

# Procedure e tecniche di rilievo integrate per l'analisi di strutture archeologiche sepolte: test-site e analisi delle principali problematiche

Cristian Boscaro  
 Rachele Dubbini  
 Jessica Clementi  
 Enzo Rizzo  
 Manuela Incerti

## Abstract

Questo studio presenta i primi risultati di un'indagine multidisciplinare condotta da archeologi, rilevatori e geofisici su manufatti archeologici sepolti in zone umide. Il progetto di ricerca intitolato ArcheoGeofisica in ambienti costieri, si propone di testare alcune metodologie geofisiche attraverso delle applicazioni su un modello fisico di struttura archeologica (muratura di una villa romana) realizzato in laboratorio e, successivamente, di trasferire le esperienze ottenute da un ambiente controllato ad un sito reale. Il cuore della sperimentazione riguarda la creazione di un modello di sito archeologico all'interno di una vasca di circa 50m<sup>3</sup> dotata di sistema per la variazione del contenuto d'acqua nel materiale geologico, situata in uno dei laboratori dell'Ateneo. Questo lavoro costituisce la prima esperienza di attività congiunta per il gruppo interdisciplinare, condizione che ha permesso lo scambio di conoscenze e processi metodologici. I risultati preliminari, sebbene ancora in fase embrionale, hanno consentito ai ricercatori di acquisire nuove competenze e di affrontare le sfide interpretative dei dati raccolti, inclusa l'analisi dei radargrammi, in una logica di integrazione. Questi risultati costituiranno la base per ulteriori studi in siti archeologici come, ad esempio, l'area dell'argine d'Agosta nel Comune di Comacchio.

## keywords

ArcheoGeofisica, laser scanner, rilievo integrato, archeologia del paesaggio, modello fisico



Vista del sito durante le  
 riprese laser scanner e  
 fotografiche.

## Introduzione

Questo contributo presenta i primi esiti di un'attività multidisciplinare che coinvolge competenze archeologiche, geofisiche, di rilievo e rappresentazione su manufatti archeologici sepolti in aree umide. Il progetto di Ricerca, finanziato con i fondi del bando competitivo FIR2021 dell'Università di Ferrara, si intitola: *ArcheoGeofisica in ambienti costieri: esperimenti in laboratorio e applicazioni sul campo per lo sviluppo metodologico geofisico per siti archeologici in ambienti saturi*. Il fulcro della sperimentazione qui descritta riguarda la realizzazione di un modello di sito archeologico, all'interno di una vasca di circa 50m<sup>3</sup> (4m x 8m x 1.4m) disponibile nel laboratorio del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra presso il Polo Tecnologico dell'Ateneo. Nella vasca, riempita da sedimenti raccolti nella pianura ferrarese con una granulometria compresa tra sabbia fine, silt e una percentuale di argilla, sono infatti stati appositamente realizzati alcuni manufatti e depositati alcuni elementi al fine di simulare possibili contesti oggetto di indagine. L'utilizzo di metodi non distruttivi (metodi geofisici) è sempre raccomandato in aree archeologiche, poiché queste tecniche possono fornire informazioni preziose sulle condizioni di conservazione senza interventi invasivi. Anche le indagini di telerilevamento seguono questo principio. L'integrazione tra le potenzialità delle metodologie geofisiche con quelle di rilevamento (ad esempio Lidar o fotogrammetria) è un tema di ricerca che ha prodotto recentemente interessanti sviluppi [Puentes et al. 2018; de Smet et al. 2019; Barrile et al. 2022; Zhang et al. 2022].

## Il contesto archeologico e la preparazione del test-site

Come è noto, per tutta l'età del Ferro e gran parte dell'età romana erano attivi due grandi tracciati del fiume Po: il Po di Adria, a N, e il Po di Spina, a S. Quest'ultimo, a partire dal VI/IV sec. a.C. si suddivise in due rami: l'*Olane/Volane*, a NE, e l'*Eridano/Padus*, a SE, i cui detriti deltizi in età imperiale formarono la cuspide su cui nel VI sec. sorse Comacchio. Fra tarda antichità e medioevo importanti mutamenti climatici determinarono la migrazione del *Padus Maior* a N, verso Codigoro (Po di Volano), mentre l'*Eridano* giunse a senescenza e un terzo ramo meridionale (Po di Primaro) giungeva a foce a metà strada tra Comacchio e Ravenna [Veggiani 1970; Bruni 2020; Balista, Bruni 2022; Rucco 2021; Cazzola 2021, pp. 25-33]. Il paesaggio antico era, così, dominato da alvei e foci fluviali, cordoni litoranei e spiagge alternate ad aree vallive distribuite sulla frangia paralitoranea e si contraddistingueva per diffusi fenomeni di instabilità idrografica e dinamicità connessi all'attivazione di nuove diramazioni fluviali. Imbarcazioni naufragate o abbandonate in prossimità delle foci fluviali o in canali secondari testimoniano la dinamicità di questo paesaggio [Gelichi 2019]. Nel territorio deltizio l'insediamento di età romana si concentrava in corrispondenza degli alti morfologici degli assi fluviali antichi e delle direttrici della viabilità terrestre e fluviale e la villa rustica si configurava come la tipologia edilizia prevalente [Gelichi 2021]. Le tecniche costruttive più comuni implicavano l'utilizzo di tegoloni a risvolto riempiti di pezzame laterizio, spesso impiegando materiali di reimpiego, come nelle ville di Russi e Cassana, oppure l'uso di mattoni sesquipedali, interi o in grandi pezzi, preferita per i settori residenziali e i muri perimetrali, come nella villa di Mensa Matelica. In alcuni casi, le tecniche erano combinate, come nella villa di Agosta, dove una sottofondazione di tegole sostiene corsi di tegole a risvolto riempite di pezzame laterizio legato a malta. Nei settori di servizio o produttivi, la pavimentazione poteva essere di terra battuta, laterizio con tegole frammentate o accostate a rovescio, mattoni sesquipedali, piccole piastrelle rettangolari o esagonali, cocchiopesto o ciottoli fluviali, mentre negli ambienti più ricchi i pavimenti erano spesso in tessellato, con raro uso di *crustae marmoree* [Cordoni 2016]. La realizzazione del *test-site* ha seguito questa fase prima di studio, cui è succeduta la seconda fase di progettazione in conformità con le condizioni dell'ambiente archeologico tipo della zona costiera ferrarese.

L'operazione di ricostruzione di modelli analogici archeologici ha avuto luogo all'interno della vasca di circa 50m<sup>3</sup> situata nei laboratori del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra presso il Polo Tecnologico dell'Università di Ferrara [1]. All'interno della struttura, già riem-

pita con sedimenti provenienti dalla pianura ferrarese [2], sono state scavate due fosse di fondazione dopo la rimozione dei piezometri. La prima, con dimensioni di 180 cm x 150 cm x 70 cm, la seconda di 110 cm x 80 cm x 60 cm (figg. 1-2). Nella fossa di dimensioni maggiori è stato riprodotto un ambiente pavimentato in cocchiopesto (165 cm x 150 cm, spessore 10 cm) [3]. Tre sensori di umidità sono stati collocati a circa 10 cm di distanza l'uno dall'altro e a diverse quote (0-30 cm), a diretto contatto con uno dei settori murari, lungo il lato settentrionale della vasca.

Successivamente, sono stati realizzati due setti murari ad angolo, appoggiati sul pavimento in cocchiopesto, con lunghezze di 160 cm (muro settentrionale) e 130 cm (muro orientale), con spessore di circa 25-27 cm e un'altezza massima di 41 cm [4]. Nell'angolo di congiunzione tra i due setti murari è stato eretto un pilastro in laterizio (63 cm x 25 cm x 25 cm) in uno stato di crollo, posizionato diagonalmente con l'ausilio di sabbia. Lungo il muro orientale, è stato collocato materiale laterizio (mattoni frantumati e frammenti di tegole rinascimentali) a simulare una situazione di crollo con materiale divelto.

Nella seconda fossa, sopra uno strato di geo-tessuto, è stata installata una palizzata lignea a simulare la prua di un'antica imbarcazione. Sulla superficie della palizzata sono stati disposti vasi in cotto commerciali e coppi rinascimentali, emulando solo dal punto di vista materiale il carico di ceramiche, lucerne e anfore tipico di un'imbarcazione affondata o abbandonata lungo gli argini antichi [Berti 1990].

Successivamente, le due aree sono state ricoperte con lo stesso materiale presente nella vasca ottenendo uno spessore della copertura di circa 10 cm al di sopra del setto murario, e di circa 45/50 cm al di sopra della pavimentazione.



Fig. 1. Vasca di 50 m<sup>3</sup> contenente sedimenti della pianura ferrarese prima dell'avvio delle lavorazioni.

### L'acquisizione dei dati geofisici

Dopo aver ricoperto l'intera struttura archeologica, si è proceduto a riempire parzialmente la vasca con acqua per simulare le condizioni di umidità del sito reale ed eseguire le indagini geofisiche. In dettaglio, sono state effettuate indagini di tipo Georadar e Geoelettrico, particolarmente adatte in contesti sperimentali in laboratorio [Capozzoli et al. 2022].

Il metodo Georadar utilizza un'antenna ad alta frequenza (50-2000 MHz) per inviare un segnale elettromagnetico nel sottosuolo e sfrutta i contrasti di permittività (come le superfici riflettenti) permettendo alle onde elettromagnetiche di essere raccolte da un'antenna ricevente in superficie [Conyers, Lawrence, 2023]. Queste informazioni vengono rilevate lungo profili durante l'acquisizione, ottenendo immagini bidimensionali (radargrammi) della distribuzione delle superfici di riflessione presenti nel sottosuolo.

Il metodo geoelettrico è un metodo geofisico attivo che consiste nell'inviare segnali elettrici nel sottosuolo e misurare i campi elettrici prodotti, strettamente correlati con il materiale presente, mostrando valori resistivi per le strutture murarie sepolte [Rizzo et al. 2005]. Le indagini Georadar sono state eseguite (figg. 3-4) con lo strumento GSSI e un'antenna a doppia frequenza (400 e 800 MHz) lungo profili paralleli nelle due direzioni perpendicolari, con un'interlinea di 20 cm, realizzando 43 profili. I dati Georadar sono stati elaborati con un software specifico (ReflexW), che consente di enfatizzare la presenza di oggetti sepolti.



Fig. 2. Sequenza delle operazioni di scavo, costruzione dei reperti e successiva copertura con il materiale sabbioso.

I dati elaborati hanno evidenziato una serie di “anomalie” georadar: le iperboli di riflessione indicano la presenza di murature sepolte, mentre le superfici di riflessione piane segnalano la pavimentazione. Le caratteristiche del materiale di copertura delle strutture sepolte hanno tuttavia reso difficoltosa l'interpretazione delle informazioni georadar, dimostrando la limitata efficacia del metodo in contesti di depositi limosi o sabbiosi molto umidi, capaci di assorbire il segnale elettromagnetico e ridurne la penetrazione.

Al contrario, il metodo geoelettrico (figg. 3-4), applicato con una modalità 3D definita ad hoc, ha permesso di individuare le strutture sepolte, dimostrando una buona capacità investigativa in questo tipo di contesto. In particolare, è stato utilizzato un approccio con elettrodi disposti sulla superficie a una distanza costante di 20 cm, distribuiti attraverso un apparato a 48 elettrodi [5]. Le immagini 3D geoelettriche evidenziano la presenza delle murature, ma non quella del piano di calpestio, a causa della limitata capacità di investigazione rispetto alla configurazione utilizzata e adattata al contesto della vasca. Il metodo geoelettrico 3D, poco adatto per aree molto estese, è in realtà molto efficace per l'analisi dettagliata di piccole superfici di particolare interesse, come murature e fondazioni [Rizzo et al. 2005].

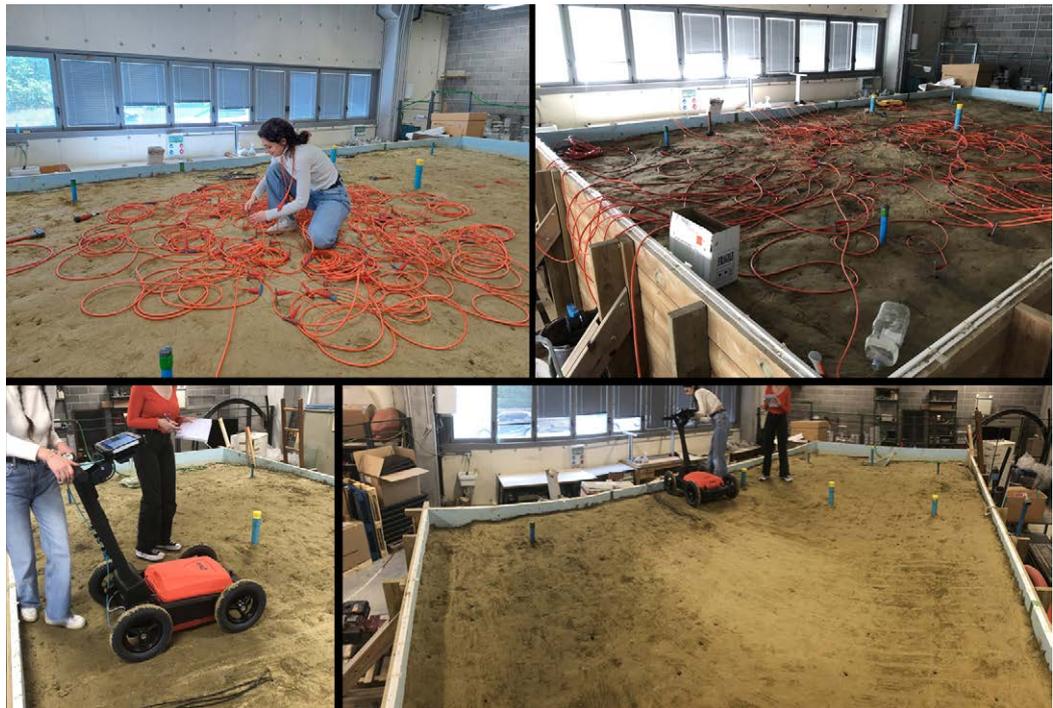


Fig. 3. Acquisizioni della vasca con la geoelettrica (in alto) e il Georadar (in basso).

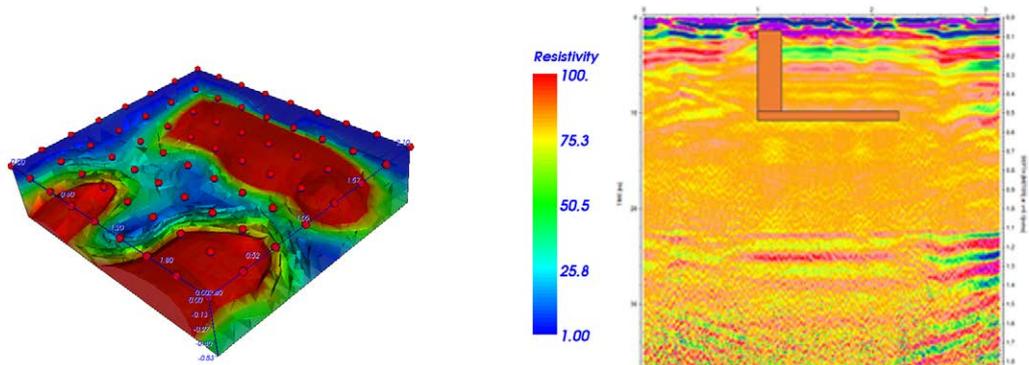


Fig. 4. A sinistra il modello di inversione 3D geoelettrico con l'individuazione delle strutture sepolte. A destra il radargramma acquisito in vasca posto ortogonalmente alla posizione di una parete e del pavimento del sito archeologico. In arancione l'interpretazione critica delle strutture sepolte.

### Acquisizione metrica e confronto dei dati archiviati

Il rilevamento, base per un puntuale e rigoroso confronto dei dati provenienti da strumentazioni diverse e spesso complementari e che raramente trovano spazi di dialogo e confronto, si è articolato in tre fasi temporali successive finalizzate ad acquisire le caratteristiche morfometriche di una simulazione di scavo archeologico (fig. 5).

FASE 01: Valutate le finalità del test e le eventuali criticità che potevano emergere, è stato acquisito tridimensionalmente lo scavo che da lì a poco avrebbe ospitato i reperti. Sono stati utilizzati un laser a scansione 3D [6] e un sistema per acquisizione immagini composto da asta telescopica [7] con testa remotata su 3 assi e fotocamera stabilizzata e orientabile da remoto [8]. Per tale operazione sono state eseguite 8 scansioni full dome (angolo orizzontale di 360°-verticale di 300°) con risoluzione media di 12mm @ 10 metri (pari a circa 11.000.000 di punti). Unitamente al dato geometrico (x, y, z), per mezzo del sensore interno allo strumento, sono state catturate le relative mappe sferiche (rgb) utili, oltre che alla texturizzazione del dato, alle successive operazioni di allineamento e scalatura del modello fotogrammetrico ottenuto da 104 fotogrammi.



Fig. 5. Sequenza delle operazioni di rilievo con lo scanner Faro Focus3D X330 e asta telescopica Neutech Onair CI08. Nel corso della sperimentazione è stato testato anche il sistema ColorChecker.

FASE 02: Dopo la ricostruzione dei reperti sono state eseguite, con le medesime tecnologie, ulteriori 12 scansioni e un numero analogo alla precedente fase di prese fotografiche.

FASE 03: Con le ultime 6 scansioni è stato misurato, dopo l'interramento, il piano di campagna e il sistema di riferimento (x, y, z) necessario per l'allineamento e il confronto con quanto rilevato dai geofisici (fig. 6).

I dati archiviati, generati dal laser a scansione e dalla fotogrammetria multistere, sono stati oggetto di comuni operazioni di post processing (allineamento-editing e cleaning-export) al fine di ottenere un modello a punti omogeneo e quanto più completo delle diverse stratigrafie [9] (fig. 7). Quest'ultimo al suo interno, attraverso un processo di riproiezione cubica delle point cloud precedentemente registrate, permette un accurato e quanto mai preciso allineamento e scalatura del modello prodotto.

Le operazioni brevemente descritte hanno quindi permesso la generazione di un clone digitale dello scavo interrogabile sia nella sua completezza sia nelle tre fasi distinte.

Al termine delle fasi descritte, la sperimentazione ha valutato quale metodologia utilizzare per confrontare, verificare e rendere fruibili i dati provenienti dalle indagini oggetto della sperimentazione e dai sistemi di misura 3D. Per tale operazione, complessa a causa della eterogeneità degli stessi, si è proceduto con un confronto grafico mediante la sovrapposizione tra i profili 3d e i corrispondenti radargrammi elaborati dai dati di rilievo del georadar, opportunamente referenziati e dimensionati sull'asse verticale [10]. Allo scopo di standardizzare tale processo, successivamente, per mezzo di una definizione in ambiente di programmazione visiva (<https://www.grasshopper3d.com>), si è passati a replicare tale operazione in maniera semi automatica. Nello specifico, dopo aver reso fruibile il dato laser in formato di interscambio (.e57) e averlo decostruito, è possibile visualizzare sequenzialmente a schermo le sezioni di interesse (corrispondenti alle linee di avanzamento del Georadar) e, se necessario, variarne lo spessore. Contestualmente, da un repository esterno vengono associati in modo automatico i radargrammi correlati, visualizzandoli in secondo piano rispetto alla sezione generata. Questo sistema consente la visualizzazione e il confronto dei dati in modo estremamente semplificato, veloce e accurato (fig. 8).

Fig. 6. Nuvola di punti da Laser scanner della vasca nelle tre fasi di lavorazione (vista in Proiezioni ortogonali). In basso una sezione prospettica di sintesi dei tre modelli.

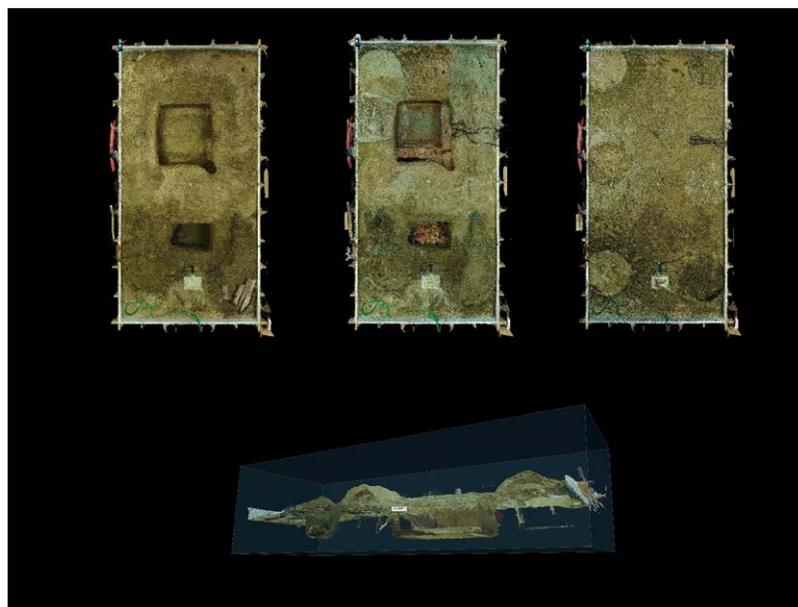


Fig. 7. Vista della nuvola di punti nelle tre fasi successive del rilievo in ambiente Trimble RealWorks.

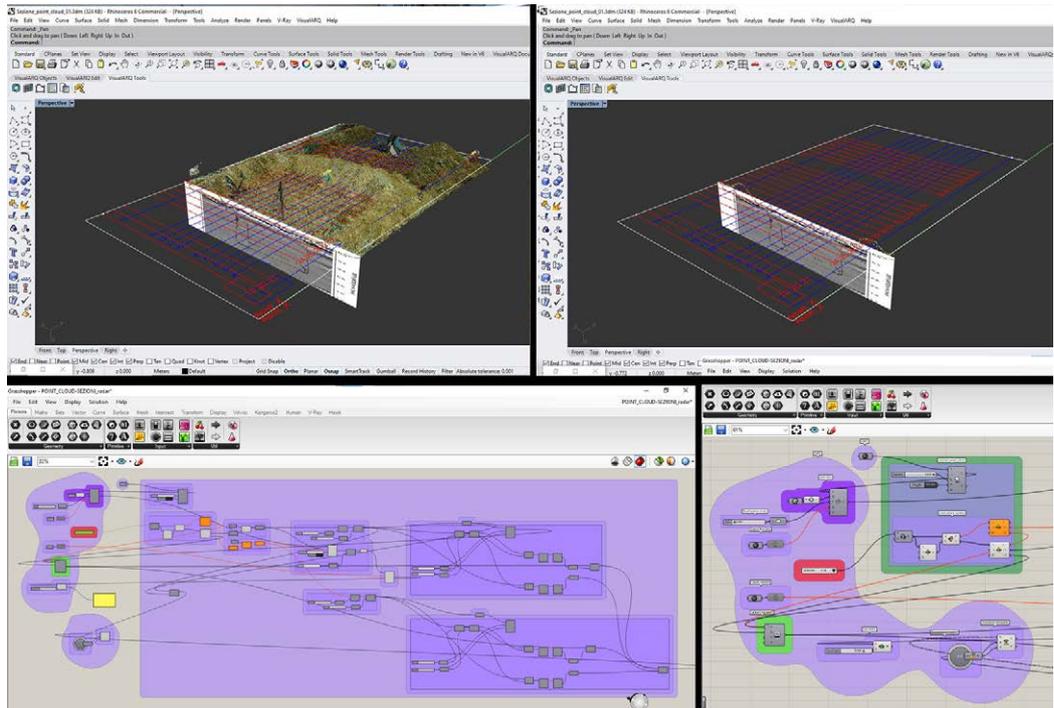


Fig. 8. In alto la griglia cartesiana rispetto alla quale sono state estratte le slice della nuvola di punti da sovrapporre alle immagini geodetiche. In basso a sinistra l'impostazione semi-automatica per l'estrazione delle sezioni.

Il tentativo di standardizzazione del processo ha evidenziato alcune criticità importanti, attribuibili principalmente alla scalatura non omogenea dei diagrammi prodotti dal Georadar e al conseguente necessario riposizionamento del loro punto di inserimento e sovrapposizione. Un ulteriore approfondimento ha riguardato le operazioni legate alla scalatura unidirezionale del valore metrico in profondità (asse z), derivante dalle diverse e molteplici velocità di propagazione dell'impulso laser nei vari strati del sottosuolo (fig. 9).

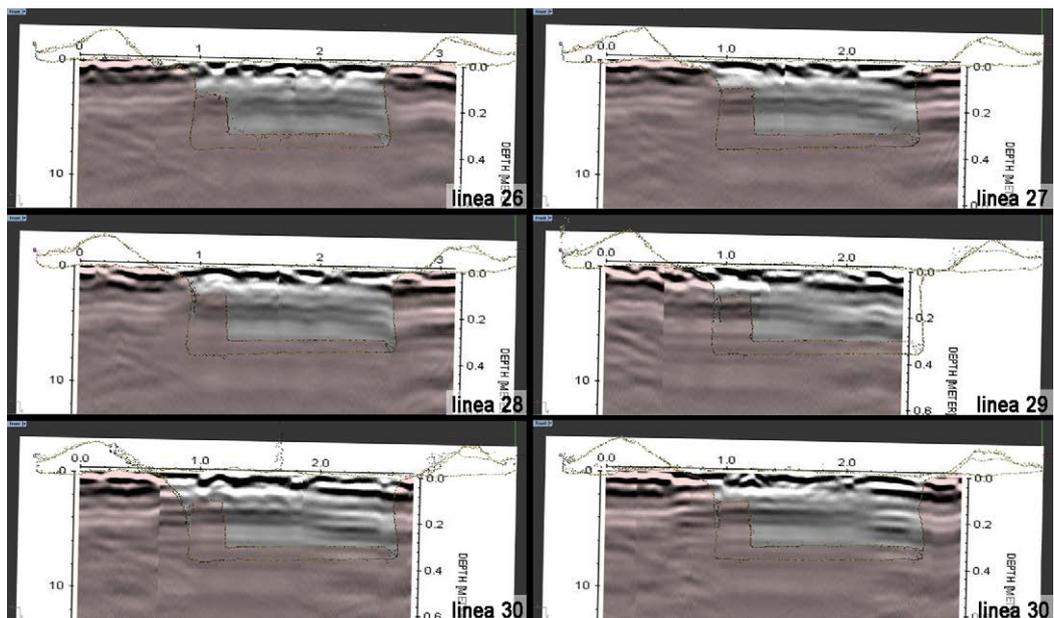


Fig. 9. Confronto grafico mediante la sovrapposizione tra i profili 3d e i corrispondenti radargrammi elaborati dai dati di rilievo del georadar.

## Conclusioni

Il presente lavoro costituisce la prima esperienza di applicazione integrata del gruppo interdisciplinare su un modello fisico di struttura archeologica realizzata ad hoc, grazie al quale è stato possibile condividere metodologie e processi. I risultati ottenuti, ancora embrionali, hanno consentito ai ricercatori coinvolti non solo di conoscere nuovi strumenti e le relative fasi di lavoro, ma soprattutto di analizzare e mettere a fuoco le fasi interpretative del dato acquisito (lettura critica del radargramma) e le conseguenti problematiche interpretative nel contesto di una lettura comparata dei dati.

Una delle problematiche riscontrate è l'integrazione tra i dati provenienti dal laser scanner e quelli ottenuti dal georadar. In questa prima fase della ricerca, si è proceduto al confronto tra la nuvola di punti e l'immagine georadar secondo le più recenti tecniche presenti in letteratura. La parte innovativa del contributo propone una fruizione dei dati in ambiente di programmazione visiva.

Gli sviluppi futuri del lavoro potranno riguardare la trasformazione del dato proveniente dalle indagini geofisiche in nuvola di punti, processo che prevede l'utilizzo di software diversi [Zhang et al. 2022].

Questo prodotto si pone come base per ulteriori studi da condurre in siti archeologici, come l'area dell'argine d'Agosta (Comune di Comacchio), dove è nota la presenza di una villa rustica romana con strutture produttive in uso dal I sec a.C. al IV sec d.C., solo parzialmente indagata negli anni Settanta. Su questo sito, il gruppo ha già realizzato un nuovo rilievo con laser scanner, drone e georadar. L'obiettivo ultimo è definire una metodologia interdisciplinare che permetta di indagare in maniera esaustiva un sito archeologico, abbracciandone ogni aspetto, dalle caratteristiche territoriali alla configurazione geomorfologica, per una piena comprensione del paesaggio non visibile.

### Creditis

Il responsabile scientifico del progetto FIR2021 è Enzo Rizzo che ha coordinato le competenze dei settori scientifico disciplinari GEO11, L-ANT07, ICAR17. La progettazione e realizzazione del test-site, eseguita dalla ditta Garavello Nicola, sono state coordinate da Jessica Clementi. La campagna di rilievo con georadar e metodo geoelettrico è stata eseguita da Paola Boldrin e Giulia Lia. La campagna di rilievo 3D è stata realizzata da Cristian Boscaro (laser scanner), Manuela Incerti e Stefano Costantini (ripresе fotografiche per la fotogrammetria digitale). Cristian Boscaro ha realizzato il confronto integrato tra i dati. Manuela Incerti è responsabile scientifico della parte del progetto che concerne le competenze del settore ICAR17. Rachele Dubbini è responsabile scientifico della parte del progetto che riguarda le competenze del settore L-ANT07.

Benché i risultati della ricerca siano dell'intero gruppo di lavoro, il paragrafo Introduzione è da attribuire a Incerti, Rizzo e Dubbini, Il contesto archeologico e la preparazione del test-site a Clementi, L'acquisizione dei dati geofisici a Rizzo, Acquisizione metrica e confronto dei dati archiviati a Boscaro, Conclusioni a Incerti e Rizzo.

### Note

[1] La realizzazione è stata affidata all'impresa Garavello Nicola e supervisionata dalla scrivente.

[2] I sedimenti sono caratterizzati da granulometria compresa tra sabbia fine (63-200 micrometri), silt (2-63 micrometri) e una percentuale di argilla inferiore a 2 micrometri.

[3] Nella posa del piano pavimentale sono stati impiegati polvere di laterizio, calce, sabbia del Brenta e acqua in proporzioni di 1:1:3:1, applicati con sbatacchiature lignee. Dopo 24 ore di asciugatura, le sbatacchiature sono state rimosse e sono stati posizionati tre sensori di umidità nel terreno.

[4] Per la costruzione, sono stati utilizzati mattoni in cotto prelevati da un'abitazione settecentesca dell'area del Po (misure 25 cm x 12,5 cm x 4,5-6 cm) e malta ottenuta con una miscela di polvere di laterizio, calce, sabbia del Brenta e acqua in proporzioni di 1:1:1:1. I mattoni, precedentemente imbibiti d'acqua, sono stati posizionati alternativamente di testa e di taglio e legati con la malta.

[5] Lo strumento utilizzato è stato il Terrameter LT della Abem, che permette di ottenere dati di alta qualità e con velocità pregevole (sistema a 10 canali).

[6] Faro - Focus3D X330 - per caratteristiche tecniche si rimanda al sito web del produttore ([https://ats.se/pdf/faro/FARO\\_Laser\\_Scanner\\_Focus3D\\_X\\_330\\_Tech\\_Sheet.pdf](https://ats.se/pdf/faro/FARO_Laser_Scanner_Focus3D_X_330_Tech_Sheet.pdf)).

[7] Neutech Onair C108 - per caratteristiche tecniche si rimanda al sito web del produttore (<https://www.neutech.space/>).

[8] Hero 7 Black - per caratteristiche tecniche si rimanda al sito web del produttore (<https://gopro.com/it/it/update/hero7-black>).

[9] Il software utilizzato per le operazioni di allineamento dei dati laser e delle relative fasi tra loro è Trimble RealWorks (<https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-realworks>) e per l'allineamento dei fotogrammi acquisiti ed estrazione della nuvola densa è stato impiegato il software Capturing Reality (<https://www.capturingreality.com>). Quest'ultimo al suo interno, attraverso un processo di riproiezione cubica delle point cloud precedentemente registrate, permette un accurato e quanto mai preciso allineamento e scalatura del modello prodotto.

[10] In questa prima fase della ricerca si è proceduto al confronto tra la nuvola dei punti e l'immagine Georadar secondo le tecniche di più recente sperimentazione.

### Riferimenti bibliografici

Balista C., Bruni M. (2022). Il fiume, il delta, il mare. In Reusser C. (a cura di). *Spina 100 dal mito alla scoperta a un secolo dal ritrovamento della città etrusca di Spina nell'antico delta del Po*, pp. 15-24. Roma: Teso Editore.

Barrile V., Meduri G.M. (2007). Sperimentazione ed integrazione di rilievi laser scanner e georadar. In *La Conferenza Nazionale ASITA. Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, Torino, 6-9 novembre 2007, pp. 273-278.

Barrile V., et al. (2022). Integration of Laser Scanner, Ground-Penetrating Radar, 3D Models and Mixed Reality for Artistic, Archaeological and Cultural Heritage Dissemination. In *Heritage*, 5, pp. 1529-1550. <<https://doi.org/10.3390/heritage5030080>>

Berti F. (a cura di) (1990). *Fortuna maris: la nave romana di Comacchio*. Bologna: Nuova Alfa.

Bondesan M. (2001). L'evoluzione idrografica e ambientale della pianura ferrarese negli ultimi 3.000 anni. In Bondesan M., Broglio A., Pagnoni G.A. (a cura di). *Storia di Ferrara. Territorio e Preistoria*, Vol. I, pp. 228-263. Ferrara: Corbo editore.

Bruni M. (2020). Note di geo-archeologia sul territorio di Spina. In Castiglioni M.P., Curcio M., Dubbini R. (a cura di), *Incontrarsi al limite. Ibridazioni mediterranee nell'Italia preromana*, pp. 345-354. Roma-Bristol: L'Erma di Bretschneider.

Capozzoli L., Giampaolo V., De Martino G., Perciante F., Lapenna V., Rizzo E. (2022). ERT and GPR prospecting applied to unsaturated and subwater analogue archaeological site in a fullscale laboratory. In *Applied Sciences*, n. 12 <<https://doi.org/10.3390/app12031126>>

Cazzola, F. (2021). *Uomini e fiumi. Per una storia idraulica ed agraria della bassa pianura del Po (1450-1620)*. Roma: Viella editore.

Conyers, L. (2023). *Ground-penetrating radar for archaeology*. New Kingstown, PA: Rowman & Littlefield.

Corazzi R. (2005). Il rilievo. Indagini in profondità sul modello reale con strumentazioni avanzate: il georadar. In M. Docci, T. Fiorucci (a cura di), *Metodologie innovative integrate per il rilevamento dell'Architettura e dell'Ambiente, Ricerca COFIN 2002*, pp. 251-253. Roma: Gangemi Editore.

- Cordoni C. (2016). L'insediamento extraurbano nell'Emilia Romagna orientale. In *Ocnus*, n. 24, pp. 87-107.
- De Smet T.S., et al. (2019). The fate of the historic fortifications at Alcatraz island based on terrestrial laser scans and ground-penetrating radar interpretations from the recreation yard. In *Near Surface Geophysics*, n. 17, pp. 151-168. <doi: 10.1002/nsg.12031>
- Gelichi, S. (2019). Imbarcazioni sul delta del Po: dalla Fortuna Maris alle monossili. Una storia di barche, di uomini, di paesaggi e di economie (e di musei). In Lopez Ballesta J. M. (ed.), *Phicaria. VII Encuentros Internacionales del Mediterraneo*, pp. 64-76. Mazarón: I.G. Novoarte S.L.
- Gelichi, S. (2021). Oltre gli empori e il 'mare corrotto': Comacchio e l'Adriatico tra VIII e XI secolo. In Gelichi S., Negrelli C., Grandi E. (a cura di). *Un emporio e la sua cattedrale. Gli scavi di piazza XX Settembre e Villaggio San Francesco a Comacchio*, pp. 641-740. Firenze: All'Insegna del Giglio.
- Puente I.; Solla M.; Lagüela S.; Sanjurjo-Pinto J. (2018). Reconstructing the Roman Site "Aquis Querquennis" (Bande, Spain) from GPR, T-LiDAR and IRT Data Fusion. In *Remote Sensing*, n. 10 <<https://doi.org/10.3390/rs10030379>>
- Rizzo E., Chianese D., V. Lapenna (2005). Magnetic, GPR and geoelectrical measurements for studying the archaeological site of 'Masseria Nigro' (Viggiano, southern Italy). In *Near Surface Geophysics*, vol. 3, n. 1, pp. 13-19. <doi: 10.3997/1873-0604.2004025>
- Veggiani A. (1970). L'idrografia dell'antico Delta Padano tra Ravenna e Comacchio. In *Bollettino economico della camera di commercio, industria, artigianato e agricoltura di Ravenna*, n. 12, pp. 3-12.
- Zhang D., et al. (2022). Integration of Terrestrial Laser Scanner (TLS) and Ground Penetrating Radar (GPR) to Characterize the Three-Dimensional (3D) Geometry of the Maoyaba Segment of the Litang Fault, Southeastern Tibetan Plateau. In *Remote Sensing*, n. 14, <<https://doi.org/10.3390/rs14246394>>

#### **Autori**

Cristian Boscaro, Università degli studi di Ferrara, [cristian.boscaro@unife.it](mailto:cristian.boscaro@unife.it)  
 Rachele Dubbini, Università di Ferrara, [rachele.dubbini@unife.it](mailto:rachele.dubbini@unife.it)  
 Jessica Clementi, Università La Sapienza di Roma, [jessica.clementi@uniroma1.it](mailto:jessica.clementi@uniroma1.it)  
 Enzo Rizzo, Università di Ferrara, [enzo.rizzo@unife.it](mailto:enzo.rizzo@unife.it)  
 Manuela Incerti, Università di Ferrara, [icm@unife.it](mailto:icm@unife.it)

*Per citare questo capitolo:* Cristian Boscaro, Rachele Dubbini, Jessica Clementi, Enzo Rizzo, Manuela Incerti (2024). Procedure e tecniche di rilievo integrate per l'analisi di strutture archeologiche sepolte: test-site e analisi delle principali problematiche/Integrated survey, procedures and techniques for the analysis of buried archaeological structures: test-site and analysis of main issues. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 935-956.

# Integrated survey, procedures and techniques for the analysis of buried archaeological structures: test-site and analysis of main issues

Cristian Boscaro  
Rachele Dubbini  
Jessica Clementi  
Enzo Rizzo  
Manuela Incerti

## *Abstract*

This paper presents the preliminary results of a multidisciplinary investigation by archaeologists, surveyors, and geophysicists on buried archaeological artifacts in wetland areas. The research project, titled ArcheoGeophysics in Coastal Environments, aims to test geophysical methods on a physical model of an archaeological structure (a Roman villa's masonry) created in a laboratory. The goal is to apply the knowledge gained from this controlled environment to a real site.

The core experiment involves creating an archaeological site model inside a 50 cubic meter tank with a system to vary the water content in the geological material. This tank is located in a university laboratory. This project marks the first joint activity for the interdisciplinary group, enabling the exchange of knowledge and methodologies.

The preliminary results, although still early, have helped researchers acquire new skills and tackle the interpretative challenges of the collected data, including radargram analysis, in an integrated manner. These findings will form the basis for further studies in archaeological sites, such as the Agosta embankment area in the Municipality of Comacchio.

## *Parole chiave*

archaeogeophysics, laser scanner, integrated survey, landscape archeology, analogue model



View of the site during the laser scanner and photographic surveys.

## Introduction

This paper presents the initial outcomes of a multidisciplinary activity involving archaeological, geophysical, surveying, and representation skills on buried archaeological artefacts in wetland areas. The Research project, funded by the FIR2021 competitive grant of the University of Ferrara, is titled: ArchaeoGeophysics in Coastal Environments: laboratory experiments and field applications for the methodological development of geophysical methods for archaeological sites in saturated environments. The focal point of the experimentation described here concerns the creation of a model of an archaeological site, inside a tank of approximately 50m<sup>3</sup> (4m x 8m x 1.4m) available in the laboratory of the Department of Physics and Earth Sciences at the University's Technological Campus. In the tank, filled with sediments collected in the Ferrara plain with a grain size ranging from fine sand, silt, and a percentage of clay, some artefacts have been specially made and some elements have been deposited to simulate possible contexts under investigation. The use of non-destructive methods (geophysical methods) is always recommended in archaeological areas, as these techniques can provide valuable information on preservation conditions without invasive interventions. Remote sensing investigations also follow this principle. The integration of geophysical methodologies with surveying techniques (such as Lidar or photogrammetry) is a research topic that has recently produced significant developments [Puente et al. 2018; de Smet et al. 2019; Barrile et al. 2022; Zhang et al. 2022].

## The Archaeological Context and Test-Site Preparation

Throughout the Iron Age and the Roman period, two major branches of the Po River were active: the Adria Po to the north and the Spina Po to the south. Since the 6th century BC, the Spina Po divided into two branches: the *Olane/Volane* to the northeast and the *Eridanus/Padus* to the southeast. The deltaic deposits from these rivers formed the cusp on which Comacchio emerged in the 6th century AD. Between late antiquity and the medieval period, significant climatic changes caused the migration of the *Padus Maior* northwards, towards Codigoro (Volano Po), while the Eridanus aged and a third southern branch (Primaro Po) reached its mouth midway between Comacchio and Ravenna [Veggiani 1970; Bruni 2020; Balista, Bruni 2022; Rucco 2021; Cazzola 2021, pp. 25-33]. The ancient landscape was thus dominated by river channels and estuaries, coastal barriers, and beaches interspersed with wetland areas distributed along the coastal fringe. This environment was characterized by widespread hydrographic instability and dynamism associated with the activation of new river branches. Wrecked or abandoned boats near river mouths or secondary channels testify to this dynamic landscape [Gelichi 2019]. In the deltaic territory, Roman settlements were concentrated on the high morphological features of ancient river axes and along terrestrial and fluvial routes, and the villa rustica was the predominant building type [Gelichi 2021]. Common construction techniques involved the use of large roof tiles filled with brick fragments, often reusing materials, as seen in the villas of Russi and Cassana, or the use of sesquipedalian bricks, whole or in large pieces, preferred for residential sectors and perimeter walls, as in the villa of Mensa Matelica. In some cases, techniques were combined, such as in the villa of Agosta, where a subfoundation of tiles supported courses of roof tiles filled with brick fragments bound with mortar. In productive areas, flooring could be of beaten earth, bricks with fragmented or inverted tiles, sesquipedalian bricks, small rectangular or hexagonal tiles, cocchiopesto, or river pebbles, while richer environments often had tessellated pavements with rare use of marble *crustae* [Cordoni 2016].

The creation of the test-site followed an initial study phase, succeeded by a second phase of design in accordance with the typical archaeological conditions of the coastal area of Ferrara. The operation involved reconstructing archaeological models within a basin of approximately 50m<sup>3</sup> located in the laboratories of the Department of Physics and Earth Sciences at the Technological Pole of the University of Ferrara [1]. Inside the structure, already filled with sediments from the Ferrara plain [2], two foundation pits were excavated after removing the

piezometers. The first pit measured 180 cm x 150 cm x 70 cm, and the second 110 cm x 80 cm x 60 cm (Figures 1-2). In the larger pit, a *cocciopesto* floor (165 cm x 150 cm, 10 cm thick) was recreated [3].

Three humidity sensors were placed about 10 cm apart at different heights (0-30 cm), in direct contact with one of the wall sections along the northern side of the basin. Subsequently, two corner wall sections were constructed on the *cocciopesto* floor, with lengths of 160 cm (northern wall) and 130 cm (eastern wall), a thickness of about 25-27 cm, and a maximum height of 41 cm [4]. In the corner between the two wall sections, a collapsed brick pillar (63 cm x 25 cm x 25 cm) was erected, positioned diagonally with the aid of sand. Along the eastern wall, broken bricks and fragments of Renaissance tiles were placed to simulate a collapsed and dislodged materials.

In the second pit, a wooden palisade was installed above a layer of geotextile to simulate the bow of an ancient boat. On the surface of the palisade, commercial terracotta pots and Renaissance tiles were placed, mimicking, in terms of material, the load of ceramics, lamps, and amphorae typical of a sunken or abandoned boat along ancient riverbanks [Berti 1990]. These two pits were then covered with the same material present in the basin, obtaining a cover thickness of about 10 cm above the wall section and about 45/50 cm above the pavement.



Fig. 1. Basin of 50 m<sup>3</sup> containing sediments from the Ferrara plain before the start of operations.

## Geophysical survey

The pool with the buried archaeological structures was partially filled with water to simulate the moisture conditions of a real site. Subsequently, several geophysical surveys were performed. In detail, several Ground Penetrating Radar (GPR) profiles and 3D Electrical Resistivity Tomography (ERT) surveys were carried out. The GPR and ERT methods are particularly suitable in experimental laboratory contexts [Capozzoli et al. 2022].

The GPR method uses a high-frequency antenna (50-2000 MHz) to send an electromagnetic signal into subsoil and when there is a permittivity contrast between buried objects and the subsoil, the electromagnetic waves are reflected and picked up by a receiving antenna on the surface [Conyers, Lawrence 2023]. The GPR collects the Two Way Time (TWT) and the amplitude of the em signals along profiles, resulting in 2D images (radargrams) of the distribution of reflections of the subsoil.

The electrical resistivity method is an active geophysical method that consists of injecting an electrical field in the subsoil and to acquire the drop of the potential produced, which are closely correlated with the resistive values for buried structures [Rizzo et al. 2005]. The GPR profiles are carried out by GSSI instrument UtilityScan DF, which incorporates a dual-frequency digital antenna (300 and 800 MHz). Several profiles were acquired (n.43) along parallel lines in two different directions and with a line spacing of 20cm. All the GPR data were elaborated by ReflexW software in order to highlight the main buried structures. The elaborated data highlighted several "anomalies": the hyperbolas indicate the presence



Fig. 2. Sequence of excavation operations, construction of the artefact's, and subsequent coverage with sandy material.

of buried walls, on the contrary the flat reflection surfaces indicate the floor. However, the physical characteristics of the covering material of the buried structures made difficult the interpretation of the radargrams, highlighting the limited effectiveness of the method in contexts of very wet silty or sandy deposits, where the electromagnetic signals are strongly absorbed reducing their penetration. On the contrary, the ERT approach (fig. 3-4) was able to detect the shallow buried structure (the wall), depicting the good investigate skills in this type of context. In detail, the electrical method was acquired with several electrodes (48 electrodes) located on parallel lines with an electrode space of 20cm [5]. The 3D image depicts the presence of the wall, but not the floor; due to the limited depth of penetration compared to the used configuration adapting to the context of the pool. Even if the 3D ERT method is unsuitable for very large areas, it is actually very effective for the detailed analysis of small surfaces of special interest, such as masonry and foundations [Rizzo et al. 2005].



Fig. 3. Acquisitions with electrical resistivity tomography (top) and Ground Penetrating Radar (bottom).

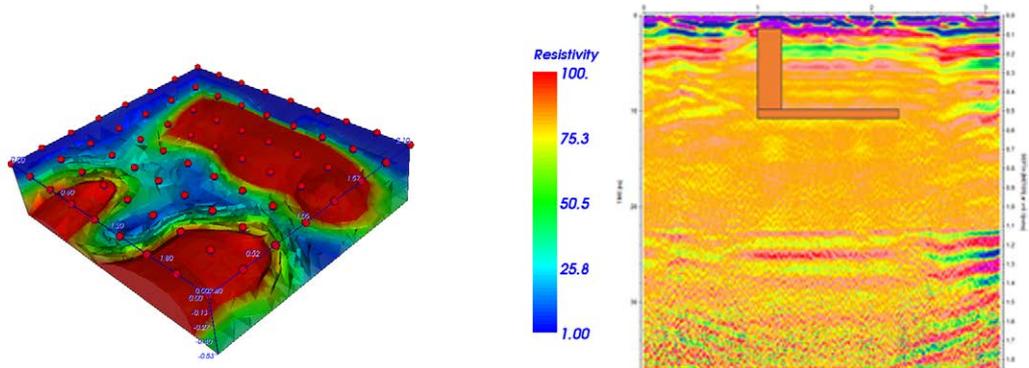


Fig. 4. On the left, the 3D geoelectrical inversion model showing the identification of buried structures. On the right, one of the acquired radargram positioned orthogonally to the buried wall and floor of the archaeological site. The orange lines is the critical interpretation of the buried structures.

### Metric acquisition and comparison of stored data

The survey, which is the basis for an accurate and rigorous comparison of data from various and often complementary instruments that rarely find opportunities for dialogue and comparison, was divided into three successive phases aimed at acquiring the morphometric characteristics of an archaeological excavation simulation (fig. 5).

PHASE 01: After evaluating the test objectives and any potential issues that might arise, the excavation that would soon host the artifacts was acquired in 3D. A 3D laser scanner [6] and an image acquisition system consisting of a telescopic pole [7] with a 3-axis remote-controlled head and a stabilized, remotely orientable camera [8] were used. For this operation, 8 full-dome scans (360° horizontal angle - 300° vertical angle) were performed with an average resolution of 12mm @10 meters (approximately 11,000,000 points). Along with the geometric data (x, y, z), the instrument's internal sensor captured the corresponding spherical maps (RGB), useful not only for texturing the data but also for subsequent alignment and scaling operations of the photogrammetric model obtained from 104 photographs.

PHASE 02: After reconstructing the artefacts, an additional 12 scans and a similar number of photographs were taken as in the previous phase, using the same technologies.

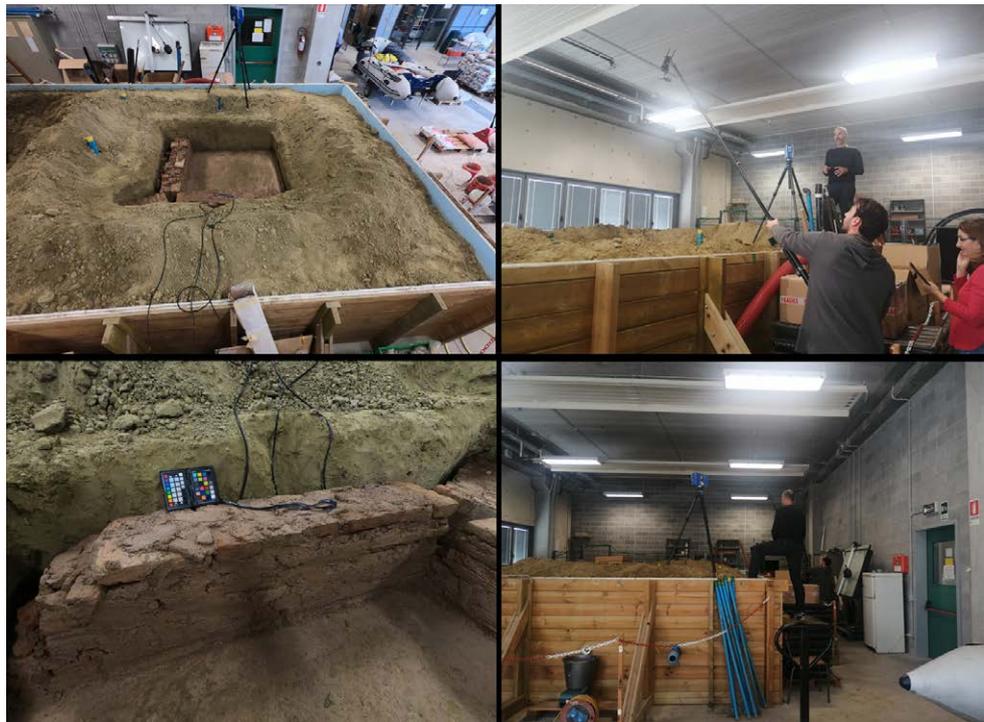


Fig. 5. Sequence of survey operations with the Faro Focus3D X330 scanner and Neutech Onair C108 telescopic pole. The ColorChecker system was also tested.

PHASE 03: With the final 6 scans, the ground level and the reference system ( $x, y, z$ ) necessary for alignment and comparison with the data collected by geophysicists were measured after backfilling (fig. 6).

The stored data, generated by the laser scanner and multistereo photogrammetry, underwent common post-processing operations (alignment, editing, cleaning, export) to obtain a homogeneous and as complete as possible point model of the various stratigraphies [9] (fig. 7). Through a cubic reprojection process of the previously registered point clouds, this model allows for accurate and precise alignment and scaling.

The operations briefly described have thus enabled the generation of a digital clone of the excavation, which can be queried both in its entirety and in the three distinct phases.

At the end of the described phases, the experiment evaluated which methodology to use to compare, verify, and make the data from geophysical surveys and 3D measurement systems usable. For this operation, complex due to the heterogeneity of the data, a graphical comparison was carried out by overlapping the 3D profiles and the corresponding radargrams processed from the georadar survey data, appropriately referenced and dimensioned on the vertical axis [10]. To standardize this process, it was subsequently replicated semi-automatically using a definition in a visual programming environment (<https://www.grasshopper3d.com/>).

Specifically, after loading the laser data in interchange format (.e57) and deconstructing it, it is possible to sequentially display on screen the sections of interest (corresponding to the GPR advancement lines) and, if necessary, vary their thickness. Concurrently, the correlated radargrams are automatically associated from an external repository, displaying them in the background relative to the generated section. This system allows for extremely simplified, fast, and accurate data visualization and comparison (fig. 8).

The attempt to standardize the process highlighted some significant issues, mainly attributable to the non-uniform size of the diagrams produced by the GPR and the consequent necessary adjustment of their insertion and overlap points. Further investigation focused on operations related to the unidirectional scaling of the metric value in depth ( $z$ -axis), deriving from the various and multiple propagation speeds of the laser pulse through different sub-surface layers (fig. 9).

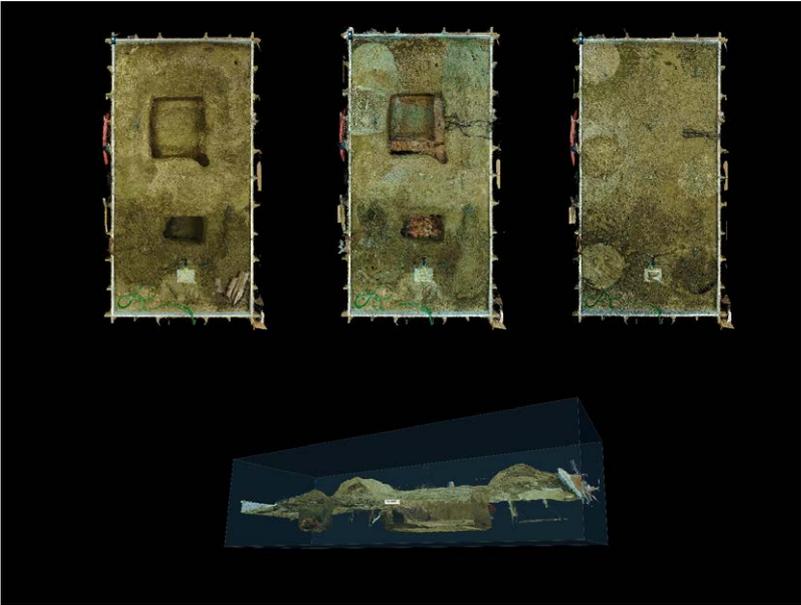


Fig. 6. Point cloud from the laser scanner of the tank in the three processing phases (view in Orthogonal Projections). Below, a perspective section synthesizing the three models.



Fig. 7. View of the point cloud in the three successive phases of the survey (Trimble RealWorks).

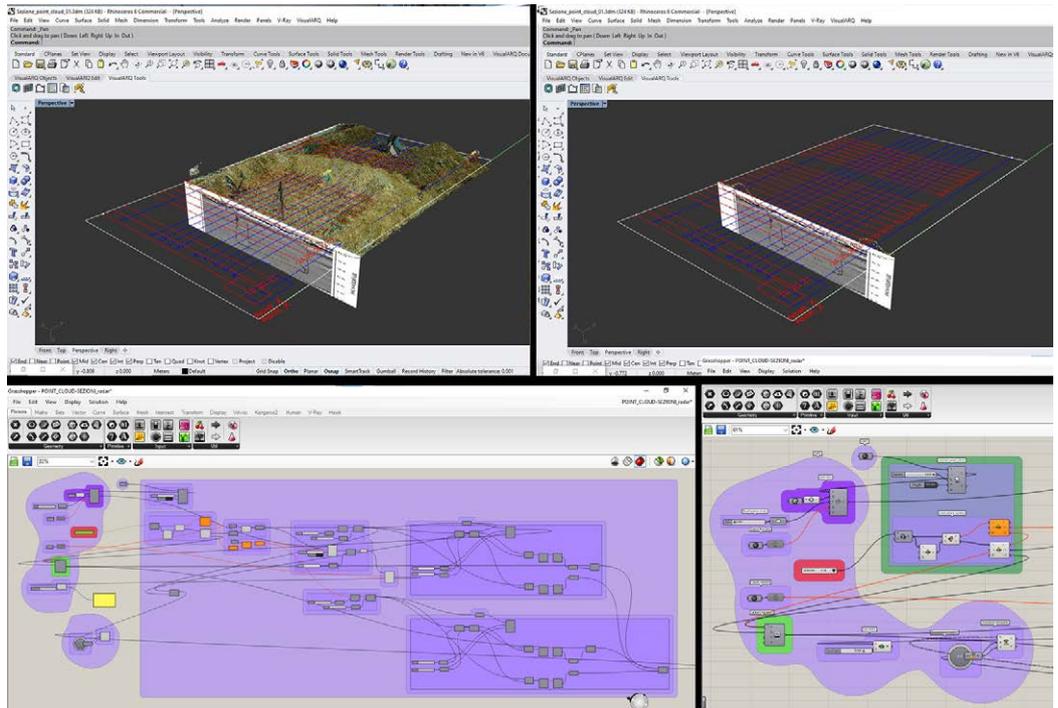


Fig. 8. At the top, the Cartesian grid relative to which the slices of the point cloud were extracted to overlay on the geodetic images. At the bottom left, the semi-automatic setup for section extraction.

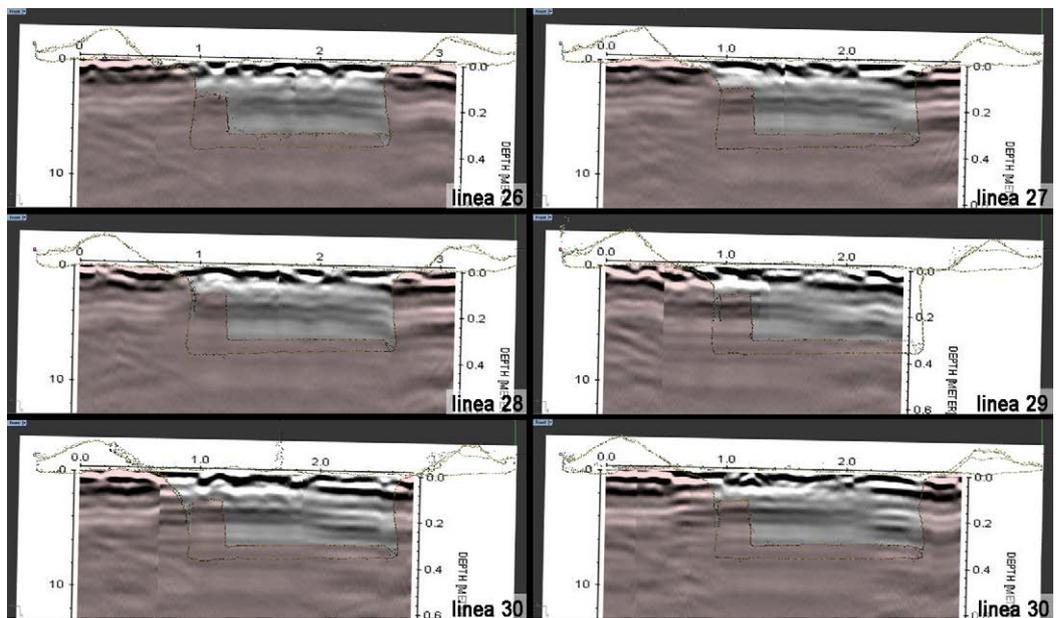


Fig. 9. Comparison graph by overlaying the 3D profiles with the corresponding elaborated radargrams of the GPR survey.

## Conclusion

This work represents the first experience of integrated application by the interdisciplinary group on a specially constructed physical model of an archaeological structure. This model facilitated the sharing of methodologies and processes among researchers. While the obtained results are still in their early stages, they have allowed the involved researchers not only to familiarize themselves with new tools and their respective work phases, but also to analyse and focus on the interpretative phases of the acquired data, particularly the critical reading of the radargram, and the resulting interpretative issues in the context of comparative data analysis.

One of the challenges encountered is the integration between data from laser scanning and ground-penetrating radar. In this initial phase of the research, a comparison was made between the point cloud and the radar image using the latest techniques found in the literature. The innovative aspect of this contribution lies in proposing data utilization in a visual programming environment.

Future developments of this work may involve transforming data from geophysical surveys into a point cloud, a process that requires the use of different software [Zhang et al. 2022]. This output serves as a foundation for further studies to be conducted in archaeological sites, such as the area of the Agosta embankment (Municipality of Comacchio), where the presence of a Roman rustic villa with production structures in use from the 1st century BC to the 4th century AD is known, but only partially investigated in the 1970s. In this site, the group has already carried out a new survey with laser scanning, drone, and ground-penetrating radar. The ultimate goal is to define an interdisciplinary methodology that allows for thorough investigation of an archaeological site, encompassing every aspect from territorial characteristics to geomorphological configuration, for a complete understanding of the invisible landscape.

## Credits

The scientific coordinator of the FIR2021 project is Enzo Rizzo, who harmonised the expertise of the scientific disciplinary sectors GEO11, L-ANT07, ICAR17. Jessica Clementi coordinated the design and realization of the test-site, carried out by Garavello Nicola. Paola Boldrin and Giulia Lia conducted the georadar and geoelectric survey campaign. Cristian Boscaro (laser scanner), Manuela Incerti, and Stefano Costantini (photographic shots for digital photogrammetry) carried out the 3D survey campaign. Cristian Boscaro conducted the integrated data comparison. Manuela Incerti is the scientific coordinator of the project's ICAR17 SSD. Rachele Dubbini is the scientific coordinator of the project's L-ANT07 SSD. Although the research results are from the entire working group, the Introduction paragraph is attributed to Incerti, Rizzo, and Dubbini, The archaeological context and the preparation of the test-site to Clementi, The acquisition of geophysical data to Rizzo, Metric acquisition, and comparison of archived data to Boscaro, and the Conclusions to Incerti and Rizzo.

## Notes

- [1] The construction was entrusted to the Garavello Nicola company and supervised by the under-signed.
- [2] The sediments are characterized by a grain size ranging from fine sand (63-200 micrometers), silt (2-63 micrometers), and a percentage of clay less than 2 micrometers.
- [3] In laying the flooring, brick powder, lime, Brenta sand, and water were used in proportions of 1:1:3:1, applied with wooden tampers. After 24 hours of drying, the tampers were removed and three moisture sensors were placed in the ground.
- [4] For the construction, terracotta bricks taken from an 18th-century house in the Po area (dimensions 25 cm x 12.5 cm x 4.5-6 cm) and mortar made with a mixture of brick powder, lime, Brenta sand, and water in proportions of 1:1:1:1 were used. The bricks, previously soaked in water.
- [5] The instrument used was Abem's Terrameter LT, which allows high quality data to be obtained with remarkable speed (10 channel system).
- [6] Faro - Focus3D X330 - for technical specifications, refer to the manufacturer's website ([https://ats.se/pdf/faro/FARO\\_Laser\\_Scanner\\_Focus3D\\_X\\_330\\_Tech\\_Sheet.pdf](https://ats.se/pdf/faro/FARO_Laser_Scanner_Focus3D_X_330_Tech_Sheet.pdf)).
- [7] Neutech Onair C108 - for technical specifications, refer to the manufacturer's website (<https://www.neutech.space/>).
- [8] Hero 7 Black - for technical specifications, refer to the manufacturer's website (<https://gopro.com/it/it/update/hero7-black>).
- [9] The software used for the alignment of laser data and their respective phases is Trimble RealWorks (<https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-realworks>), and the software used for aligning acquired photographs and extracting the dense cloud is Capturing Reality (<https://www.capturingreality.com>). The latter, through a cubic reprojection process of the previously recorded point clouds, allows for accurate and precise alignment and scaling of the produced model.
- [10] In this initial phase of the research, the comparison between the point cloud and the Georadar image was carried out according to the latest experimental techniques.

## References

- Balista C., Bruni M. (2022). Il fiume, il delta, il mare. In Reusser C. (Ed.). *Spina 100 dal mito alla scoperta a un secolo dal ritrovamento della città etrusca di Spina nell'antico delta del Po*, pp. 15-24. Roma: Teseo Editore.
- Barrile V., Meduri G.M. (2007). Sperimentazione ed integrazione di rilievi laser scanner e georadar. In *11a Conferenza Nazionale ASITA. Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali*, Torino, 6-9 novembre 2007, pp. 273-278.
- Barrile V., et al. (2022). Integration of Laser Scanner, Ground-Penetrating Radar, 3D Models and Mixed Reality for Artistic, Archaeological and Cultural Heritage Dissemination. In *Heritage*, 5, pp. 1529-1550. <<https://doi.org/10.3390/heritage5030080>>
- Berti F. (Ed.) (1990). *Fortuna maris: la nave romana di Comacchio*. Bologna: Nuova Alfa.
- Bondesan M. (2001). L'evoluzione idrografica e ambientale della pianura ferrarese negli ultimi 3.000 anni. In Bondesan M., Broglio A., Pagnoni G.A. (Eds.). *Storia di Ferrara. Territorio e Preistoria*, Vol. I, pp. 228-263. Ferrara: Corbo editore.
- Bruni M. (2020). Note di geo-archeologia sul territorio di Spina. In Castiglioni M.P., Curcio M., Dubbini R. (Eds.), *Incontrarsi al limite. Ibridazioni mediterranee nell'Italia preromana*, pp. 345-354. Roma-Bristol: L'Erma di Bretschneider.
- Capozzoli L., Giampaolo V., De Martino G., Perciante F., Lapenna V., Rizzo E. (2022). ERT and GPR prospecting applied to unsaturated and subwater analogue archaeological site in a fullscale laboratory. In *Applied Sciences*, n. 12 <<https://doi.org/10.3390/app12031126>>
- Cazzola, F. (2021). *Uomini e fiumi. Per una storia idraulica ed agraria della bassa pianura del Po (1450-1620)*. Roma: Viella editore.
- Conyers, L. (2023). *Ground-penetrating radar for archaeology*. New Kingstown, PA: Rowman & Littlefield.
- Corazzi R. (2005). Il rilievo. Indagini in profondità sul modello reale con strumentazioni avanzate: il georadar. In M. Docci, T. Fiorucci (Eds.), *Metodologie innovative integrate per il rilevamento dell'Architettura e dell'Ambiente, Ricerca COFIN 2002*, pp. 251-253. Roma: Gangemi Editore.
- Cordoni C. (2016). L'insediamento extraurbano nell'Emilia Romagna orientale. In *Ocnus*, n. 24, pp. 87-107.

De Smet T.S., et al. (2019). The fate of the historic fortifications at Alcatraz island based on terrestrial laser scans and ground-penetrating radar interpretations from the recreation yard. In *Near Surface Geophysics*, n. 17, pp. 151–168. <doi: 10.1002/nsg.12031>

Gelichi, S. (2019). Imbarcazioni sul delta del Po: dalla Fortuna Maris alle monossili. Una storia di barche, di uomini, di paesaggi e di economie (e di musei). In Lopez Ballesta J. M. (ed.), *Phicaria. VII Encuentros Internacionales del Mediterraneo*, pp. 64-76. Mazaron: I.G. Novoarte S.L.

Gelichi, S. (2021). Oltre gli empori e il 'mare corrotto': Comacchio e l'Adriatico tra VIII e XI secolo. In Gelichi S., Negrelli C., Grandi E. (Eds.). *Un emporio e la sua cattedrale. Gli scavi di piazza XX Settembre e Villaggio San Francesco a Comacchio*, pp. 641-740. Firenze: All'Insegna del Giglio.

Puente I.; Solla M.; Lagüela S.; Sanjurjo-Pinto J. (2018). Reconstructing the Roman Site "Aquis Querquennis" (Bande, Spain) from GPR, T-LiDAR and IRT Data Fusion. In *Remote Sensing*, n. 10 <<https://doi.org/10.3390/rs10030379>>

Rizzo E., Chianese D., V. Lapenna (2005). Magnetic, GPR and geoelectrical measurements for studying the archaeological site of 'Masseria Nigro' (Viggiano, southern Italy). In *Near Surface Geophysics*, vol. 3, n. 1, pp. 13-19. <doi: 10.3997/1873-0604.2004025>

Veggiani A. (1970). L'idrografia dell'antico Delta Padano tra Ravenna e Comacchio. In *Bollettino economico della camera di commercio, industria, artigianato e agricoltura di Ravenna*, n. 12, pp. 3-12.

Zhang D., et al. (2022). Integration of Terrestrial Laser Scanner (TLS) and Ground Penetrating Radar (GPR) to Characterize the Three-Dimensional (3D) Geometry of the Maoyaba Segment of the Litang Fault, Southeastern Tibetan Plateau. In *Remote Sensing*, n. 14, <<https://doi.org/10.3390/rs14246394>>

#### Authors

Cristian Boscaro, Università degli studi di Ferrara, [cristian.boscaro@unife.it](mailto:cristian.boscaro@unife.it)

Rachele Dubbini, Università di Ferrara, [rachele.dubbini@unife.it](mailto:rachele.dubbini@unife.it)

Jessica Clementi, Università La Sapienza di Roma, [jessica.clementi@uniroma1.it](mailto:jessica.clementi@uniroma1.it)

Enzo Rizzo, Università di Ferrara, [enzo.rizzo@unife.it](mailto:enzo.rizzo@unife.it)

Manuela Incerti, Università di Ferrara, [icm@unife.it](mailto:icm@unife.it)

To cite this chapter: Cristian Boscaro, Rachele Dubbini, Jessica Clementi, Enzo Rizzo, Manuela Incerti (2024). Procedure e tecniche di rilievo integrate per l'analisi di strutture archeologiche sepolte: test-site e analisi delle principali problematiche/Integrated survey, procedures and techniques for the analysis of buried archaeological structures: test-site and analysis of main issues. In Bergamo F., Calandriello A., Ciamaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/ Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 935-956.