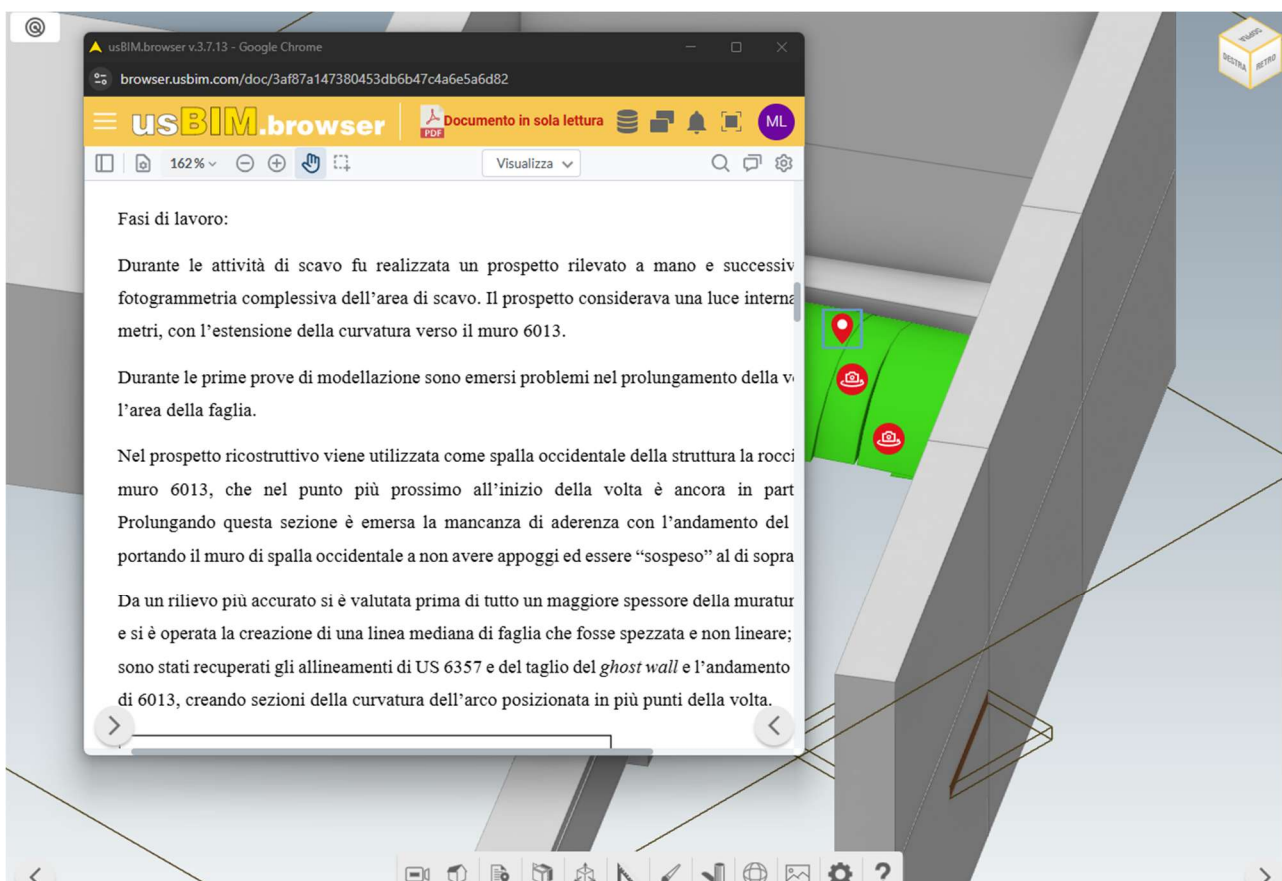


Figura 82, caricamento di dati testuali su usBIM.

CAPITOLO V – Discussione dei dati e conclusioni

Il percorso di ricerca sviluppato nel presente lavoro ha consentito di mettere a sistema dati eterogenei - archeologici, topografici, fotogrammetrici, grafici e storico-architettonici - all'interno di un unico ambiente digitale integrato, finalizzato non soltanto alla gestione della documentazione, ma soprattutto alla comprensione del complesso monumentale del Santuario di Apollo a Hierapolis di Frigia.

Il risultato principale di questo studio non risiede esclusivamente nella costruzione di un modello digitale avanzato, bensì nella possibilità di utilizzare tale sistema come strumento interpretativo. La digitalizzazione e l'integrazione multilivello dei dati hanno infatti permesso di leggere in modo più chiaro le relazioni spaziali, stratigrafiche e cronologiche tra i diversi elementi monumentali del Santuario, mettendo in evidenza aspetti che, se considerati separatamente, risultavano meno leggibili. L'applicazione del workflow GIS-fotogrammetria-HBIM (Fig. 81), approfondito nel Capitolo IV, ha reso possibile una rilettura complessiva del rapporto tra le diverse terrazze, gli edifici templari, il Ninfeo e i portici, consentendo di comprendere con maggiore precisione la logica scenografica e funzionale che regola l'organizzazione del complesso. In particolare, è emersa con maggiore evidenza la stretta relazione tra architettura monumentale, morfologia del terreno e presenza della faglia sismica, elemento che ha inciso profondamente sia nell'impianto originario del santuario sia nelle sue successive trasformazioni.

Uno degli aspetti più significativi emersi dalla ricerca riguarda proprio la capacità del modello di restituire il Santuario non come somma di singoli edifici, ma come sistema monumentale unitario, in cui ogni elemento architettonico dialoga con gli altri e con il contesto geomorfologico circostante. Tale approccio ha permesso di superare una lettura frammentaria delle evidenze, contribuendo a una più consapevole interpretazione delle fasi edilizie e dei successivi interventi di restauro, riuso e trasformazione.

Dal punto di vista della conoscenza archeologica, lo studio ha contribuito a chiarire le relazioni tra le diverse fasi di monumentalizzazione, in particolare tra la fase giulio-claudia, quella severiana e le trasformazioni di età tardoantica e protobizantina. La lettura integrata dei dati ha inoltre offerto nuovi strumenti per affrontare le problematiche legate ai crolli monumentali, ai reimpieghi e alla ricostruzione delle volumetrie originarie, soprattutto nel settore del Ninfeo e dei portici.

In questo senso, il modello sviluppato non rappresenta un punto di arrivo definitivo, ma una piattaforma dinamica e implementabile, capace di accogliere nuovi dati provenienti dalle future campagne di scavo, dalle attività di restauro e dalle successive verifiche interpretative. La continuità

del lavoro si colloca proprio in questa prospettiva: trasformare il sistema digitale in uno strumento operativo permanente per la ricerca, la conservazione e la valorizzazione del Santuario.

La ricerca ha dunque dimostrato come l'approccio H-BIM, applicato a un contesto archeologico complesso come quello di Hierapolis, non debba essere inteso come semplice restituzione tridimensionale, ma come metodologia di conoscenza. Il modello diventa così un ambiente di sintesi critica, nel quale il dato archeologico, il rilievo e l'ipotesi interpretativa convivono in maniera trasparente e continuamente verificabile.

In prospettiva futura, il lavoro potrà essere ulteriormente sviluppato attraverso l'integrazione con nuovi dati di scavo, modelli ad alta definizione dei blocchi architettonici e strumenti di interrogazione avanzata, con l'obiettivo di supportare sia le attività scientifiche sia i futuri interventi di restauro e valorizzazione del complesso santuarioale.

In questa prospettiva, il caso studio del Santuario di Apollo a Hierapolis di Frigia assume un valore che va oltre il singolo contesto monumentale. Il lavoro svolto ha infatti consentito di definire una proposta metodologica applicabile ai cantieri archeologici di scavo, restauro e valorizzazione caratterizzati da elevata complessità stratigrafica, articolazione monumentale e necessità di gestione integrata dei dati.

L'esperienza maturata nel corso della ricerca ha dimostrato come l'integrazione tra rilievo tradizionale, sistemi GIS, fotogrammetria digitale, modellazione tridimensionale e ambiente H-BIM costituisca non soltanto uno strumento di rappresentazione, ma un vero e proprio sistema di supporto alla conoscenza e al processo decisionale. La possibilità di mettere in relazione dati topografici, evidenze stratigrafiche, elementi architettonici, informazioni materiche e fasi cronologiche ha permesso di costruire una lettura multilivello del Santuario, restituendone la complessità storica e costruttiva.

Dal punto di vista scientifico, la ricerca ha contribuito a una più approfondita comprensione dell'evoluzione del complesso monumentale, chiarendo i rapporti tra le diverse fasi edilizie e mettendo in evidenza il ruolo determinante esercitato dalla morfologia del terreno e dalla faglia sismica nella definizione dell'impianto architettonico e nelle successive trasformazioni. In particolare, la ricostruzione digitale integrata ha permesso di leggere con maggiore consapevolezza le relazioni tra le terrazze, il sistema templare, il Ninfeo e i portici, restituendo il Santuario come un organismo unitario e non come un insieme di episodi architettonici isolati.

Uno dei risultati più significativi del presente studio consiste proprio nell'aver evidenziato come il modello digitale possa divenire uno spazio critico di confronto tra dato archeologico, ipotesi ricostruttiva e progetto di restauro. In tal senso, il modello non si configura come prodotto statico, ma

come sistema aperto, incrementabile e verificabile, capace di recepire nel tempo nuovi dati provenienti dalle campagne di scavo, dai rilievi e dalle future attività di restauro e valorizzazione.

La continuità del lavoro si colloca dunque nella prospettiva di un progressivo consolidamento del sistema informativo sviluppato, affinché esso possa accompagnare le future attività della Missione non solo come archivio digitale, ma come infrastruttura metodologica permanente. Tale approccio potrà costituire una base operativa per ulteriori applicazioni nel campo dell'archeologia del costruito e della gestione dei cantieri complessi, offrendo un modello replicabile in altri contesti del Mediterraneo orientale e non solo.

In conclusione, la ricerca ha mostrato come l'applicazione delle tecnologie H-BIM ai contesti archeologici non rappresenti un mero avanzamento tecnico, ma un passaggio metodologico fondamentale verso una più profonda integrazione tra ricerca archeologica, documentazione, restauro e valorizzazione del patrimonio. Nel caso del Santuario di Apollo, questo percorso ha prodotto un avanzamento concreto della conoscenza del monumento, rendendo più leggibili le sue trasformazioni nel lungo periodo e fornendo strumenti operativi per la sua futura conservazione e interpretazione.

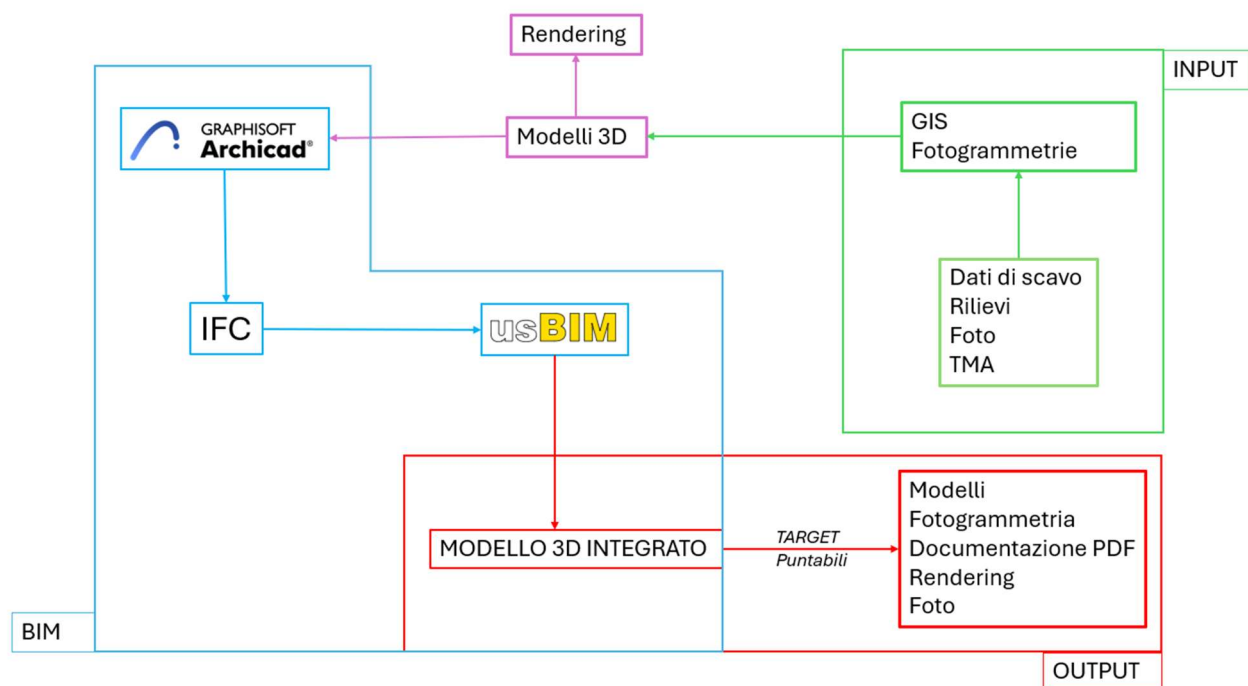


Figura 83, workflow applicato dall'input dei dati post-scavo all'output integrato.

BIBLIOGRAFIA

ACCA Software, *Guida al BIM 2*, ACCA Software S.p.A., Bagnoli Irpino, E2.5NF-9/1/2020.

AA.VV., *Hierapolis di Frigia 1957-1987*, Catalogo della Mostra, Milano 1987 *Fabbri Editori*, pp. 11-84.

Altaweel M., Khelifi A., Zafar M. H. 2024, “Using Generative AI for Reconstructing Cultural Artifacts: Examples Using Roman Coins”, *Journal of Computer Applications in Archaeology*, 7(1), pp. 301–315.

Arthur P. 1997, “Un gruppo di ceramiche alto medievale da Hierapolis (Pamukkale, Denizli), Turchia Occidentale”, «*Archeologia Medievale*», XXIV, 1997, pp. 531-540.

Arthur P. 2002, “*Hierapolis tra Bisanzio e i Turchi*” in De Bernardi Ferrero D. (a cura di) “*Saggi in onore di Paolo Verzone – Hierapolis, scavi e ricerche IV*” Roma, 2002, pp. 217-232.

Arthur P. 2006, “*Hierapolis (Pamukkale) bizantina e turca. Guida archeologica*”.

Arthur P., Bruno B. 2007, “*Hierapolis di Frigia in età medioevale (2001-2003)*” in D’Andria F., Caggia M. P. (a cura di) “*Hierapolis di Frigia I, Le campagne di scavo e restauro 2000-2003*”, pp. 511-529.

Arthur P. et alii 2012, “*Hierapolis bizantina e turca*” in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di) *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, Istanbul 2012, pp. 565-583.

Arthur P. 2016, “Byzantine domestic housing at Hierapolis: excavation in 2008” in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di) “*Hierapolis VIII, Le attività delle campagne di scavo e restauro 2007-2011*”, Istanbul, 2016, pp. 651-662.

Alçiçek H., Wesselingh F. P. 2008, “*Lake Denizli (Turkey) as an archive of Neogene environmental and climate change and endemic biodiversity refuge*, in *26th IAS Regional Meeting/ SEPM-CES Sediment*”, Bochum.

Bentkowska-Kafel A. 2020, *'The Whole Truth?' Verification and Validation of 3D Reconstructions*. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 19.

Bezzi A. e Bezzi L. 2011, *"Computer Vision e structure from motion, nuove metodologie per la documentazione archeologica tridimensionale"*, in Francisci D. (a cura di), *Open source, free software e open format nei processi di ricerca archeologica*, Bari, pp. 103-111.

Boyd T. D. 1978, *"The arch and the vault in Greek architecture"*, American Journal of Archaeology 82 (1978).

Brumana R., Oreni D., Revetria R. 2017, *"HBIM for Conservation and Management of Cultural Heritage"*, Springer.

Caggia M. P. 2012, *"Recenti ricerche sulla collina di San Filippo a Hierapolis di Frigia. L'edificio termale di età bizantina"*, in D'Andria R., Mannino K., (a cura di), *Gli allievi raccontano. Atti dell'incontro di studio per i trent'anni della Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici – Università del Salento*, Galatina 2012, pp. 171-192.

Caggia M. P. 2016, *"Prime indagini sul terrazzo dell'Aghiasma: la Chiesa di San Filippo"* in D'Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di) *"Hierapolis VIII, Le attività delle campagne di scavo e restauro 2007-2011"*, Istanbul, 2016, pp. 729-766.

Caggia M. P. 2022, *"Le cd. Terme-Chiesa di Hierapolis: i materiali ceramici dai livelli selgiuchidi e ottomani"* in D'Andria F.; Caggia M.P.; Ismaelli T. (a cura di) *Hierapolis di Frigia XV - Le attività delle campagne di scavo e restauro 2012-2015*, pp. 185-192.

Campagna L. 2012, *"Ninfeo dei Tritoni: le ricerche sulla restituzione della facciata"* in D'Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di), *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, Istanbul: Ege Yayınları, pp. 533-563.

Campagna L. 2018, *"Hierapolis XI, Il Ninfeo dei Tritoni"*, Istanbul.

Campagna L., Limoncelli M. 2012, *"The Nymphaeum of the Tritons at Hierapolis of Phrygia (Turkey) from excavations to 3D virtual reconstruction: an example of integrated methods in the study of*

ancient architecture”, in “*Proceedings of the 5th International Congress Science and Technology for the Safeguard of the Cultural Heritage in the Mediterranean Basin (Istanbul 22-25/11/2011)*, vol. 1”, Roma 2012, pp. 280-289.

Campagna L., Scardozzi G. 2013, “*Archeologia delle acque a Hierapolis di Frigia: tematiche principali e metodologie integrate di ricerca*”, in Bru H., Labarre G., (eds.) *L’Anatolie des peuples, cités et cultures (II millenaire av. J.C. – V siècle ap J.C.) Colloque International de Besançon (26-27 novembre)*”, vol. 2, Besançon 2013, pp. 197-220.

Campagna L. et alii 2016, “*Nuove ricerche al Ninfeo del Santuario di Apollo*”, in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di) “*Hierapolis VIII, Le attività delle campagne di scavo e restauro 2007-2011*”, Istanbul, pp. 223-235.

Carettoni G., 1963-1964, “*Scavo del tempio di Apollo a Hierapolis (rapporto preliminare)*”, in «*Annuario della Scuola Archeologica di Atene e delle Missioni Italiane in Oriente*» (ASAtene), XLI-XLII, pp. 411-433.

Chiabrando F., D’Andria F., Sammartano G., Spanò A. 2018, “*UAV photogrammetry for archaeological site survey. 3D models at the Hierapolis in Phrygia (Turkey)*” in *Virtual Archaeology Review*, 9 (18), pp. 28-43.

Ciotta C., Palmucci Quaglini L. 2002, “*La Cattedrale e il Battistero*” in De Bernardi Ferrero D. (a cura di) “*Saggi in onore di Paolo Verzone – Hierapolis, scavi e ricerche IV*” Roma, pp. 198-199.

Cohen G. M. 1995, “*The Hellenistic Settlements in Europe, the Islands, and Asia Minor*”, Berkeley pp. 305-307.

D’Andrea A., Bosco A., Barbarino M. 2017, “*A 3D environment to rebuild virtually the so-called Augusteum in Herculaneum*” in *Archeologia e Calcolatori* 28.2, pp. 437-446.

D’Andria F. 2001, “*Hierapolis of Phrygia: its evolution in Hellenistic and Roman Times*” in Parrish D. (a cura di) “*Urbanism in Western Asia Minor: New Studies on Aphrodisias, Ephesos, Hierapolis, Pergamon, Perge and Xanthos (JRA Supplementary Series ,45)*”, pp. 96-115.

D’Andria F. 2003, “*Hierapolis di Frigia (Pamukkale). Guida archeologica*”, Istanbul, Ege Yayınları, pp. 115-117, 202.

D'Andria F. 2005, "*Hierapolis Antik Kenti 2003 kazi ve onarim çaliřmaları*", in 26 Kazi Sonuçları Toplantısı, 2 Cilt, Ankara, pp. 147-156.

D'Andria F. 2007a, "*Teatro (Regio VIII) – interventi e progetti*" in D'Andria F., Caggia M. P. (a cura di) "*Hierapolis di Frigia I, Le campagne di scavo e restauro 2000-2003*", pp. 145-155.

D'Andria F. 2007b, "*Le attività della MAIER – Missione Archeologica Italiana a Hierapolis: 2000-2003*", in D'Andria F., Caggia M. P. (a cura di) "*Hierapolis di Frigia I, Le campagne di scavo e restauro 2000-2003*", pp. 1-46.

D'Andria F. 2010, "*Peregrinorum utilitate*", *Le terme di San Filippo a Hierapolis nel V sec. d.C.*" in D'Andria F., Pagani E.S., (a cura di), Hammam. Le Terme nell'Islam, Atti del Convegno (Santa Cesarea Terme – 15 Maggio 2008), Firenze 2010, pp. 56-67.

D'Andria F. 2011, "*Gods and Amazons in the nymphaeums of Hierapolis*", in D'Andria F., Romeo I. (edd), "*Roman Sculpture in Asia Minor. Proceedings of the International Conference celebrating the 50th Anniversary of MAIER Italian Excavation in Hierapolis of Phrygia, (JRA Suppl. 81)*", Portsmouth, pp. 150-172.

D'Andria F. 2012, "*Archaeology of the theatre in Hierapolis (Pamukkale)*" in Masino F., Mighetto P., Sobrà G., (a cura di), *Restoration and management of ancient theatres in Turkey: methods, research, results. Proceedings of the Hierapolis International Symposium (Karahayıt, Turkey, 7th-8th September 2007)*, Galatina 2012, pp. 143-161.

D'Andria F. 2013, "*Il Ploutonion a Hierapolis di Frigia*", in *IstMitt*, 63, 2013, pp. 157-217.

D'Andria F. 2017, "*The Plutonion of Hierapolis before and after the colony*", in D'Andria F. e Şimşek C. (a cura di), *Landscape and History in Lykos Valley*, Newcastle, pp. 207-241.

D'Andria F. 2018a, "*The Plutonion of Hierapolis in light of recent research (2013-17)*" in *Journal of Roman Archaeology*. 2018; 31: doi: 10.1017/S1047759418001253, pp. 90-129.

D'Andria F. 2018b, "*Geç antik çağ ve erken bizans dönemi'nde Phrygia Hierapolis'i (Late Antiquity and Early Christianity Periods in Hierapolis at Phrygia)*" in Kaçar T. e Şimşek C. (a cura di) "*Geç*

Antik Çağ'da Lykos Vadisi ve Çevresi/The Lykos Valley and Neighbourhood in Late Antiquity”, Istanbul, pp. 235-247.

D’Andria F. 2019, “*The Cult of Cybele in Hierapolis of Phrygia*”, in *Phrygia in Antiquity. From the Bronze Age to the Byzantine Period*, Peeters, 2019, pp. 479-500.

De Bernardi Ferrero D. 1997, “*La via di Frontino a Hierapolis di Frigia*”, in Studi in memoria di Lidiano Bacchielli, Roma, pp. 233-238.

De Bernardi Ferrero D. 1999, “*Alcune considerazioni sul ninfeo di Hierapolis antistante il tempio di Apollo*”, in H. Friesinger, F. Krinzinger (a cura di), *100 Jahre österreichische Forschungen in Ephesos. Akten des Symposions Wien 1995*, Wien, pp. 695-702.

De Bernardi Ferrero D. 2007, “*Il teatro di Hierapolis di Frigia*” in De Bernardi Ferrero D., Ciotta G., Pensabene P. (a cura di) “*Il teatro di Hierapolis di Frigia II. Restauro, architettura, epigrafia*”, Genova, pp. 17-228.

De Bernardi Ferrero D., Ciotta G., Pensabene P. 2007, “*Il teatro di Hierapolis di Frigia II Restauro, architettura, epigrafia*”, Genova.

Demetrescu, E. 2018, “*Virtual Reconstruction as a Scientific Tool*”: 10.1007/978-3-319-76992-9_7.

Diara F., Rinaudo F. 2021, “*ARK-BIM: Open-Source Cloud-Based HBIM Platform for Archaeology*”, in Applied Sciences 11(18):8770.

Diara F., Cavallero F. 2021, “*From Excavation data To HBIM environment and cloud sharing: the case study Of Domus Regia, Sacraia Martis et Opis (Roman Forum, Rome - Italy)*” in ISPRS - International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLVI-M-1-2021:207-213.

Dilsiz C., Marques J. M., Carreira P. M. M. 2004, “*The impact of hydrological changes on travertine deposits related to thermal springs in the Pamukkale area (SW Turkey)*”, *Environmental Geology*, 45.

Droysens G. 1886, “*Allgemeiner Historischer Handatlas*” in Verlag Velhagen und Klasing, Bielefeld / Leipzig.

Fai S., Graham K., Duckworth T., Wood N., Attar R. 2011, “*Building Information Modeling and Heritage Documentation*”, in *Proceedings of the XXIII International CIPA Symposium*, Prague, pp. 12–16.

Gabellone F., Giuri F., Ferrari I., Limoncelli M. 2011, “*Virtual Hierapolis: tra tecnicismo e realismo*”, in *Virtual Archaeology Review* II, 131-136.

Gabellone F. 2012, “*La trasparenza scientifica in archeologia virtuale: una lettura critica al principio N.7 della Carta di Siviglia.*” *SCIRES-IT*, 2(2), 99-124.

Genovese C. 2013, “*I rilievi figurati dei Ninfei di Hierapolis di Frigia: il tema dell'amazonomachia nella decorazione architettonica dell'Asia Minore*”, «*Quaderni di archeologia*» 3, pp. 123-130.

Garagnani S., Gaucci A., Govi E. 2016, “*ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto*”, «*Archeologia e Calcolatori*», 27, 251-270.

Gattulli V., Pinnetti L., Rinaldi C. 2025, “*Analisi strutturale con il metodo degli Elementi Finiti*”, Gangemi Editore International, cap. 10 “*Analisi numerica per modelli fisici e basati sui dati*”, pp. 198–216.

Guidoboni E. 1994, “*Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century*”, Bologna, Istituto Nazionale di Geofisica. pp. 349-351, n. 231.

Gullino N. 2002, “*La Basilica sopra il teatro*” in De Bernardi Ferrero D. (a cura di) “*Saggi in onore di Paolo Verzone – Hierapolis, scavi e ricerche IV*” Roma, pp. 203-216.

Haldon J. F. 1990, “*Byzantium in the Seventh Century: The Transformation of a Culture*”, Cambridge University Press, pp. 214–215.

Hill et alii 2016, “*The North-East Necropolis survey 2007-2011: methods, preliminary results and representivity*”, in F. D’Andria, M. P. Caggia, T. Ismaelli (a cura di) 2016, pp. 109-120.

Huggett J. 2021, “*Algorithmic Agency and Autonomy in Archaeological Practice*”. Open Archaeology. 7. 417-434. 10.1515/opar-2020-0136.

Ismaelli T. 2009, “*Architettura dorica a Hierapolis di Frigia, Hierapolis di Frigia III*”, Istanbul, p. 41.

Ismaelli T. 2012, “*La Stoà di Marmo. Le trasformazioni dell’edificio alla luce delle prime ricerche*” in D’Andria, Caggia, Ismaelli (a cura di) *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, 2012, pp. 387-418.

Ismaelli T. 2016a, “*Il Ginnasio, campagne di scavo 2007-2010*”, in F. D’Andria, M.P. Caggia, T. Ismaelli (a cura di), *Hierapolis di Frigia VIII. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2007-2011*, Istanbul 2016, pp. 529-551.

Ismaelli T. 2016b, “*Nuovi dati sull’architettura del Ginnasio di Hierapolis*”, in F. D’Andria, M.P. Caggia, T. Ismaelli (a cura di), *Hierapolis di Frigia VIII*, Istanbul 2016, pp. 553-596.

Ismaelli T. 2016c, “*Marble Stoa and Gymnasium, two “twin” monuments in Hierapolis*”, in T. Ismaelli, G. Scardozzi (a cura di), *Ancient quarries and building sites in Asia Minor. Research on Hierapolis in Phrygia and other cities in south-western Anatolia: archaeology, archaeometry, conservation*, Bari 2016, pp. 385-392.

Ismaelli T. 2017a, “*Hierapolis di Frigia X. Il Tempio A nel Santuario di Apollo, architettura, decorazione e contesto.*”, Istanbul.

Ismaelli T. 2017b, “*Le ricerche di Gianfilippo Carettoni e Laura Fabbrini a Hierapolis di Frigia attraverso la documentazione fotografica d’archivio*”, in «Quaderni Friulani di Archeologia», XXVI, pp. 247-262.

Ismaelli T., Scardozzi G., Sobrà G. 2016, “*New data on the building site of the Theatre in Hierapolis*”, in Ismaelli, Scardozzi 2016, (a cura di) “*Ancient quarries and building sites in Asia*

Minor. Research on Hierapolis in Phrygia and other cities in south-western Anatolia: archaeology, archaeometry, conservation” (Biblioteca archaeologica, 45), Bari, pp. 305-328.

Kazhdan A. 1991, “*The Oxford Dictionary of Byzantium*” New York and Oxford: Oxford University Press, p. 2080.

Kocaturk T., Yilmaz O., Caliskan A. 2020, “*Application of HBIM for the documentation and conservation of historic buildings in Turkey*”, *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 10(2), pp. 207–222.

Limoncelli M., Scardozzi G. 2018, “*Indagini multidisciplinari e ricostruzione virtuale: il caso di studio del Teatro Nord di Hierapolis di Frigia (Turchia)*”, in Davoli P., Pellé N. (a cura di), *Πολυμέθεια. Studi Classici offerti a Mario Capasso*, Lecce, Pensa Multimedia, pp. 739-760.

Limoncelli M. 2016a, “*Il progetto Hierapolis Virtuale: analisi integrate per lo studio dell’architettura ierapolitana. L’esempio del teatro extraurbano*”. in D’Andria F., Caggia P. e Ismaelli T. (a cura di) *Hierapolis di Frigia VIII, Le attività delle campagne di scavo e restauro 2007-2011*, pp. 77-89.

Limoncelli M. 2016b, “*The Contribution of Virtual Archaeology to The Marmora Phrygiae Project*” in Ismaelli T. e Scardozzi G. (a cura di) *ANCIENT QUARRIES AND BUILDING SITES IN ASIA MINOR Research on Hierapolis in Phrygia and other cities in south-western Anatolia: archaeology, archaeometry, conservation*, pp. 43-60.

Limoncelli M. 2019, “*Hierapolis di Frigia XIII, Virtual Hierapolis. Virtual archaeology and restoration project (2007-2015)*”, Istanbul.

Logothetis S., Karachaliou E., Stylianidis E., Patias P. 2017, “*Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review.*” *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W2, 177–183.

Marabini S. 2015, “*Note illustrative della carta archeologica di Hierapolis*, in Scardozzi G. (a cura di), *Nuovo Atlante di Hierapolis di Frigia. Cartografia archeologica della città e delle necropoli, Hierapolis di Frigia VII*”, Istanbul 2015, pp. 7-8.

- Masino F., Sobrà G., Gabellone G., Limoncelli M. 2011, “*Research on the Theatre at Hierapolis in Phrygia: an integrated approach*”, in Heine-Rheidt-Henze-Riedel, *Von Handaufmass bis High Tech III. Erfassen, Modellieren, Visualisieren. 3D in der historischen Bauforschung*, Interdisziplinäres Kolloquium vom 24.–27. Februar 2010 veranstaltet von den Lehrstühlen Baugeschichte und Vermessungskunde der Brandenburgischen Technische Universität Cottbus, Darmstadt - Mainz am Rhein, pp. 72-78.
- Masino F., Sobrà G. 2012, “*Ricerche e interventi nel Teatro*” In F. D’Andria, M. P. Caggia, & T. Ismaelli (Eds.), *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006* Istanbul pp. 207-233.
- Masino F., Mighetto P., Sobrà G. 2012, “*Restoration and management of ancient theatres in Turkey. Methods, research, results*”, in *Archeologia e storia 11*, Galatina.
- Mastronuzzi G., V. Melissano 2007, “*Le case bizantine sul lato ovest dell’Agorà (Regio I)*” in F. D’Andria, M. P. Caggia (a cura di) “*Hierapolis di Frigia I. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2000-2003*”, Istanbul, pp. 541-581.
- Monastero A. 2012. “*Applicazioni GIS per la gestione dei dati di scavo: il santuario di Apollo a Hierapolis di Frigia*” AA. VV. (a cura di) “*Uno sguardo extra moenia. Riflessioni su identità culturale e circolazione di idee tra Oriente e Occidente*” pp. 199 – 210.
- Murphy M., McGovern E., Pavia S. 2009, “*Historic building information modelling (HBIM)*”. *Structural Survey*, 27(4), 311–327.
- Oreni D., Brumana R., Georgopoulos A. 2014, “*Survey and HBIM for the management of complex architectural heritage.*” *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5, 203–210.
- Ozkul M. et alii 2000, “*Caratteri geologici, geografici e idrografici del bacino del fiume Çürüksu*” in D’Andria F. e Silvestrelli F (eds). “*Ricerche archeologiche turche nella Valle del Lykos*”, Galatina, pp. 327-399.

Panarelli P. 2018, “*The Ploutonion of Hierapolis in Phrygia in the Late Ancient and Proto-byzantine period*” in Kaçar T. e Şimşek C. (a cura di) “*Geç Antik Çağ'da Lykos Vadisi ve Çevresi/The Lykos Valley and Neighbourhood in Late Antiquity*”, Istanbul, pp. 325-337.

Peirano D. 2012, “*Scavi e ricerche nel cantiere della Cattedrale*” in D’Andria F., Caggia P., Ismaelli T. (a cura di), *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, Istanbul 2012, pp. 590-600.

Pensabene P. 2007, “*Gli elementi marmorei della scena: classificazione tipologica e inquadramento nella storia degli studi della decorazione architettonica in Asia Minore*”, in De Bernardi Ferrero, Ciotta, Pensabene (a cura di) “*Il Teatro di Hierapolis di Frigia II, Restauro, architettura, epigrafia*” Genova, pp. 229-440.

Reilly P. 1991, “*Towards a virtual archaeology*”, in K. Lockyear, S. Rahtz (edited by), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 90*, Oxford 1991.

Ritti T. 2017, “*Hierapolis IX, Storia e istituzioni di Hierapolis di Frigia*”, Istanbul.

Romeo E. 2012, “*Interventi per il restauro e la conservazione della Cattedrale di Hierapolis*”, in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di), *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, Istanbul 2012, pp. 585-589.

Ronchetta D. 2017, “*L’architettura funeraria di Hierapolis di Frigia. Le tombe "A" della Necropoli Nord*”, Edizioni del Politecnico di Torino, Torino.

Rossignani M. P., Sacchi F. 2007, “*La stoà-basilica dall’agorà settentrionale (Regio I)*”, in D’Andria, Caggia 2007 (a cura di) “*Hierapolis di Frigia I. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2000-2003*”, Istanbul, pp. 359-411.

Rossignani M. P., Sacchi F. 2011, “*Progetto architettonico e cicli figurativi nella stoa-basilica di Hierapolis di Frigia*”, in F. D’Andria, I. Romeo (eds.), *Roman Sculpture in Asia Minor, Proceedings of the International Conference celebrating the 50th Anniversary of MAIER-Italian Excavation in Hierapolis of Phrygia (JRA, Suppl. 81)*, Portsmouth, 234-247.

Rossignani M. P., Baratto C., 2012, “*Ricerche sulla Stoà-basilica dell’Agorà Nord*”, in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di), *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, Istanbul 515-532.

Sacchi F., Bonzano F. 2012, “*L’ordine del tempio di Apollo a Hierapolis: prime acquisizioni*”, in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di), *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, Istanbul 2012, pp. 325-357.

Sarıcaoğlu T. 2021, “*Archaeological heritage information management: HBIM Erythrae (Ildır)*”, Tesi di Dottorato, Advisor prof. Nezihat Köşklük Kaya.

Sarıcaoğlu, T., Saygı, G. 2022, “*Data-driven conservation actions of heritage places curated with HBIM*”, *Virtual Archaeology Review* 13(27), pp. 17–32.

Scardozzi G., Castrianni L., Ditaranto I., Di Giacomo G., 2010, “*La cinta muraria di Hierapolis di Frigia: il geodatabase dei materiali di reimpiego come strumento di ricerca e conoscenza del monumento e della città*”, in «*Archeologia e Calcolatori*», 21, pp. 93–126.

Scardozzi G., Limoncelli M. 2012, “*Il Teatro Nord e le mura proto-bizantine di Hierapolis di Frigia. Dall’indagine topografica alla ricostruzione 2D e 3D*”, in AA.VV., *Uno sguardo extra moenia. Riflessioni su identità culturale e circolazione di idee tra Oriente e Occidente*, Marina di Patti (ME), pp. 185-198.

Scardozzi, G. 2015, “*Hierapolis VII Nuovo Atlante di Hierapolis di Frigia VII: Cartografia archeologica della città e delle necropoli*”. Istanbul: Ege Yayınları.

Semeraro G. 2007a, “*Ricerche archeologiche nel Santuario di Apollo (regio VII) (2001-2003)*” in D’Andria F., Caggia M. P. (a cura di) “*Hierapolis di Frigia I, Le campagne di scavo e restauro 2000-2003*”, pp. 169-209.

Semeraro G. 2007b, “*LANDLAB Project and archaeology online. Web-based systems for the study of settlement patterns and excavations data in classical archaeology*”, *Archeologia e Calcolatori*, 18, pp. 243-254.

Semeraro G. 2008, “*The Sanctuary of Apollo in Hierapolis: a stratigraphical approach to a cult context*” in *Arkeoloji Dergisi XII* (2008, 2), 1. Uluslararası Antik Dönemede Kehanet Apollon’un Anadolu Kültürleri Sempozyum Bildirileri (1st International Symposium on Oracle in Antiquity and the Cult of Apollo in Asia Minor), 17-20th of August 2005, at Ege University, Izmir, pp. 179-190.

Semeraro G. 2009, “*Strumenti per l’analisi dei paesaggi archeologici. Il caso della Messapia ellenistica*” In M. Osanna (a cura di) “*Verso la città, Forme insediative in Lucania e nel mondo italico fra IV e III sec. a.C. Atti delle Giornate di Studio, Venosa, 13-14 maggio 2006*”, Venosa, 2009, pp. 289-306.

Semeraro G. 2011, “*Banche dati, Gis e Web Gis: breve storia delle tecnologie Applicate ai beni archeologici nel laboratorio di informatica per l’archeologia dell’Università del Salento*” in SCIRES-IT. SCientific RESearch and Information Technology. Ricerca Scientifica e Tecnologie dell’Informazione, vol. 1.1, pp. 125-144.

Semeraro G. 2012, “*Ricerche nel Santuario di Apollo*” in D’Andria F., Caggia M. P. e Ismaelli T. (a cura di) “*Hierapolis di Frigia V, Le attività di scavo e restauro 2004-2006*”, Istanbul, 2012, pp. 293-324.

Semeraro G. 2014, “*Archaeology of the cult in the sanctuary of Apollo in Hierapolis*” in Guizzi F. (a cura di) “*Fra il Meandro e il Lico. Archeologia e storia in un paesaggio anatolico. Giornata di Studio Sapienza Università di Roma, 30 marzo 2012. Scienze dell’Antichità 20 Fascicolo 2*” pp. 11-29.

Semeraro G. 2016, “*Ricerche nel Santuario di Apollo (2007-2011)*” in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di) “*Hierapolis di Frigia VIII, Le attività delle campagne di scavo e restauro 2007-2011*”, pp. 191-236.

Semeraro G. 2020, “*Phrygia Hierapolis’i (Pamukkale) 2017-18 Yılı Kazı Ve Restorasyon Çalışmaları*”. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü 40. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu (17-21 Haziran 2019), 203-226. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi.

Semeraro G. 2021, “*Hierapolis of Phrygia 2018–2020: Recent Work and New Perspectives*”, in Sharon R. Steadman and Gregory McMahon (ed. by) “*The Archaeology of Anatolia, Volume IV:*

Recent Discoveries (2018–2020)”, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne, ISBN (10): 1-5275-7601-9, ISBN (13): 978-1-5275-7601-8, pp. 210-228.

Semeraro G. 2024a, “*Hierapolis in Phrygia: new research on the Iron Age, in Phrygia between the East and the West*”, A joint conference of UNIPV and ISAW-NYU, Pavia, Italy – April 7th-9th, 2022, in ANES, Ancient Near Eastern Studies, 61(2024), pp. 541-559 doi: 10.2143/ANES.61.0.3294045.

Semeraro G. 2024b, “*Hierapolis. Nuove ricerche e prospettive future*”, in Rend. Mor. Acc. Lincei s. 9, v. 35, pp. 407-433.

Semeraro G. 2025, “*Phrygia Hierapolis’i (Pamukkale) 2023 Yılı Kazı Ve Restorasyon Çalışmaları*”, in 44. Kazı Sonuçları Toplantısı, 5. Cilt, Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü 44. Uluslararası Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu, 27-31 Mayıs 2024 Nevşehir, Ankara 2025, pp. 31-52. TK: 978-975-17-6176-7, ISBN: 978-975-17-6181-1, T.C. KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI ANA YAYIN NO: 3796/5 Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü Ana Yayın No: 205/5.

Şimşek C. 2000, “*Nuovi scavi nelle Terme-Ginnasio di epoca romana di Hierapolis*” (in italiano e turco), in F. D’Andria, F. Silvestrelli, “*Ricerche archeologiche turche nella valle del Lykos / Lykos Vadisi Türk Arkeoloji Araştırmaları*”, Galatina, pp. 167-192.

Şimşek C. 2014, “*Yılında Laodikeia (2003-2013 yılları)*”, Istanbul 2014, pp. 1-32.

Smith T. 1674, “*Epistolæ quatuor, quarum duæ de moribus ac institutis Turcarum agunt, Duæ Septem Asiae Ecclesiarum et Constantinopoleos Notitiam continent.*” H. H. Academiae Typographum, Oxford.

Sobrà G. 2012, “*The analysis of the fragments from the scaenae frons of the theatre in Hierapolis*”, in Masino, Mighetto, Sobrà 2012, pp. 183-204.

Sobrà G. 2016, “*Nuovi elementi per la conoscenza degli ordini superiori della frontescena del Teatro di Hierapolis*”, in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di) “*Hierapolis di Frigia VIII, Le attività delle campagne di scavo e restauro 2007-2011*”, pp. 155-169.

Sobrà G., Masino F. 2010, “*La frontescena severiana del teatro di Hierapolis di Frigia. Architettura, decorazione e maestranze*”, in Ramallo Asensio-Röring, “*La Scaenae Frons en la arquitectura teatral romana. Actas del symposium internacional celebrado en Cartagena los días 12 al 14 de marzo de 2009 en el Museo del Teatro Romano*”, Murcia, pp. 372-412.

Sobrà G., Masino F. 2014, “*Theatre Buildings of the Early Imperial Age in Asia Minor: Some Dating Elements*”, in KONCANI UHAČ I, Proceedings of the 12th International Colloquium on Roman Provincial Art. The dating of stone monuments and criteria for determination of chronology (Pula, 23. – 28. V. 2011), Zagreb, pp. 173-176.

Spanò A., Bonfanti C., Chiabrando F., Pellegrino M. 2012, “*La fotogrammetria digitale per la descrizione delle strutture architettoniche. Rilievo della forma e delle alterazioni*” in D’Andria F., Caggia M. P., Ismaelli T. (a cura di) “*Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006.*” Istanbul: Ege Yayınları, pp. 162-167.

Spon J., Wheler G. 1724, “*Voyage d’Italie, de Dalmatie, de Grece, et du Levant: Fait aux années 1675 & 1676.*” Rutgert Alberts, The Hague.

Tampucci M., Moroni D. 2021, “*Analisi dei software Agisoft Metashape e 3DF Zephyr per la ricostruzione 3D tramite fotogrammetria*”, Research Report, Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Tenzer M., Pistilli G., Brandsen A., Shenfield A. 2024, “*Debating AI in Archaeology: applications, implications, and ethical considerations*”, Internet Archaeology 67.

Treadgold W. T. 1997, “*A History of the Byzantine State and Society*”, Stanford University Press, pp. 314-319.

Verzone P. 1978, “*Hierapolis di Frigia nei lavori della Missione archeologica italiana*”, in “*Un decennio di ricerche archeologiche I (Quaderni de “La ricerca scientifica”, 100)*”, Roma, 391-475.

Yıldız N. B., Kalpaklı Z., Özkaraca N. 2024, “*Creation of Historical Building Information Modelling (HBIM) Library, A Case Study of Registered House (No:56), Akçakoca*”, Düzce University Journal of Science and Technology, 12(2), pp. 901–914.

Yılmaz H. M., Yakar M., Yıldız F., Yakar A. 2015, “*Documentation of historical buildings by laser scanning and photogrammetry: Case study of Konya*”, *Measurement*, 73, pp. 539–548.

Zaccaria Ruggiu A., Cottica D. 2007, “*Hierapolis di Frigia tra tarda antichità ed XI secolo: l’apporto dello studio degli spazi domestici nell’insula 104*”, in *RdA* 31, 139-189.

Zaccaria Ruggiu A. 2019, “*Le abitazioni dell’insula 104 a Hierapolis di Frigia. Hierapolis di Frigia XII*” *Istanbul*, pp. 25-231.

SITOGRAFIA

ESRI <https://www.esri.com/en-us/home> (consultato il 30 gennaio 2026).

QGIS Development Team – QGIS Geographic Information System <https://qgis.org/it/site/> (consultato il 30 gennaio 2026).

OpenDBL Project <https://www.opendbl.eu/> (consultato il 30 gennaio 2026).

OpenDBL Deliverables <https://www.opendbl.eu/deliverables> (consultato il 30 gennaio 2026).

European Commission – OpenDBL Project Deliverables
<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?appId=PPGMS&documentId=s=080166e506ae964f> (consultato il 30 gennaio 2026).

ICOMOS – Seville Principles. International Principles of Virtual Archaeology
<https://icomos.es/wp-content/uploads/2020/06/Seville-Principles-IN-ES-FR.pdf> (consultato il 30 gennaio 2026).

Wikimedia Commons – Dioecesis Asiana 400 AD
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dioecesis_Asiana_400_AD.png (consultato il 30 gennaio 2026).

Ricerca dottorale finanziata dall'Unione Europea

Next Generation EU

Missione: I.4.1 Borse PNRR Pubblica Amministrazione (Missione 4)

Componente: 1

CUP 351: B53C22007250006