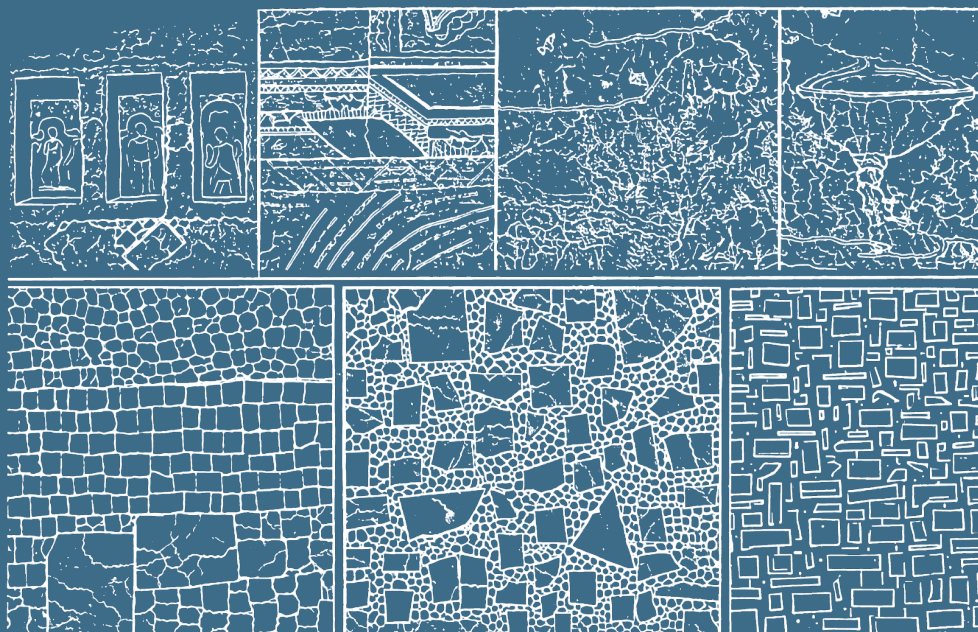


CLIMATE CHANGE E SOSTENIBILITÀ DEI TERRITORI TRA RISCHI AMBIENTALI E ANTROPICI

a cura di
IRENE FANTAPPIÈ e SARA ZUCCARINO



Che cosa significa oggi abitare il pianeta? Questo volume affronta la domanda attraversando saperi e linguaggi diversi: dalle scienze ambientali al diritto, dalla matematica alle scienze sociali, dalla filosofia alla letteratura. Articolato in tre sezioni – cornici etiche, culturali e letterarie; strumenti e governance per la sostenibilità dei territori; ruolo delle università e della ricerca – il volume propone dunque una lettura transdisciplinare del cambiamento climatico come una questione insieme scientifica, politica e simbolica. Al centro, il territorio come luogo di crisi ma anche di sperimentazione, in cui si ridefiniscono le relazioni tra umano, non umano e tecnologia. I saggi indagano sia rischi e trasformazioni del passato e del presente, sia anche le possibilità di risposta: modelli sostenibili, strategie di mitigazione e adattamento, pratiche di coabitazione, nuove forme di consapevolezza. Ne emerge un invito a pensare la transizione ecologica come processo culturale e sociale oltre che tecnico, fondato su responsabilità condivisa e giustizia intergenerazionale.

What does it mean to inhabit the planet today? This volume addresses the question by bringing into dialogue diverse fields of knowledge and forms of expression: from environmental sciences to law, from mathematics to the social sciences, from philosophy to literature. Organized into three sections – ethical, cultural and literary frameworks; tools and governance for the sustainability of territories; and the role of universities and research – the volume offers a transdisciplinary perspective on climate change as at once a scientific, political, and symbolic issue. The territory is conceived as both a site of crisis and a space of experimentation, where relationships between humans, non-humans, and technology are being reconfigured. The essays explore not only risks and transformations, but also possible responses: sustainable models, strategies for mitigation and adaptation, practices of cohabitation, and new forms of awareness. Ultimately, the volume invites readers to rethink ecological transition as a cultural and social process, as well as a technical one, grounded in shared responsibility and intergenerational justice.



Copyright © EUC - 2026
EDIZIONI UNIVERSITÀ DI CASSINO

CENTRO EDITORIALE DI ATENEO
Università degli Studi di Cassino e del Lazio meridionale
Campus universitario – Palazzo degli Studi
Località Folcara – 03043 Cassino (FR), Italia
e-mail: editoria@unicas.it

ISBN **978-88-8317-149-9** per l'edizione digitale

I contenuti della pubblicazione possono essere utilizzati purché se ne citi la fonte e non vengano modificati il senso e il significato dei testi in esso contenuti.

Il CEA, Centro Editoriale di Ateneo, e l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio meridionale non sono in alcun modo responsabili dell'uso che viene effettuato dei testi presenti nel volume, di eventuali modifiche ad essi apportate e delle conseguenze derivanti dal loro utilizzo.



EBOOK

Gli e-book di EUC – Edizioni Università di Cassino sono pubblicati con licenza:
Creative Commons Attribution 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pubblicato in versione digitale su archivi online in *open access* nel mese di luglio 2026.

In copertina una rielaborazione grafica di un collage di immagini raffiguranti alcune decorazioni del Ninfeo Ponari di Cassino. Si ringrazia il dott. Adolfo Panarello per la gentile concessione all'utilizzo.

COLLANA SCIENTIFICA
e-book

CLIMATE CHANGE
E SOSTENIBILITÀ DEI TERRITORI
TRA RISCHI AMBIENTALI E ANTROPICI

a cura di
IRENE FANTAPPIÈ e SARA ZUCCARINO



EDIZIONI UNIVERSITÀ DI CASSINO

Centro Editoriale di Ateneo – Università degli Studi di Cassino e del Lazio meridionale | 2026

Indice

Prefazione

MARCO DELL'ISOLA pag. 7

Introduzione

ALESSANDRA SANNELLA pag. 9

Ringraziamenti

IRENE FANTAPPIÈ, SARA ZUCCARINO pag. 15

PARTE PRIMA

CORNICI ETICHE, CULTURALI E LETTERARIE

Distruggere la natura grave peccato.

Una riflessione sulla Laudato si' a dieci anni di distanza

LUIGI DI SANTO pag. 21

Comunità 'ibride'. Contributi dell'etologia filosofica a nuovi modelli della coabitazione uomo-animali

MARCO CELENTANO pag. 33

Il Ninfeo Ponari di Cassino: rischi e strategie di valorizzazione tra cambiamenti climatici e pressioni antropiche

EUGENIO POLITO, ARTURO GALLOZZI, VINCENZO GRAFFEO,
FRANCESCA PIERDOMINICI pag. 51

Il Decamerone e i sistemi evolutivi complessi

GIULIO DE JORIO FRISARI pag. 77

Antonio Machado ecologista ante litteram

ROBERTA ALVITI pag. 95

La grande cecità / La grande rimozione. (Im)pensabilità e (ir)rappresentabilità del cambiamento climatico nel saggio letterario (Amitav Ghosh) e nel graphic essay (Roberto Grossi)

IRENE FANTAPPIÈ pag. 113

PARTE SECONDA

STRUMENTI, GOVERNANCE E TRAIETTORIE OPERATIVE PER LA SOSTENIBILITÀ DEI TERRITORI

Sostenibilità territoriale, autonomia negoziale e metamorfosi del diritto privato

SARA ZUCCARINO pag. 131

Cambiamento climatico: scenari e prospettive per le aree rurali

GIANLUCA GROSSI, VALENTINA POLSINELLI pag. 151

Tra doveri climatici e pianificazione energetica: la discrezionalità amministrativa alla prova della sostenibilità

JADA DOMANICO pag. 169

Nonlinear Modeling of Vegetation Indices under Climate Variability

ABDULRAHMAN ABDULRAHMAN pag. 187

Verso una democrazia energetica territoriale: il contributo delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) nella lotta alla povertà energetica

EMANUELE MIGLIORELLI pag. 207

PARTE TERZA

RUOLO DELLE UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA NELLA TRANSIZIONE CLIMATICA

La circolarità per la gestione sostenibile delle batterie agli ioni di litio: analisi biometrica e contenutistica della letteratura manageriale

VINCENZO FORMISANO, MARIA FEDELE,
GRAZIA MARIA ALESSANDRA LENA, SARA FULLAFI pag. 231

The University and the Need for Bifurcation for Sustainable Futures

PAUL HAYES, JAN C. SCHMIDT, ESTER TORIBIO-ROURA,
CERI ALMROT, NOEL FITZPATRICK, ALESSANDRA SANNELLA pag. 267

Raising Awareness on Climate Change Among University Students: an Enterprising Journey

SIMONA BALZANO, MARCELLO DE ROSA, DEIRDRE MCQUILLAN pag. 315

Il Ninfeo Ponari di Cassino: rischi e strategie di valorizzazione tra cambiamenti climatici e pressioni antropiche

EUGENIO POLITO*, ARTURO GALLOZZI**
VINCENZO GRAFFEO***, FRANCESCA PIERDOMINICI***

*Università degli Studi Roma Tre

**Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

***DTC Lazio – Distretto Tecnologico Beni e Attività Culturali, Centro di Eccellenza

Riassunto: Il Ninfeo Ponari di Cassino rappresenta un esempio significativo di architettura residenziale romana tra tarda età repubblicana e prima età imperiale, interpretato oggi come *coenatio* estiva di una *domus* terrazzata inserita nel sistema urbano di *Casinum*. Il contributo presenta i risultati delle indagini archeologiche più recenti, condotte nell'ambito del progetto CHANGES. Particolare attenzione è dedicata al rilievo digitale integrato realizzato nel 2024, che ha prodotto un *Digital Twin* tridimensionale e un *virtual tour*. Le collaborazioni interdisciplinari con il CNR di Lecce (georadar), l'ENEA di Frascati (monitoraggio SHM) e il LAPS UNICAS (analisi numerica) configurano un approccio multidisciplinare alla conservazione preventiva del patrimonio archeologico.

Parole chiave: Ninfeo Ponari, rilievo digitale integrato, *digital twin*, conservazione preventiva.

Abstract: The Ninfeo Ponari in Cassino represents a significant example of Roman residential architecture between the late Republican and early Imperial periods, currently interpreted as a summer *coenatio* of a terraced *domus* integrated into the urban system of *Casinum*. This contribution presents the results of recent investigations as part of the CHANGES project. Particular attention is devoted to the integrated digital survey carried out in 2024 which produced a three-dimensional Digital Twin and a virtual tour. Interdisciplinary collaborations with CNR Lecce (ground-penetrating radar), ENEA Frascati (SHM monitoring) and LAPS UNICAS (numerical analysis) establish a multidisciplinary approach to preventive conservation of archaeological heritage.

Keywords: Ninfeo Ponari, Integrated Digital Survey, Digital Twin, Preventive Conservation.

1. Introduzione

Il complesso noto come Ninfeo Ponari di Cassino costituisce uno degli esempi più significativi di architettura residenziale romana nel Lazio meridionale tra tarda età repubblicana e prima età imperiale (I sec. a.C. – II sec. d.C.) (fig. 1).

Figura 1 – Vista zenitale da drone dell'area del Ninfeo Ponari.



Noto nella letteratura come ninfeo isolato, legato a giochi d'acqua e a una decorazione musiva di tipo rustico, il monumento è oggi interpretato come la porzione di una ricca *domus* terrazzata affacciata sul fronte urbano di

Casinum, all'interno della quale l'ambiente voltato e gli spazi annessi svolgevano la funzione di *coenatio* estiva di rappresentanza.

Il presente contributo illustra i risultati delle indagini e la documentazione digitale integrata realizzata a partire dal 2024 nell'ambito del progetto CHANGES (*Cultural Heritage Active Innovation for Next Gen Sustainable Society*), Spoke 7. L'approccio multidisciplinare adottato integra analisi archeologiche, tecniche di rilievo digitale avanzate e sistemi di monitoraggio strutturale, configurandosi come modello di conservazione preventiva per il patrimonio archeologico.

2. Attività di ricerca recenti: il programma CHANGES e le nuove indagini integrate

Dal 2024 il sito è entrato nel programma CHANGES (*Cultural Heritage Active Innovation for Next Gen Sustainable Society*), Spoke 7, un progetto nazionale finanziato dal PNRR che si occupa di innovazione tecnologica applicata ai beni culturali.

Figura 2 – Sezione trasversale del Ninfeo (elaborazione della scansione laser).



Il gruppo di lavoro comprende ricercatori dell'Università di Cassino, la Soprintendenza e partner come ENEA e il laboratorio CRITEVAT della Sapienza. Le attività svolte tra luglio 2024 e agosto 2025 hanno incluso incontri

di inquadramento storico-archeologico, ricognizioni *in situ* con particolare attenzione alla volta a botte, al mosaico policromo e alle decorazioni murarie, analisi archivistiche e bibliografiche, nonché una campagna integrata di rilievo che ha combinato scansioni laser (fig. 2), fotogrammetria terrestre e riprese da drone.

Sul piano archeologico, questo lavoro ha avuto una duplice valenza. Da un lato, ha permesso di aggiornare e verificare la pianta e le sezioni alla luce delle più recenti acquisizioni, chiarendo rapporti planimetrici fra atrio, ambiente voltato e ambienti antistanti. Dall'altro, l'integrazione dei dati in un sistema informativo geografico web (WebGIS) e in un modello tridimensionale ha reso possibile una nuova lettura spaziale del Ninfeo come parte della *domus* e, al tempo stesso, come tassello di un più ampio mosaico urbano, in dialogo con il teatro, l'anfiteatro e gli altri monumenti di *Casinum* (fig. 3).

Figura 3 – Il Ninfeo nell'area archeologica dell'antica *Casinum*.

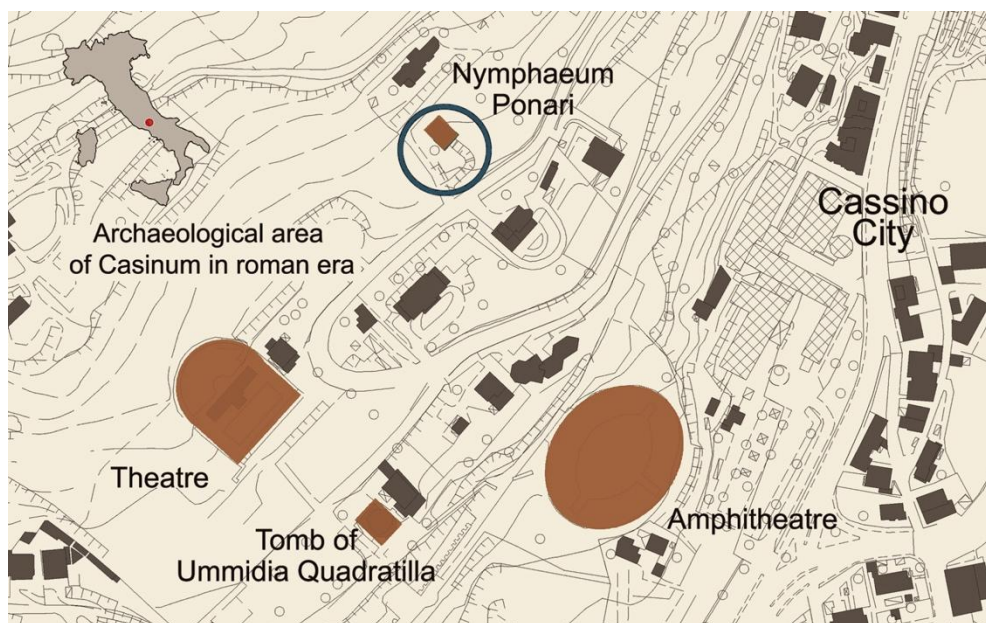


Figura 4 – Particolari delle decorazioni parietali e dei pavimenti.



In questo contesto si collocano anche le attività specificamente concentrate sulle decorazioni pavimentali e parietali, che comprendono la raccolta e l'analisi sistematica dei dati di superficie, il confronto con la documentazione d'archivio e la preparazione di saggi mirati, come quello condotto nel 2025 sul pavimento policromo dell'ambiente voltato (fig. 4).

3. Il saggio esplorativo nel pavimento policromo (2025)

3.1 Obiettivi e metodologia dell'intervento

Nel 2025 è stato realizzato un saggio esplorativo di 30 × 30 centimetri nel pavimento a mosaico con inserti lapidei policromi dell'ambiente voltato, con l'obiettivo specifico di analizzare la stratigrafia costruttiva e la tecnica di posa del mosaico. L'intervento, condotto con tecniche mininvasive, ha rappresentato un passaggio fondamentale per comprendere non solo le modalità di realizzazione del pavimento, ma anche le strategie di gestione dell'umidità e della statica in un ambiente strettamente connesso all'acqua.

Il saggio è stato preceduto da una documentazione fotografica e da un rilievo grafico della superficie, in modo da registrare con precisione lo stato di conservazione del tappeto musivo. Lo scavo è proceduto per strati, con

rimozione e descrizione dei livelli sottostanti, secondo i principi della stratigrafia archeologica.

3.2 La sequenza stratigrafica e le tecniche costruttive

La stratigrafia rilevata ha evidenziato una successione coerente con la prassi dell'edilizia romana. Al di sopra si trova il livello delle tessere marmoree, allettate in uno strato di malta di calce e pozzolana di colore grigio chiaro, spesso in media pochi centimetri. Subito sotto si sviluppa un poderoso strato di cocciopesto, spesso circa quindici centimetri, con matrice rosso-arancione e inclusi di laterizio frantumato e sabbie grossolane. Questo livello svolge funzioni sia statiche sia impermeabilizzanti, dimostrando l'attenzione a creare un supporto resistente e idraulicamente efficiente per il pavimento. Segue un livello di pietrame immerso in terra giallastra, composto da ciottoli e frammenti calcarei di medie e grandi dimensioni, con funzione di massicciata drenante e di consolidamento del piano. In profondità si raggiunge, infine, uno strato di terra marrone, interpretabile come deposito naturale o come riporto antico di preparazione, privo di elementi strutturali significativi nel settore saggiato (fig. 5).

Figura 5 – Ubicazione del saggio e caratteristiche stratigrafiche della pavimentazione.



Il saggio di scavo, pur nelle sue limitate dimensioni, ha evidenziato come la presenza di uno spesso cocciopesto, associato a una massicciata di pietrame, sia perfettamente coerente con la natura del Ninfeo come ambiente potenzialmente umido progressivamente trasformatosi in *coenatio*. L'attenzione alla durabilità e all'isolamento del piano pavimentale, unita alla raffinatezza del tappeto musivo superficiale, si traduce in un sistema costruttivo progettato per garantire al contempo stabilità strutturale, efficienza idraulica e prestigio estetico.

4. Il rilievo integrato del Ninfeo Ponari

4.1 Criticità geologiche e condizioni di stabilità

Dal punto di vista geologico, il terreno su cui sorge il sito presenta due strati litologici distinti: lo strato inferiore costituito da terre rosse compatte e quello più superficiale da terre di riporto. La struttura risulta immersa per un terzo nelle terre rosse compatte con elevata resistenza meccanica e per i restanti due terzi nella terra di riporto. L'assenza di falde acquifere contribuisce a rendere l'area stabile e priva di scivolamenti; tuttavia, il sito ricade in Zona Sismica 2A, con pericolosità sismica media, in un contesto caratterizzato da prolungata attività di scorrimento su pendio collinare.

Le operazioni di scavo archeologico, accompagnate da analisi geologiche, mineralogiche-spettrografiche e termografiche, hanno evidenziato una profonda lesione orizzontale, a quota circa 2,50 m dal pavimento, che attraversa tutte le murature del vano. Questa lesione coincide in buona parte con il punto di contatto fra le terre rosse compatte e le terre di riporto (fig. 6).

Figura 6 – Una delle principali lesioni in corrispondenza del piano di imposta della volta.



4.2 Criticità conservative attuali

L'attuale configurazione del sito archeologico presenta criticità conservative derivanti dalla disposizione e dalla copertura artificiale della struttura. L'assenza di isolamento dal fianco della collina determina una costante pressione sulla struttura, non più controbilanciata dal riempimento degli interni, ora rimosso. Le pareti rimangono a diretto contatto con il terreno, favorendo

l'infiltrazione di umidità in assenza di un sistema di drenaggio efficiente a monte della struttura. Le coperture moderne si sono rivelate di larghezza insufficiente, limitandosi a coprire la maggior parte della struttura antica e incanalando parte dello scarico dell'acqua piovana verso l'esterno delle pareti. Le superfici di pittura e mosaico sono interessate da gravi fenomeni di distacco e degrado.

Sul manufatto sono stati realizzati interventi di restauro strutturale: consolidamento della volta a botte di copertura e sostegno della parete nord-orientale dell'*impluvium* con elementi di sottofondazione e strutture a monte della parete. Tra luglio e ottobre 2024, su commissione e sotto la supervisione della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Frosinone e Latina, la società Lithos Restauri ha condotto un intervento di pulitura e restauro degli apparati decorativi (fig. 7).

Figura 7 – Interventi di restauro – Società Lithos Restauri Srl, Venezia. Posizionamento garze, pulitura con Wishub, rimozione sali, stesura biocida.



L'intervento ha restituito vividezza agli intonaci affrescati e alla pavimentazione in mosaico policromo, fornendo l'occasione per effettuare il rilievo digitale integrato del sito il 20 ottobre 2024.

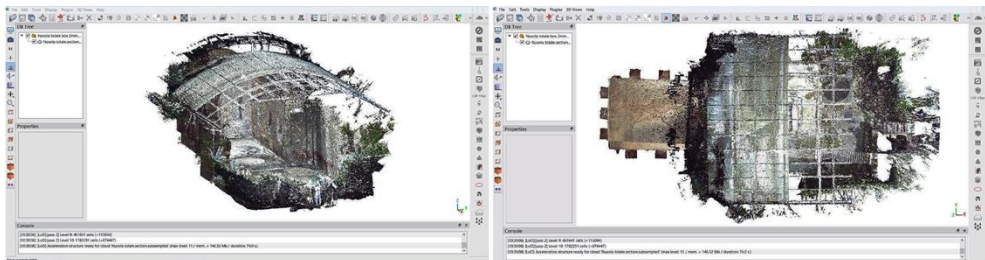
5. Metodologia del rilievo integrato

Il progetto di documentazione digitale si è basato sull'integrazione di tre metodologie distinte: topografica, scansione laser e fotogrammetrica. La campagna di rilievo, condotta in collaborazione con il prof. Leonardo Paris (Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università di Roma 'La Sapienza'), ha impiegato laser scanner CAM2 Focus3D X 130, fotocamera Canon Eos 450D per panorami equirettangolari e drone Parrot ANAFI per riprese aeree. Il progetto è stato impostato con coordinate locali, mantenendo la possibilità di georeferenziazione successiva.

5.1 Acquisizione dei dati

Le acquisizioni hanno integrato 8 scansioni laser con 6 panorami sferici ad alta risoluzione, utilizzando la tecnica *High Dynamic Range* (HDR) per compensare le variazioni di esposizione luminosa. Questa tecnica risulta essenziale per documentare anche le tracce stratigrafiche più tenui presenti sulle pareti, garantendo la leggibilità di superfici sia in ombra che fortemente illuminate. La nuvola di punti inizialmente registrata, composta da 238 milioni di punti, è stata ridotta a 88 milioni mediante l'applicazione di un filtro con distanza di 2 mm tra punti consecutivi nel software *CloudCompare*, ottimizzando così il rapporto tra qualità della rappresentazione e gestibilità del modello digitale. Per la ricostruzione della superficie poligonale continua a partire dai punti discreti è stato adottato l'algoritmo di Poisson, che consente di generare una *mesh* priva di discontinuità (fig. 8).

Figura 8 – Nuvole di punti in ambiente Cloud Compare.



5.2 Elaborazione fotogrammetrica *Structure From Motion*

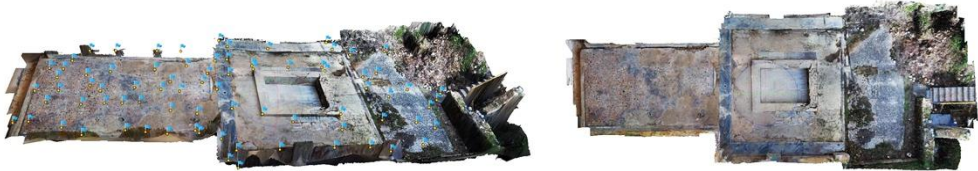
Il modello tridimensionale è stato elaborato secondo il procedimento *Structure from Motion* (SfM), una tecnica fotogrammetrica che ricostruisce la geometria tridimensionale degli oggetti a partire da sequenze di fotografie bidimensionali, attraverso cinque fasi concatenate. La nuvola di punti è stata preliminarmente suddivisa per componenti architettonici (Ninfeo, *impluvium*, atrio, arco di ingresso) e correlata alle ortofoto mediante *marker* di riferimento comuni, ovvero punti identificabili sia nella nuvola laser che nelle fotografie aeree (fig. 9). L'allineamento delle foto nel software *Agisoft Metashape* ha richiesto la verifica dell'omogeneità dei dati GPS acquisiti dal drone e l'ottimizzazione delle posizioni delle camere nello spazio tridimensionale.

Figura 9 – Nuvola ‘sparsa’ da allineamento delle foto e nuvola con i marker assegnati.



La nuvola densa risultante da questo processo, scalata e orientata coerentemente con la nuvola laser di riferimento, presenta uno scarto di errore compreso tra 2 e 5 cm, considerato accettabile date le dimensioni contenute del sito archeologico. L’elaborazione della *mesh* poligonale ha incluso l’informazione cromatica associata ai vertici, producendo un modello altamente dettagliato visualizzabile in modalità *shaded*, che simula l’effetto di ombre e luci sulla superficie (fig. 10).

Figura 10 – Modello *mesh* in modalità *shaded* e *mesh* texturizzata delle pavimentazioni.



La *texture* finale, ovvero l’immagine fotografica applicata sulla superficie tridimensionale, è stata realizzata mediante tecnica UV mapping e ha richiesto una regolazione dei parametri di luminosità e contrasto per compensare le disomogeneità di esposizione tra la volta, più scura, e le pareti laterali del Ninfeo.

6. Ricomposizione del modello e output finale

Le singole porzioni tridimensionali texturizzate (*mesh* con applicazione della *texture* fotografica) sono state esportate in formato OBJ, uno standard per modelli tridimensionali, corredate dei parametri relativi al colore dei vertici e delle *texture* in formato JPEG. Per la gestione efficiente del modello e le operazioni di *post-processing* è stato necessario bilanciare la definizione visiva con il peso computazionale del file. L'ottimizzazione è stata ottenuta suddividendo ciascuna *texture* in più mattonelle di risoluzione inferiore, calcolando la risoluzione di ogni mattonella dividendo la risoluzione complessiva desiderata per il numero di mattonelle necessarie (tecnica nota come *Tile-based texture mapping*).

Figura 11 – Modello digitale 3D del Ninfeo in ambiente Rhino.



I file così ottimizzati sono stati importati nel software di modellazione tridimensionale *Rhinoceros* (Rhino), dove le singole porzioni si sono automaticamente ricomposte nello spazio in base alle coordinate locali

precedentemente attribuite, generando il modello tridimensionale completo del Ninfeo Ponari (fig. 11).

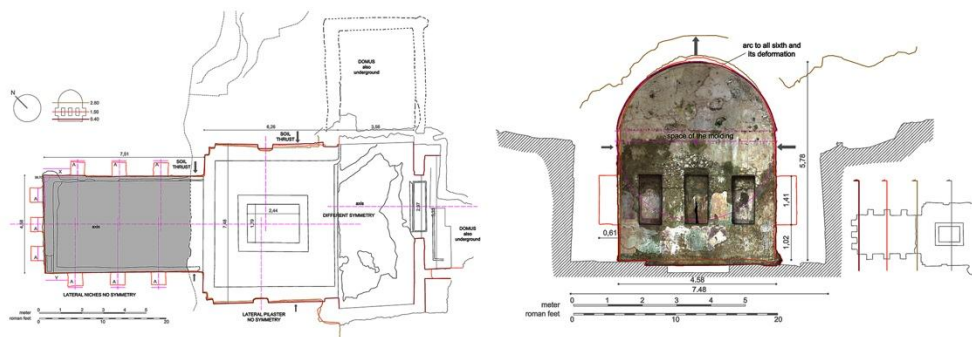
Questo passaggio costituisce anche una verifica della precisione geometrica raggiunta: la corretta ricomposizione conferma che le singole nuvole dense sono state scalate e georeferenziate ai *markers* con sufficiente accuratezza. L'impostazione di camere virtuali in Rhino consente di estrarre viste prospettiche, sezioni e rappresentazioni del *digital twin* utili sia per la comunicazione scientifica e divulgativa che per l'analisi metrica e morfologica del manufatto archeologico.

6.1 Elaborazioni grafiche e analisi geometrica

Il modello tridimensionale strutturato può essere utilizzato nelle indagini sulla forma e sulla geometria, estraendo informazioni specifiche quali sezioni orizzontali o verticali per le elaborazioni grafiche bidimensionali. Attraverso le piante e le sezioni è possibile documentare l'intera area già scavata e quella piccola parte della *domus* solo parzialmente indagata.

Le elaborazioni del piano e della sezione permettono di evidenziare alcune particolarità del manufatto, tra cui il diverso asse di simmetria tra il Ninfeo e la parte della *domus* ancora visibile. Le nicchie presentano le stesse dimensioni in altezza e larghezza, ma non risulta simmetria sulle due pareti longitudinali. Anche nello spazio aperto dove è collocato l'*impluvium* sono presenti due lesene non perfettamente allineate. La sovrapposizione delle sezioni orizzontali evidenzia la deformazione subita dall'intera struttura, in gran parte attribuibile alla spinta laterale del terreno (fig. 12).

Figura 12 – Analisi grafica a partire dal modello 3D, sezioni orizzontali e verticali.



7. *Digital Twin 2.5D e virtual tour*

7.1 Finalità e struttura del *virtual tour*

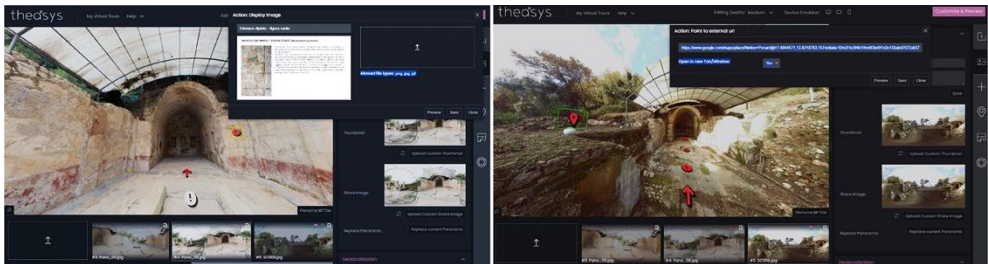
Il *Digital Twin 2.5D* è stato concepito con finalità prevalentemente documentative e divulgative. I dati raccolti sono stati organizzati in schede informative fruibili attraverso un *virtual tour* basato su modello 2.5D, costruito componendo panorami sferici a 360 gradi elaborati dalle foto equirettangolari acquisite durante la campagna di rilievo (fig. 13).

Figura 13 – Alcuni *screenshot* del *virtual tour*.



Ai panorami sferici sono stati collegati due tipi di *hotspot* (fig. 14): *hotspot* statici (foto e schede informative del sito) e *hotspot* dinamici (link a siti web, video che illustrano le modalità operative delle indagini georadar e del sistema di monitoraggio strutturale).

Figura 14 – Esempi di *hotspot* statico e dinamico in ambiente virtuale Theasys.



Il visitatore, preferibilmente munito di dispositivi ottici di realtà virtuale, potrà esplorare lo spazio virtuale e interrogare il modello nei punti di interesse segnalati. Per la realizzazione del *virtual tour* è stato utilizzato il servizio *open source* Theasys, con l'obiettivo finale di installare una stazione multimediale all'interno del Museo Archeologico Nazionale 'G. Carettoni' ubicato nell'area archeologica di *Casinum*. L'interfaccia di comunicazione, testata in via sperimentale, si basa su un *tour* virtuale costituito da quattro viste sferiche

che consentono di navigare all'interno dei resti del Ninfeo, ruotando la vista a 360° con modalità di interazione semplici e intuitive (fig. 15).

Figura 15 – Proposta di installazione multimediale nel Museo 'G. Carettoni'.



Le viste sferiche presentano una serie di collegamenti attraverso i quali è possibile attivare percorsi di conoscenza più approfonditi (dettagli, documentazione storica, confronto con altri ninfei), diversificando la comunicazione in relazione all'utente. Particolare cura è stata dedicata all'integrazione della componente visiva con quella della voce narrante, il che ha reso il messaggio vocale più efficace del messaggio scritto in questo tipo di esperienze comunicative.

7.2 Efficacia comunicativa e accessibilità

Le modalità di comunicazione dei beni culturali possono essere diversificate grazie alla diffusione della tecnologia digitale. Tuttavia, ogni contesto evidenzia specificità su cui alcune applicazioni possono avere efficacia comunicativa differenziata. I *tour* virtuali possono essere utilizzati su dispositivi fissi o mobili, con modalità di comunicazione *off-site* o *in loco*. L'efficacia della comunicazione risulta maggiore nel caso di procedure *in loco*, a diretto contatto con il patrimonio culturale, eliminando la perdita di qualità visiva dovuta a limitazioni tecniche dei dispositivi mobili.

Nell'ambito di contesti di forte valore spaziale, risulta particolarmente importante il livello di libertà di movimento all'interno dello spazio virtuale. Nei *tour* virtuali basati su foto panoramiche sferiche, l'esplorazione dello spazio è puntuale, da punti di vista predefiniti, mentre nei *tour* virtuali basati su modelli tridimensionali è possibile interagire più liberamente con il modello virtuale ottenendo un maggiore impatto comunicativo. La qualità dell'esperienza dipende dal livello di accuratezza del modello, dall'immersione

sensoriale, dalla funzionalità e dalla semplicità degli strumenti di navigazione. Poiché, attualmente, il Ninfeo si trova al di fuori del tradizionale circuito di visite in quanto ancora oggetto di attività di studio e conservazione, la lavorazione dei modelli rappresenta un'opportunità concreta, per i visitatori dell'area archeologica, di conoscere un luogo attualmente inaccessibile, particolarmente interessante non solo per lo stato di conservazione del contesto spaziale ma anche per la raffinatezza di alcuni dettagli decorativi, in gran parte ben conservati nelle loro caratteristiche originali.

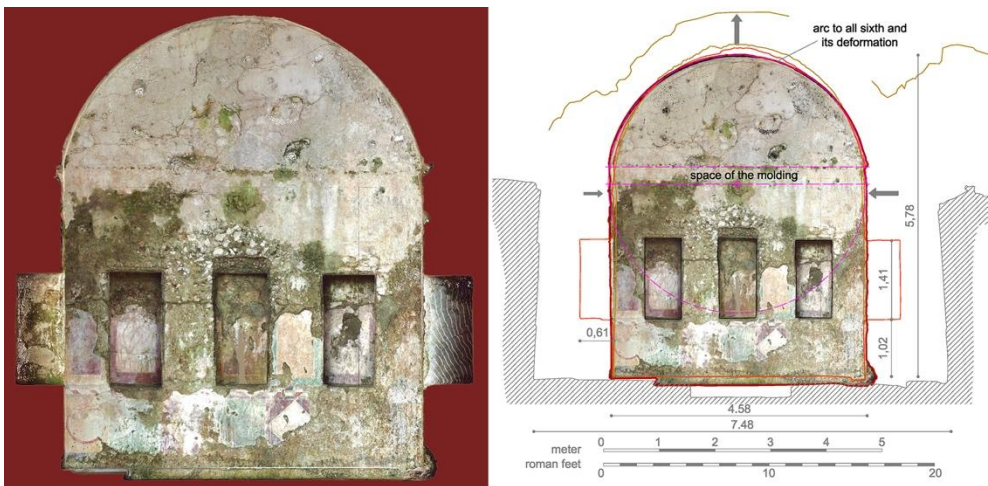
8. Altri output del rilievo integrato

8.1 Ortomosaico e restituzione fotogrammetrica

La restituzione piana dei prospetti e della pianta consente di documentare dettagliatamente lo stato di conservazione del manufatto.

In ambiente software fotogrammetrico, la restituzione si ottiene impostando la proiezione planare, che trasforma la superficie tridimensionale in un'immagine bidimensionale metricamente corretta (fig. 16), e attivando il parametro *enable hole filling* (riempimento automatico dei vuoti), che per interpolazione chiude eventuali lacune presenti nella *texture* fotografica.

Figura 16 – Ortomosaico e restituzione grafica della parete di fondo dell'ambiente voltato.



Si ottengono così immagini ad alta definizione che riproducono fedelmente gli elementi del sito con precisione metrica, utilizzabili sia per l'analisi scientifica che per la documentazione grafica.

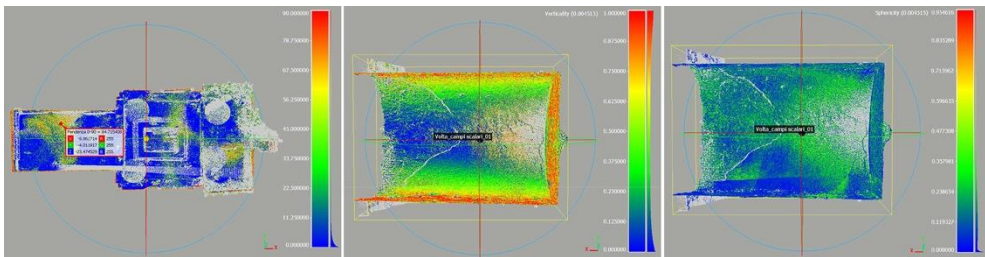
Altre elaborazioni effettuate direttamente dalla nuvola di punti, quali le mappe di elevazione (rappresentazioni che utilizzano scale cromatiche per visualizzare le quote altimetriche), permettono di evidenziare dettagli non percepibili ad occhio nudo, come le differenze di altitudine tra le varie parti che compongono il pavimento, rivelando cedimenti o sopraelevazioni anche di pochi centimetri.

8.2 Analisi mediante campi scalari

Ai fini dell'indagine sullo stato di conservazione, sono state effettuate analisi della nuvola di punti attraverso gli *Scalar Fields* (campi scalari) all'interno del software *CloudCompare*. Questa funzionalità consente di attribuire ad ogni punto della nuvola un valore numerico relativo a una specifica proprietà geometrica, visualizzato mediante scale cromatiche che facilitano l'individuazione di anomalie o deformazioni.

L'analisi della pavimentazione mediante lo *scalar field* 'verticalità' ha evidenziato le aree che hanno subito modifiche nella giacitura originaria, identificando zone di innalzamento o depressione rispetto al piano teorico (fig. 17).

Figura 17 – Analisi *Scalar Field* delle giaciture verticali dei punti della pavimentazione e valutazione dei parametri di 'verticalità' e 'sfericità' della nuvola di punti della volta.

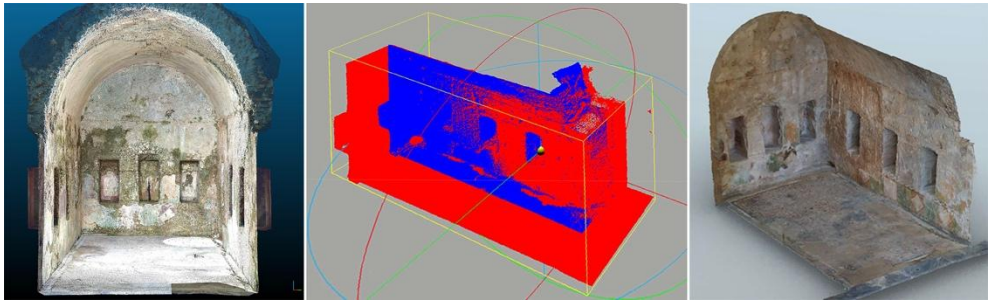


Lo stesso tipo di indagine applicato alla volta ha restituito le aree soggette a ribassamento, particolarmente evidenti in prossimità dell'arco di ingresso. Per la volta è stata inoltre effettuata la verifica mediante lo *scalar field* 'sfericità', che misura lo scostamento della superficie attuale dalla geometria ideale della volta a botte, evidenziando le deformazioni accumulate nel tempo.

Le sezioni trasversali estratte dal modello permettono di verificare la corrispondenza tra la geometria attuale e quella teorica dell'arco a tutti i sesti (ovvero le sezioni verticali trasversali) della volta a botte, rivelando la deviazione verso l'alto della parte più esterna della superficie intradossale in conseguenza della spinta laterale esercitata dalle due pareti portanti sul terreno circostante. Dalla nuvola di punti sono state inoltre estratte sezioni orizzontali e verticali per riprodurre pianta e alzati del manufatto in formato CAD, ricavando sia i dati dimensionali precisi che le deformazioni geometriche subite dalle strutture murarie nel corso del tempo.

Basandosi sugli indici di appartenenza alle nuvole originarie (*original cloud indexes*), è stato effettuato l'allineamento tra la nuvola di punti acquisita nel 2024 e quella precedentemente rilevata nel 2015, al fine di analizzare i movimenti della struttura in un arco temporale di nove anni. Attraverso la visualizzazione differenziale delle due nuvole è possibile confrontare le variazioni di giacitura delle strutture murarie e quantificare gli spostamenti, tenendo conto dello scarto di errore strumentale di alcuni millimetri insito in ciascuna campagna di rilievo (fig. 18).

Figura 18 – Allineamento e confronto differenziale tra la nuvola di punti del 2015 (rosso) e quella del 2024 (blu), basato sugli *original cloud indexes*, per l'analisi delle variazioni di giacitura e la quantificazione degli spostamenti della struttura nel periodo di nove anni.



9. Interoperabilità e collaborazioni interdisciplinari

Il progetto si fonda sul principio dell'interoperabilità dei dati e delle competenze, riconoscendo che la complessità delle problematiche conservative richiede un approccio integrato che superi i confini disciplinari tradizionali. Il monitoraggio continuo delle strutture costituisce uno strumento fondamentale di protezione dai rischi naturali e antropici, permettendo di anticipare situazioni di criticità attraverso l'individuazione tempestiva di variazioni nei parametri geometrici e strutturali.

La conservazione preventiva è perseguita attraverso un approccio multidisciplinare che integra competenze archeologiche, ingegneristiche, geofisiche e tecnologiche. Questa strategia si concretizza nell'attivazione di collaborazioni con enti di ricerca specializzati, ciascuno dei quali contribuisce, con specifiche *expertise*, alla costruzione di un quadro conoscitivo completo e alla definizione di strategie conservative appropriate.

L'integrazione di dati provenienti da fonti diverse – indagini archeologiche, rilievi digitali, analisi geofisiche, monitoraggio strutturale – consente di sviluppare modelli interpretativi robusti, in grado di supportare decisioni informate relative agli interventi di tutela. Tale approccio sistemico si configura come paradigma replicabile su altri contesti del patrimonio archeologico.

9.1 Indagine geofisica del CNR di Lecce

La collaborazione con il CNR di Lecce – Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC), coordinata dal dott. Gianni Leucci con la dott.ssa Dora Francesca Barbolla, il dott. Ivan Ferrari e il dott. Francesco Giuri, ha prodotto dati significativi sullo stato di conservazione interno delle strutture murarie.

La campagna di indagini georadar si è svolta nei giorni 10 e 11 aprile 2025, con l'obiettivo di determinare la consistenza e l'estensione delle lesioni strutturali, definire con precisione lo spessore delle murature di imposta della volta, verificare la presenza di tubature e condotte d'acqua storiche ed eventuali cavità o vani sepolti.

Le indagini sono state condotte con apparecchiature georadar (*Ground Penetrating Radar*, GPR) in dotazione al Laboratorio di Geofisica Applicata ai Beni Archeologici e Monumentali del CNR-ISPC di Lecce. È stato impiegato il sistema GPR Impulsato Hi Mod (prodotto da IDS) equipaggiato con

antenne a diverse frequenze – 200 MHz, 600 MHz, 900 MHz e 2000 MHz – per l'area interna del Ninfeo. Ciascuna frequenza consente di investigare a profondità differenti: le frequenze più basse (200 MHz) penetrano più in profondità ma con minor risoluzione, mentre quelle più alte (2000 MHz) offrono maggior dettaglio ma penetrazione limitata. La tecnica georadar, completamente non invasiva e non distruttiva, si basa sull'emissione di impulsi elettromagnetici che, riflettendosi sulle discontinuità presenti nel sottosuolo o all'interno delle strutture murarie, consentono l'individuazione di anomalie a diversa profondità (fig. 19).

Figura 19 – Operazioni di indagini geofisiche – CNR-ISPC. Laboratorio di Geofisica Applicata ai Beni Archeologici e Monumentali di Lecce.



L'elaborazione dei dati acquisiti è stata realizzata mediante il *software* specializzato GPRSLICE, che consente di visualizzare le informazioni in sezioni bidimensionali e volumi tridimensionali. La natura non invasiva delle indagini ha permesso di ottenere informazioni dettagliate sulla struttura interna delle murature senza causare alcun danneggiamento o compromissione della stabilità, realizzando una sorta di TAC del monumento che ha reso possibile identificare con precisione lo stato di degrado delle murature anche nelle porzioni non visibili dall'esterno.

Dall'elaborazione dei dati sono emersi risultati di notevole rilevanza per la comprensione dello stato conservativo. Per le pareti interne del Ninfeo, è stato evidenziato un grado di fessurazione avanzato che interessa l'intero spessore del setto murario, pari a circa 1,4 m. Le indagini hanno rilevato, oltre alle fratture superficiali direttamente visibili, un esteso sistema di fratture interne alla muratura con aperture dell'ordine di pochi millimetri, non percepibili dall'esterno ma potenzialmente pericolose per la stabilità complessiva. Lo spessore delle murature di sostegno della volta, misurato dall'esterno, risulta

pari a 1,4 m, riducendosi a 1,33 m se si esclude lo strato di intonaco affresco, il cui spessore medio si attesta tra 7 e 8 cm.

L'analisi attraverso le *depth slices* (sezioni orizzontali a quote progressive di profondità) ha evidenziato una distribuzione significativa del grado di fratturazione, che interessa la muratura in tutta la sua sezione. La visualizzazione tridimensionale tramite le 'isosuperfici di ampiezza' (superfici che collegano punti con uguale intensità del segnale riflesso) consente di individuare spazialmente le anomalie riferibili alle fratture, restituendo una mappatura tridimensionale completa del quadro fessurativo (fig. 20).

Figura 20 – 'Scavo virtuale', rappresentazione del quadro fessurativo 3D sulle pareti.



Le fessure rilevate, verosimilmente originate da fenomeni di umidità e infiltrazioni d'acqua nel corso dei secoli, presentano aperture dell'ordine di millimetri ma costituiscono elementi di criticità per la stabilità futura del manufatto. L'esposizione continua agli eventi atmosferici potrebbe infatti portare a un progressivo aggravamento dello stato fessurativo attraverso il cosiddetto 'ciclo di gelo-disgelo': l'acqua che penetra nelle fessure durante le precipitazioni può congelarsi nei periodi invernali, aumentando di volume (circa il 9%) e esercitando una pressione sulle pareti della frattura. Questo meccanismo, ripetendosi ciclicamente stagione dopo stagione, provoca un graduale allargamento delle fessure con conseguente aggravamento delle condizioni di stabilità delle pareti e potenziale rischio di distacco di porzioni murarie.

Sotto il pavimento del Ninfeo, in corrispondenza dell'arco d'ingresso, è stata rilevata una probabile condotta d'acqua che intercetta più tubazioni. Mentre sotto il pavimento dell'*impluvium* sono stati rilevati vuoti riconducibili al passaggio di tubazioni idriche e, al di sotto della vasca centrale, un vuoto corrispondente probabilmente a una cisterna. Nell'area esterna, in adiacenza alla parete sud-ovest dell'*impluvium*, è stata rilevata la presenza di strutture murarie a 0,50 m di profondità, probabilmente vani interrati (fig. 21). Nell'area esterna, in corrispondenza del percorso verso il cancello di ingresso,

è stata individuata una tubazione probabilmente collegata al canale che scari-cava le acque reflue, ancora oggi leggibile nel muro di cinta sull'attuale via Montecassino.

Figura 21 – ‘Scavo virtuale’ a circa 2.2 mt di profondità dell'area esterna al Ninfeo, la visualizzazione 3D mette in evidenza la probabile presenza di strutture murarie interrate.



9.2 Monitoraggio strutturale da remoto dell'ENEA – Centro Ricerche Frascati.

È in corso una collaborazione col Centro Ricerche ENEA di Frascati (dott. Michele Arturo Caponero, dott. Davide Vicca) per l'implementazione di un sistema integrato di monitoraggio strutturale da remoto. L'infrastruttura, composta da sensori e mire di riferimento installati nel 2020, è stata riattivata il 16 luglio 2025 e dal mese di novembre è operativo il monitoraggio strutturale continuo.

Il sistema di *Structural Health Monitoring* (SHM, monitoraggio della salute strutturale) integra tre tecnologie complementari: *Structure from Motion* (SfM) per l'analisi fotografica dell'evoluzione delle fessure; rilievo robotizzato mediante stazione totale per misurazioni di alta precisione; *crackmetri* a fibra ottica per il controllo continuo delle deformazioni.

Il rilievo robotizzato viene effettuato con stazione totale Leica Nova TM50, caratterizzata da precisione angolare di 0,5 secondi d'arco e precisione della

distanza di 2 mm. Sono stati posizionati 9 obiettivi riflettenti su pareti e volta. La nuvola di punti acquisita viene elaborata per generare una *mesh* tridimensionale che, una volta filtrata dalle irregolarità locali minori, evidenzia le macrodeformazioni della struttura.

I *crackmetri* basati sulla tecnologia *Fiber Bragg Grating* (FBG, sensori a fibra ottica) monitorano continuamente le fessure più significative. Questi sensori, sviluppati presso il Centro Ricerche ENEA di Frascati, incorporano un sistema di compensazione termica: ciascun *crackmetro* contiene due sensori FBG, uno che rileva sia temperatura che deformazione, l'altro solo temperatura. La misurazione differenziale dei due segnali consente di isolare la deformazione meccanica dagli effetti termici. Le prime acquisizioni hanno evidenziato un ciclo circadiano (giornaliero) di apertura e chiusura delle fessure, correlato alle variazioni di temperatura (fig. 22).

Figura 22 – Strumentazione e *crackmetri* (© ENEA Research Centre di Frascati) per il monitoraggio strutturale da remoto. Il gruppo di ricerca.



L'integrazione dei dati provenienti dalle tre tecnologie consente di ricostruire la cinematica completa delle componenti strutturali e di comprendere i meccanismi di deformazione in atto. I problemi strutturali appaiono legati all'interazione tra murature, volta e terreno circostante, con variazioni del regime di pressione causate da fenomeni di imbibizione o saturazione dei pori del suolo. Il monitoraggio continuo permette di rilevare tempestivamente le modifiche in corso e di orientare eventuali interventi di mitigazione.

La collaborazione con il laboratorio LAPS (Laboratorio di Analisi e Progettazione Strutturale) dell'Università di Cassino – coordinato dalla prof.ssa Maura Imbimbo e dal prof. Ernesto Grande, con le ingegnere Marina Serpe, Valentina Cima e Valentina Tomei – consentirà di sviluppare modelli

numerici validati dai dati sperimentali, in grado di simulare la distribuzione degli stress e le modalità di cedimento locale, fornendo elementi utili per la progettazione di eventuali interventi conservativi.

10. Conclusioni

Il progetto di documentazione digitale integrata, condotto a partire dal 2024 nell'ambito del programma CHANGES, ha prodotto risultati significativi per la conoscenza, la tutela e la valorizzazione del sito. La messa a sistema dei dati acquisiti mediante laser scanner, fotogrammetria e riprese aeree ha generato output di grande valore scientifico e comunicativo: sezioni orizzontali e verticali del manufatto, restituzione fotogrammetrica degli apparati decorativi, modello *Digital Twin* tridimensionale e *virtual tour* interattivo. Questi strumenti costituiscono la base documentale per il monitoraggio delle trasformazioni e per la pianificazione di interventi conservativi.

Il modello digitale rappresenta un riferimento fondamentale per il monitoraggio delle strutture nel tempo. La possibilità di confrontare la nuvola di punti acquisita nel 2024 con quella del 2015 ha dimostrato l'efficacia della metodologia per rilevare movimenti strutturali anche di entità millimetrica. Le collaborazioni interdisciplinari attivate configurano un sistema integrato di conoscenza e tutela: le indagini georadar condotte dal CNR di Lecce hanno fornito una sorta di TAC delle murature, evidenziando il grado di fessurazione interna, lo spessore delle strutture e la presenza di condotte e cavità profonde; il sistema di monitoraggio strutturale da remoto, sviluppato dal Centro Ricerche ENEA di Frascati, integra tecnologie SfM, EDM robotizzato e sensori FBG per il controllo continuo delle deformazioni; la collaborazione con il laboratorio LAPS dell'Università di Cassino consentirà di sviluppare modelli numerici validati per l'analisi degli stress e la definizione di strategie di intervento.

Il monitoraggio a lungo termine, basato su ripetute indagini EDM/SfM e acquisizione continua mediante sensori FBG, permetterà di definire un modello fortemente validato per l'analisi numerica e la progettazione delle migliori azioni conservative. L'integrazione dei dati geometrici con le informazioni sulle deformazioni e sui meccanismi di degrado fornisce gli elementi necessari per interventi mirati alla sopravvivenza del bene nel tempo.

Il *Digital Twin 2.5D* e il *virtual tour*, progettati per l'installazione presso il Museo Archeologico Nazionale 'G. Carettoni' di *Casinum*, rappresentano strumenti innovativi di comunicazione e valorizzazione. Attraverso panorami sferici a 360 gradi, *hotspot* interattivi e integrazione di voce narrante, il sistema consente di esplorare virtualmente un sito attualmente non accessibile al pubblico, caratterizzato da un eccezionale stato di conservazione degli apparati decorativi. L'efficacia comunicativa risulta particolarmente elevata nelle modalità *on-site*, dove l'esperienza virtuale si integra con la percezione diretta del contesto archeologico.

Il progetto si configura come esempio di approccio integrato alla documentazione e alla conservazione del patrimonio archeologico, dove le tecnologie digitali si combinano con competenze multidisciplinari per garantire la trasmissione del bene alle generazioni future. L'adozione di metodologie non invasive per il rilievo e il monitoraggio, l'integrazione di dati provenienti da diverse discipline, la produzione di strumenti digitali per la documentazione e la comunicazione rappresentano elementi di un paradigma conservativo che considera la conoscenza approfondita come premessa indispensabile per ogni azione di tutela. Il Ninfeo Ponari diviene così un caso di studio per lo sviluppo di protocolli replicabili su altri contesti del patrimonio archeologico diffuso, ottimizzando le risorse disponibili per la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali sul territorio.

11. Ringraziamenti

Gli autori desiderano esprimere il più sentito ringraziamento alla Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le Province di Frosinone e Latina per la costante disponibilità e la proficua collaborazione offerte nel corso delle attività di studio, documentazione e valorizzazione del Ninfeo Ponari. Un particolare ringraziamento va al Soprintendente dott. Alessandro Betori e al funzionario archeologo responsabile dott. Carlo Molle per la piena disponibilità, la fiducia accordata e il sostegno scientifico dimostrati in ogni fase del progetto, che hanno reso possibile lo sviluppo delle indagini qui presentate.

Si esprime inoltre viva gratitudine all'ENEA *Research Centre* di Frascati e al CNR – Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) di Lecce per la

collaborazione attiva e qualificata nelle indagini strumentali e nello sviluppo delle metodologie di monitoraggio strutturale del monumento. Il contributo di queste istituzioni ha costituito un elemento fondamentale per l'approccio multidisciplinare adottato nella presente ricerca, consentendo di integrare competenze archeologiche, tecnologiche e ingegneristiche in un quadro unitario di conservazione preventiva.

Il presente contributo analizza alcuni risultati emersi nell'ambito del progetto 'Il Ninfeo Ponari di Cassino: modellazione digitale e monitoraggio come strumenti di protezione dai rischi naturali e antropici', sviluppato all'interno del programma PE 5 CHANGES *Cultural Heritage Active Innovation for Sustainable Society*, Spoke 7 (PE0000020 CHANGES – CUP B83C22005060006, under the PNRR Mission 4, Component 2, Investment 1.3, funded by the European Union – NextGenerationEU), in collaborazione con il DTC Lazio Centro di Eccellenza e con i laboratori LaRSaAr (Laboratorio di Ricerche Storiche e Archeologiche dell'Antichità) e DART (Laboratorio di Documentazione, Analisi, Rilievo, Tecnica dell'Architettura e del Territorio) dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale.

Bibliografia

1. BETORI A. (2009a), *Cassino, novità dal Ninfeo Ponari. La pavimentazione dell'atrio*, AISCOM XIV, pp 195-199.
2. BETORI A., VALENTI M., TANZILLI S. (2009b), *Ninfeo Ponari di Cassino: nuove acquisizioni e prospettive di valorizzazione*, in GHINI G. (a cura di), *Lazio e Sabina 5. Atti del convegno Quinto Incontro di Studio sul Lazio e la Sabina*, Roma: Edizioni Quasar, pp 483-498.
3. BETORI A., VINCENTI V. (2018), *Nuovi pavimenti dalla Domus del Ninfeo Ponari di Cassino*, in *Atti del XXIII Colloquio dell'AISCOM – Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico. Narni, 15-18 marzo 2017*, Roma: Edizioni Quasar, pp 447-459.
4. CAPONERO M. A., CORSI C., MONGELLI M., IMBIMBO M., POLITO E., MODONI G., GRANDE E. (2020), *Tecnologie per il monitoraggio strutturale del Ninfeo Ponari di Cassino. Una sperimentazione in collaborazione tra ENEA ed Università di Cassino*, in ARCANGIOLI C., SARTO M. S. (a cura di), *Centro di eccellenza DTC Lazio. Atti del I Convegno annuale (Roma, 30 settembre 2019)*, Roma: Edizioni Quasar, pp 69-71.
5. CAPONERO M. A., MONGELLI M., IMBIMBO M., POLITO E., MODONI G., GRANDE E. (2021), *Structural monitoring of the Ninfeo Ponari by fibre optic sensors, photogrammetry and laser scanning*, «Archeologia e Calcolatori», 32, pp 223-232.

6. CARETTONI G. F. (1940), *Casinum (Italia romana: Municipi e colonie, s. I, vol. II)*, Roma: Libreria dello Stato.
7. CIFARELLI F. M. (1995), *Un ninfeo repubblicano a Segni con la firma di Q. Mutius architetto*, in *Tra Lazio e Campania. Ricerche di Storia e di Topografia antica*, Università degli Studi di Salerno. Quaderni del Dipartimento di Scienze dell'antichità, 16 – Serie Storia Antica e Archeologia, II, Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane (ESI), pp 159-188.
8. CIFARELLI F. M., VALENTI M. (1999), *Due nuovi ninfei decorati nel Lazio meridionale*, in *La Mosaïque Gréco-Romaine VII. Actes du VIIe Colloque International pour l'Étude de la Mosaïque Antique, Tunis, 3-7 octobre 1994*, Tunis: Institut National du Patrimoine, pp 673-680.
9. GALLOZZI A., PARIS L., WAHBECH W. (2017), *3D Models and Interactive Communication for Archaeology: The Nymphaeum Ponari in Cassino*, in *Digital Archaeologies, Material Worlds (Past and Present) Proceedings of 45th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology – CAA 2017*, Atlanta, (GA) USA, pp 401-411.
10. MODONI G., IMBIMBO M., SERPE M., POLITO E., SACCUCCI M., SPACAGNA R. L., GRANDE E., CAPONERO M. A., MONGELLI M. L., VALENTI M. (2022), *Geotechnical-structural engineering for the preservation of Ninfeo Ponari in Roman Casinum*, in *Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites III – Proceedings of the 3rd International ISSMGE TC301 Symposium, Napoli, 22-24 June 2022*, CRC Press / Balkema (Toylor & Francis), pp 583-594.
11. NEUERBURG N. (1965), *L'architettura delle fontane e dei ninfei nell'Italia antica*, Memorie dell'Accademia di Archeologia, Lettere, e Belle Arti di Napoli 5, Napoli: Gaetano Macchiaroli.
12. PIERDOMINICI F. (2020), *La raccolta dati in ambiente QGIS per un modello territoriale nazionale dei ponti antichi*, in INGLESE C., PARIS L. (a cura di), *Arte e tecnica dei ponti romani in pietra*, Roma: Gangemi Editore, pp 77-100.
13. POLITO E. (2013), *Il complesso archeologico di Cassino: uno sguardo d'insieme nel segno di Ummidia*, in PALMA M., VISMARA C. (a cura di), *Per Gabriella. Studi in ricordo di Gabriella Braga*, vol. III, Cassino: Edizioni Università di Cassino, pp 1453-1469.
14. POLITO E. (2025), *Il Ninfeo Ponari di Cassino: problemi conservativi e prospettive di conoscenza e valorizzazione*, in *Foro Romano Palatino – Scavi e Ricerche*, vol. III, Roma: L'Erma di Bretschneider, pp 837-850.
15. TANZILLI S. (2016), *Cassino. Architettura, archeologia, arte, storia*, Formia: Grafiche Ghaleb.
16. VALENTI M. (1992), *Il «Ninfeo Ponari» di Cassino (FR): analisi stilistica e cronologica delle decorazioni*, «Archeologia Classica», L'Erma di Bretschneider, XLIV, pp 51-80.
17. VALENTI M. (1994), *Il mosaico rustico a conchiglie e il ninfeo Ponari di Cassino. Riflessioni su una moda decorativa di età tardo-repubblicana*, in *Atti del II Colloquio AISCOM – Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico. Roma, 5-7 dicembre 1994*, Bordighera: Istituto Internazionale di Studi Liguri, pp 49-60.