

*Quaderni
Norensi*



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Università degli Studi di Padova

Dipartimento dei Beni Culturali: archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica

Piazza Capitaniato 7 - 35139 Padova

Le attività sono state condotte in regime di concessione da parte del Ministero della Cultura rilasciata l'01/06/2023 con decreto n. 705.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI CAGLIARI

Università degli Studi di Cagliari

Dipartimento di Lettere, Lingue e Beni Culturali

Via Is Mirrionis 1 - 09123 Cagliari

Le attività sono state condotte in regime di concessione da parte del Ministero della Cultura rilasciata l'01/06/2023 con decreto n. 704.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA

Università degli Studi di Genova

Dipartimento di Antichità, Filosofia e Storia

Via Balbi 4 - 16126 Genova

Le attività sono state condotte in regime di concessione da parte del Ministero della Cultura rilasciata il 14/07/2023 con decreto n. 944.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

Università degli Studi di Milano

Dipartimento di Beni Culturali e Ambientali

Via Noto 6 - 20141 Milano

Le attività sono state condotte in regime di concessione da parte del Ministero della Cultura rilasciata il 12/07/2023 con decreto n. 932.



MINISTERO
DELLA
CULTURA

Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Cagliari e le province di Oristano e Sud Sardegna

Via Battisti, 2 - 09123 Cagliari / Piazza Indipendenza, 7 - 09124 Cagliari

Rivista biennale open access e peer reviewed

Archivio digitale: <https://quaderninorensi.padovauniversitypress.it>

Direttore responsabile / Editor-in-chief

Marco Perinelli

Comitato scientifico / Advisory board

Giorgio Bejor (Università degli Studi di Milano)

Jacopo Bonetto (Università degli Studi di Padova)

Romina Carboni (Università degli Studi di Cagliari)

Federica Chiesa (Università degli Studi di Milano)

Simone Dilaria (Università degli Studi di Padova)

Andrea Raffaele Ghiotto (Università degli Studi di Padova)

Bianca Maria Giannattasio (Università degli Studi di Genova)

Marco Giuman (Università degli Studi di Cagliari)

Silvia Pallecchi (Università degli Studi di Genova)

Chiara Pilo (Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Cagliari e le province di Oristano e Sud Sardegna)

Caterina Previato (Università degli Studi di Padova)

Elena Romoli (Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Cagliari e le province di Oristano e Sud Sardegna)

Arturo Zara (Università degli Studi di Padova)

Cura editoriale / Editing

Stefania Mazzocchin (Università degli Studi di Padova)

Arturo Zara (Università degli Studi di Padova)

Progettazione e layout / Design and layout

Silvia Tinazzo (Università degli Studi di Padova)

Arturo Zara (Università degli Studi di Padova)

In copertina: Nora, veduta aerea della penisola da est (cortesia del Consorzio Agenzia Turistica Costiera Sulcitana-STL Karalis, foto Ales&Ales).

ISSN 2280-983X

e-ISSN 2420-837X

© Padova 2024, Padova University Press

Università degli Studi di Padova

via del Risorgimento, 9 - 35122 Padova

tel. 049 8271962

e-mail: padovauniversitypress@unipd.it

www.padovauniversitypress.it

Le foto di reperti di proprietà dello Stato sono pubblicate su concessione del Ministero della Cultura, Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Cagliari e le province di Oristano e Sud Sardegna.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata in tutto o in parte la riproduzione dei testi e delle illustrazioni.

Volume stampato presso Grafiche Turato - Rubano (PD)

Quaderni Norensi

10

Indice

<i>Editoriale</i> Jacopo Bonetto, Arturo Zara	p.	IX
Il quartiere occidentale Università degli Studi di Genova	»	1
<i>Nora. Lo smaltimento dei rifiuti in area urbana: dati dal Quartiere Occidentale</i> Bianca Maria Giannattasio	»	3
<i>Nora, Quartiere Occidentale: una residenza con stibadium nell'area C2?</i> Silvia Pallecchi	»	11
<i>Nora: attività archeologiche nell'area a Sud-Ovest del settore C2</i> Elena Santoro	»	21
<i>Nora, Area C2, Ampliamento Sud: campagne di scavo 2022 e 2023</i> Valentina Gallo	»	27
<i>Rilievo fotogrammetrico integrato a LiDAR per l'indagine e la ricostruzione virtuale di due cisterne presso l'area C2</i> Simone Giosuè Madeo	»	33
<i>Nora, settore C2: alcune note sulla terra sigillata africana dagli scavi 2023</i> Mario Nicola Gallo	»	41
<i>Analisi dei frammenti di intonaco dipinto dall'area C2: proposte preliminari di ricostruzione</i> Alice Capobianco	»	45
Il quartiere centrale Università degli Studi di Milano	»	51
<i>Le Terme Centrali. Campagna di scavo 2022</i> Roberta Albertoni, Ilaria Frontori	»	53
<i>Ricerche nella cala occidentale. L'Edificio 1</i> Ilaria Frontori, Francesco Giovineti	»	63

<i>Casa del Pozzo. Campagne di scavo 2022-2023</i>	p.	73
Giuseppe Bertolino, Gaia Filisetti, Matteo Mariuzzo, Giorgio Rea		
<i>Materiali ceramici punici dalle fasi repubblicane delle Case a Mare. Alcuni contesti dell'ambiente Ad</i>	»	83
Francesca Della Valentina		
Le Terme a Mare	»	99
<i>Pozzolane vulcaniche nelle malte delle Terme a Mare di Nora. Risultati preliminari</i>	»	101
Zeno Caneva, Simone Dilaria		
Il quartiere orientale	»	115
Università degli Studi di Padova		
<i>Il saggio PO</i>		
<i>La strada orientale (saggio PO, trincea II): un palinsesto di storia urbana</i>	»	117
Jacopo Bonetto, Arturo Zara		
<i>L'edificio a est del foro (saggio PO). Campagne di scavo 2022-2023</i>	»	129
Giulio Alberto Da Villa, Beatrice Marchet, Arturo Zara		
<i>Studio dei contesti ceramici delle fasi di abbandono, di crollo e di spoliazione dell'edificio a est del foro. Gli ambienti VII e VIII</i>	»	149
Chiara Andreatta, Alice Barbisan, Arturo Zara		
<i>La decorazione pittorica del vano III dell'edificio a est del foro</i>	»	191
Federica Stella Mosimann, Arturo Zara		
<i>Nora. Le monete dagli scavi 2022-2023 dall'edificio a est del foro</i>	»	201
Michele Asolati		
<i>Il saggio PV</i>		
<i>Il santuario sulle pendici orientali del Colle di Tanit: campagne di scavo 2022 e 2023</i>	»	207
Jacopo Bonetto, Eliana Bridi, Chiara Giroto, Caterina Previato		
<i>Manufatti in osso dal santuario sulle pendici orientali del colle di Tanit</i>	»	227
Leonardo Pio Barletta, Martina Naso		
Le Terme di Levante	»	235
Soprintendenza ABAP-CA		
<i>Le terme di Levante a Nora (Pula). I primi dati delle nuove ricerche</i>	»	237
Gianfranca Salis, Paola Fenu		

Ex Base della Marina Militare	p.	247
<i>L'area settentrionale - La necropoli fenicia e punica</i>		
Università degli Studi di Padova		
<i>L'area della necropoli fenicia e punica di Nora: Saggi 1, 4 e 5. Indagini 2022-2023</i>	»	249
Jacopo Bonetto, Simone Dilaria, Alessandro Mazzariol, Noemi Ruberti		
<i>La necropoli fenicio-punica occidentale di Nora e gli small finds: campagne di scavo 2022-2023</i>	»	279
Sara Balcon		
<i>Lo studio bioarcheologico di Nora antica. Nuovi dati dall'analisi del record osteologico e tessile dalle tombe a cremazione e a inumazione della necropoli occidentale fenicia e punica</i>	»	295
Melania Gigante, Noemi Ruberti, Vito Giuseppe Prillo, Margarita Gleba		
<i>Analisi archeometriche sui campioni di malta da infrastrutture idrauliche della Marina Militare</i>	»	315
Laura Buganza, Simone Dilaria		
Ex Base della Marina Militare	»	323
<i>L'area meridionale - L'abitato romano</i>		
Università degli Studi di Cagliari		
<i>Nora, Area Omega. Marchi di cava o segni di cantiere? Le incisioni sui basoli della grande piazza settentrionale</i>	»	325
Emiliano Cruccas		
<i>Ricordando Marco</i>	»	337
Bianca Maria Giannattasio		
<i>Indirizzi degli Autori</i>	»	341

Editoriale

L'uscita del decimo volume dei *Quaderni Norensi* corrisponde a un nuovo traguardo conseguito dalla Missione archeologica interuniversitaria di Nora, che raggiunge così il ventennale della rivista interamente dedicata alle relazioni e agli studi preliminari riguardanti i progetti di scavo, ricerca e valorizzazione della città antica. Il periodico dedicato esclusivamente a Nora, esperienza editoriale non ordinaria nel panorama delle ricerche archeologiche nazionali, prese avvio nel 2005 (*Cisalpino*) per soddisfare l'esigenza – comune tra tutti i soggetti coinvolti nelle ricerche norensi – di costante condivisione e confronto dei dati acquisiti in una sede dedicata.

Nell'editoriale del primo numero dei *Quaderni Norensi*, il Comitato scientifico dichiarava infatti che, nonostante in precedenza gli studi preliminari su Nora fossero stati regolarmente ospitati nei *Quaderni della Soprintendenza Archeologica per le provincie di Cagliari e Oristano*, storica rivista fondata da Ferruccio Barreca, «*quanti si occupano di Nora hanno ritenuto di alleggerire questo peso [ossia quello degli articoli della Missione archeologica], divenuto ormai insostenibile da una sola rivista, con la presentazione dei risultati in una apposita collana*»¹. Da allora, i *Quaderni* sono maturati e, da volumi miscelanei, sono diventati formalmente rivista scientifica per l'area 10 secondo la classificazione ANVUR, con una nuova veste e un nuovo editore (*Padova University Press*) e sono ora pubblicati con regolare cadenza biennale, sia in versione a stampa, sia in formato digitale *open-access* e *peer-reviewed*.

In queste prime dieci uscite, la rivista ha ospitato oltre 260 contributi dedicati all'analisi stratigrafica dei saggi, agli studi cronologici, tipologici, storico-artistici, epigrafici e archeometrici relativi alla cultura materiale, a sintesi di carattere urbanistico e territoriale. Questi e molti altri temi relativi a Nora sono stati trattati non solo dai docenti degli Atenei impegnati sul sito e da ricercatori affermati, ma anche dai più giovani studiosi, spesso ancora studenti, che in molte circostanze hanno avuto nei *Quaderni* l'occasione di cimentarsi per la prima volta con un'edizione scientifica delle proprie ricerche. E la rivista ha accolto pure idee e punti di vista di studiosi non impegnati direttamente a Nora, ma legati ad essa da relazioni di competenza e di interesse che hanno di molto arricchito le letture dei dati emersi dalle ricerche.

Proprio il fervido e continuo sforzo di mettere a disposizione della comunità scientifica gli esiti delle indagini in corso, reso possibile con la periodica pubblicazione dei *Quaderni*, alimenta la ricerca a Nora e le conferisce vivacità. I rapporti di scavo e gli studi sui materiali e sui contesti ceramici, ad esempio, per quanto talora preliminari e passibili di precisazioni col prosieguo delle indagini, forniscono a quanti operano nella città – e non solo – l'opportunità di una tempestiva conoscenza delle più recenti scoperte e dei filoni di studio tracciati dai singoli gruppi di ricerca. Di volta in volta, gli articoli della rivista contribuiscono allo sviluppo delle conoscenze sulla città antica, presentando nuove aree e nuovi saggi sulla penisola norense, affrontando nuove tematiche, oppure riproponendo argomenti noti con aggiornati approcci metodologici.

Ma non solo. La serrata pubblicazione dei risultati scientifici degli Atenei e della Soprintendenza, prodotto naturale delle vaste e intense attività di ricerca a Nora, rendono dinamico il sito, contribuendo alla sua crescita

¹ *Comitato Scientifico* 2005, p. IX.

non solo come oggetto di studio, ma come parco archeologico, che – grazie alla sinergia tra le Università, la Soprintendenza e la Fondazione Pula Cultura Diffusa – si presenta ogni giorno rinnovato e sempre più attrattivo per il grande pubblico. Sempre nel primo editoriale di questa rivista si citavano le «oltre 60.000 persone all'anno»² in visita a Nora; quasi 93.000 sono stati i biglietti staccati nel 2023, preludio all'eccezionale traguardo degli oltre 100.000 visitatori che hanno visitato la città nel corrente 2024. E riteniamo sia anche nella “freschezza” garantita a Nora dalla costanza e dalla consistenza delle pubblicazioni – nei *Quaderni* così come nella collana *Scavi di Nora*, da poco arrivata all'XI volume – che vada ricercata la ragione del progressivo incremento delle visite: la traduzione delle novità scientifiche in prodotti divulgativi (come la *Guida* del 2018³, il *virtual tour*⁴ o, venendo ai mesi appena trascorsi, la nuova pannellistica del sito) permettono alla città antica sul capo di Pula di distinguersi infatti da altri siti archeologici del panorama nazionale e internazionale che, sebbene talora di maggior rilevanza sul piano storico, non godono dello stesso fermento nelle ricerche e degli stessi aggiornati strumenti di visita, apparendo dunque meno comprensibili e, conseguentemente, meno attrattivi agli occhi dei non specialisti.

Varie le novità presentate anche in questo numero dei *Quaderni Norensi*. La sezione di apertura, dedicata alle ricerche dell'Università di Genova, presenta sotto varie chiavi il quartiere residenziale situato nel settore occidentale della penisola, che sempre più va delineandosi come un'area diffusamente frequentata nel corso di tutta l'età tardoantica. Apre il contributo di B.M. Giannattasio sugli immondezzai di questo comparto urbano, ove comunque si stanno individuando tipologie edilizie anche di un certo rilievo, quali il possibile *stibadium* ipotizzato da S. Pallecchi nell'area C2. Seguono le relazioni di scavo (E. Santoro e V. Gallo) e gli approfondimenti relativi alle attività di rilievo delle strutture idrauliche interrato (S.G. Madeo) e alla cultura materiale (M.N. Gallo, terra sigillata; A. Capobianco, intonaco dipinto).

Al vasto quartiere centrale è dedicata la sezione successiva, che comprende i contributi dell'Università degli Studi di Milano. R. Albertoni e I. Frontori danno conto degli scavi di alcuni vani ausiliari delle Terme Centrali, ma altrettanto spazio è dato dalla stessa I. Frontori e da F. Giovinetti a un edificio privato tardoimperiale con spiccata vocazione produttiva, situato a nord-est della Casa del Direttore Tronchetti e in precedenza non indagato. Segue la relazione dedicata allo sviluppo delle indagini presso la Casa del Pozzo (G. Bertolino, G. Filisetti, M. Mariuzzo, G. Rea), *domus* imperiale di cui si stanno via via precisando i limiti. Uno studio sui materiali ceramici di età fenicia e punica da uno dei vani delle cd. Case a Mare, di F. Della Valentina, conferma una volta di più come il settore urbano lungo il litorale sud-orientale della penisola fosse un tratto dell'abitato frequentato sin dalle prime fasi del centro norense.

Rimanendo nel comparto centrale di Nora, presentano uno studio archeometrico sulle malte delle Terme a Mare Z. Caneva e S. Dilaria (Università degli Studi di Padova), ponendo il *focus* sulla presenza nei leganti dell'edificio pubblico di pozzolane di probabile provenienza flegrea, tema già sviluppato per altri monumenti urbani, quali il Tempio romano e quello di Esculapio, e che sempre più suggerisce l'esistenza di un'attiva direttrice commerciale tra Nora e l'area campana nella fase medioimperiale.

L'ampia sezione dedicata al quartiere orientale di Nora – settore della penisola oggetto delle ricerche dell'Ateneo patavino – si apre con il contributo sull'asse stradale che, dalle prime fasi di frequentazione della penisola sino alla tarda antichità collegava l'area forense al promontorio della Torre di Sant'Efisio (J. Bonetto, A. Zara). Segue la relazione di scavo del saggio PO (G.A. Da Villa, B. Marchet, A. Zara), ormai approfonditosi al di sotto dei livelli imperiali e che ha messo in luce una grande struttura pubblica di età preromana, posta a sbarramento dell'istmo nel suo punto di massimo restringimento. Tre sono i contributi dedicati alle testimonianze della cultura materiale dell'edificio a est del foro: sui contesti ceramici delle più tarde fasi di vita del complesso (C. Andreatta, A. Barbisan e A. Zara); sulla decorazione pittorica del soffitto del vano III (F. Stella Mosimann, A. Zara); sui reperti monetali delle ultime due campagne di scavo (M. Asolati). Spostandosi lungo le pendici orientali del colle di Tanit, J. Bonetto, E. Bridi, C. Giroto e C. Previato danno conto delle rilevanti novità sul grande edificio di culto del quale sempre più si stanno definendo le forme architettoniche. Su due particolari reperti in osso lavorato provenienti da questo contesto sacro è invece l'articolo di L.P. Barletta e M. Naso.

G. Salis e P. Fenu presentano i recenti scavi presso le Terme di Levante, complesso termale di Nora imperiale ancora per vari versi sfuggente, ma su cui stanno via via facendo luce le indagini della Soprintendenza cagliari-tana avviate a margine dell'intervento di restauro dell'apparato musivo.

² Comitato Scientifico 2005, p. VII.

³ BONETTO *et alii* 2018.

⁴ BONETTO, CARLANI, ZARA 2022.

Segue la sezione dedicata alla necropoli fenicia e punica presso l'ex Base della Marina Militare, sempre a cura dell'Università degli Studi di Padova. J. Bonetto, S. Dilaria, A. Mazzariol e N. Ruberti presentano gli scavi stratigrafici delle tombe a incinerazione secondaria fenicie, di un'inumazione e di un grande ipogeo punici nei saggi 1 e 5, mentre le attività nel saggio 3 hanno messo in evidenza come l'area in età romana repubblicana e imperiale abbia subito un'ampia riconversione funzionale in chiave abitativa e produttiva. Di S. Balcon è lo studio degli *small finds* della necropoli rinvenuti nelle campagne 2022-2023, fra i quali si distingue senz'altro il balsamario in *faience* configurato a babbuino. A M. Gigante, N. Ruberti, V. G. Prillo e M. Gleba si deve invece lo studio sui reperti osteologici e tessili relativi alle tombe a cremazione e a inumazione; segue un approfondimento di carattere archeometrico sulle malte di rivestimento idraulico delle cisterne installate nell'area in età romana (L. Buganza, S. Dilaria).

Venendo infine allo spazio suburbano oggetto di studio da parte dell'Università degli Studi di Cagliari e alla grande piazza lastricata in corso di scavo dal 2015 (area Omega), si deve a E. Cruccas un approfondimento su alcuni segni alfabetici incisi sul basolato, da mettere forse in relazione a periodiche attività di manutenzione della pavimentazione o dei sottoservizi.

Il volume si chiude con un ricordo che Bianca Maria Giannattasio dedica a Marco Rendeli, che proprio nel primo numero di questo periodico aveva tracciato un quadro diacronico derivante dalle sue ricerche sul territorio norense⁵. A Marco Rendeli, Fabio Dessena, Paolo Bernardini e Luca Restelli – maestri, colleghi e amici che su queste pagine hanno scritto – è dedicato il decimo numero dei *Quaderni Norensi*.

Jacopo Bonetto, Arturo Zara

Bibliografia

BONETTO *et alii* 2018 = BONETTO J., BEJOR G., BONDI S.F., GIANNATTASIO B.M., GIUMAN M., TRONCHETTI C. (a cura di) 2018, *Nora, Pula*, Sassari.

BONETTO J., CARLANI R., ZARA A. 2022, *Il progetto e-archeo. Nuove ricostruzioni virtuali per la fruizione e la valorizzazione di Nora*, in *Quaderni Norensi*, 9, pp. 355-366.

Comitato Scientifico 2005, *Editoriale*, in *Quaderni Norensi*, 1, pp. VII-IX.

RENDELI M. 2005, *Paesaggi Noensi II*, in *Quaderni Norensi*, 1, pp. 165-181.

⁵ RENDELI 2005.

Il quartiere occidentale



Università degli Studi di Genova

Rilievo fotogrammetrico integrato a LiDAR per l'indagine e la ricostruzione virtuale di due cisterne presso l'area C2

Simone Giosuè Madeo

Abstract

Il presente studio illustra una metodologia avanzata per l'acquisizione di un rilievo fotogrammetrico, integrato da LiDAR, effettuato su due cisterne rinvenute, a poca distanza l'una dall'altra, presso l'area C2, poco a nord rispetto al complesso delle Piccole Terme. L'acquisizione della nuvola di punti e il rilievo topografico di superficie hanno visto l'utilizzo di strumentazione fotografica integrata a un sensore LiDAR in grado di raggiungere una distanza fino a 5 metri di profondità, anche in zone con poca luce. Una antenna GNSS ha permesso il posizionamento all'interno del rilievo topografico di tutto il saggio indagato, così da ridurre il margine di errore. Il rilievo ha permesso lo sviluppo di due modelli tridimensionali complessi, comprensivi di dati relativi alle dimensioni degli ambienti, alle caratteristiche costruttive e all'ipotesi ricostruttiva per le aree impossibili da esplorare.

The present paper presents an advanced methodology for acquiring a photogrammetric survey, enhanced with LiDAR, conducted on two cisterns located close to each other in area C2, just north of the "Piccole Terme" complex. This process of capturing the point cloud and conducting the surface topographic survey utilized photographic equipment integrated with a LiDAR sensor, capable of penetrating up to 5 metres in depth, even in low-light conditions. The inclusion of a GNSS antenna facilitated precise positioning within the topographic survey of the entire area under study, thereby minimizing the margin of error. This comprehensive survey enabled the development of two intricate three-dimensional models, encompassing details about the dimensions of the spaces, structural characteristics, and reconstruction hypotheses for areas that were otherwise inaccessible.

1. Il rilievo fotogrammetrico delle cisterne

Nell'ambito delle ricerche per l'acquisizione di un modello digitale misurabile delle superfici nascoste delle cisterne individuate durante gli scavi dell'Università di Genova nell'area C2¹ di Nora (CA) è stata utilizzata la tecnica del rilievo fotogrammetrico.

L'approccio fotogrammetrico permette, attraverso l'elaborazione di una serie di fotogrammi, di costruire un modello tridimensionale digitale, interrogabile in termini di dimensioni e gestibile in ambiente CAD. Tramite

¹ L'area C2, indagata a partire dal 2017, è situata poco a nord del complesso delle Piccole Terme, lungo il tracciato della grande strada E-F, che procede da Nord verso la zona delle Terme Centrali, cfr. PALLECCHI 2018, PALLECCHI 2020a, PALLECCHI 2020b, PALLECCHI 2022.

questo sistema è possibile anche realizzare della documentazione grafica bidimensionale, come planimetrie e sezioni².

La tecnica fotogrammetrica si basa su alcuni fattori ineludibili, riguardanti soprattutto la strumentazione utilizzata nella cattura dei fotogrammi. Tutti i fotogrammi devono essere, infatti, catturati tenendo in considerazione tre fattori principali, che permettono al software di allineare le immagini e di posizionarle correttamente nello spazio³. Tali fattori sono costituiti da: ISO, tempo di esposizione e apertura del diaframma.

La scelta della strumentazione da utilizzare è stata effettuata tenendo ben presenti le problematiche che si sarebbero presentate. Gli ISO (ovvero International Standards Organisation) rappresentano una serie di valori in progressione che indicano la sensibilità delle pellicole e dei sensori. Nella cattura di fotogrammi correttamente esposti all'interno di un ambiente ipogeo, è fondamentale tenere i valori ISO abbastanza alti. Contemporaneamente, aumentando notevolmente tale parametro è necessario incrementare la stabilità del dispositivo, poiché ogni minima variazione di posizione della camera potrebbe produrre un fotogramma sfocato e mosso, il cosiddetto rumore. Altro valore tenuto in grande considerazione è stato il tempo di esposizione, cioè il tempo durante il quale l'otturatore della camera resta aperto e in cattura. Tale dimensione si misura in secondi e frazioni di secondo.

Nelle operazioni per il rilevamento della Cisterna Ovest⁴ di Nora, il tempo di cattura è stato aumentato il più possibile per ottenere un fotogramma ricco di informazioni sui dettagli della struttura. Terzo e ultimo parametro cardine delle impostazioni regolate sulla camera è stato l'apertura del diaframma: esso determina la quantità di luce che raggiunge il sensore e consiste in un meccanismo di lamelle meccanico. Questo parametro è di fondamentale importanza poiché influisce indirettamente su una delle informazioni che il software di elaborazione dei dati utilizzerà: la profondità di campo che, nell'elaborazione digitale dei dati, determina il posizionamento

dei punti generati sugli assi x , y e z ⁵. Se la profondità di campo non è ben regolata si ottiene un posizionamento erroneo, poiché il software, attraverso l'applicazione dei suoi algoritmi di allineamento, tenderà a posizionare i punti su un unico piano, appiattendolo il modello.

Nel caso di Nora, lo strumento utilizzato per la cattura dei fotogrammi è una fotocamera *Reflex* con obiettivo intercambiabile e sensore CMOS, dotata di obiettivo EF-S 18-55 mm, di un protocollo di comunicazione wi-fi in grado di generare una linea rapida e affidabile, di supporto per asta telescopica e di un mirino elettronico *live-view*. Il formato dei fotogrammi ottenuti è stato impostato a un rapporto 3:2 e ciascuno di essi ha condiviso con il fotogramma successivo almeno il 75% del contenuto.

Mediante il supporto per asta telescopica è stato possibile inserire la camera all'interno dell'apertura superiore dell'ipogeo, con sufficiente libertà di movimento per effettuare una rotazione a 360°. In modalità *live-view*, in collegamento con uno *smartphone* con sistema operativo android, è stato possibile scegliere le angolazioni migliori e procedere con l'acquisizione dei fotogrammi (fig. 1). Per garantire un'illuminazione quanto più omogenea possibile è stato utilizzato un faretto mobile, con luminosità 2.000 lm, per evitare di sovraesporre porzioni del manufatto da rilevare, e del



Fig. 1. Nora. Quartiere occidentale: acquisizione da remoto dei fotogrammi mediante dispositivo android con camera in modalità *live-view*.

² ADDISON, GAIANI 2000.

³ BINI, VERDIANI 2006.

⁴ Le due cisterne vengono identificate, all'interno del testo, in base alla loro collocazione, Ovest ed Est, all'interno dell'area C2.

⁵ REMONDINO 2011.



Fig. 2. Nuvola dei punti densa della cisterna generata dal rilievo fotogrammetrico.

peso di 1,23 Kg, per essere facilmente gestibile in termini di dimensioni e peso. Sullo schermo dello smartphone, in comunicazione diretta con la camera, mediante protocollo wi-fi è stato visionato preventivamente l'ingombro della struttura, in modo da organizzare una strategia di cattura dei fotogrammi e da ottimizzare i parametri ISO, tempo di esposizione e apertura del diaframma. La configurazione utilizzata, che ha permesso di ottenere fotogrammi puliti e corretti, è la seguente: apertura focale $f/3.5$; tempo di esposizione $1/5$ sec.; distanza focale 18 mm.

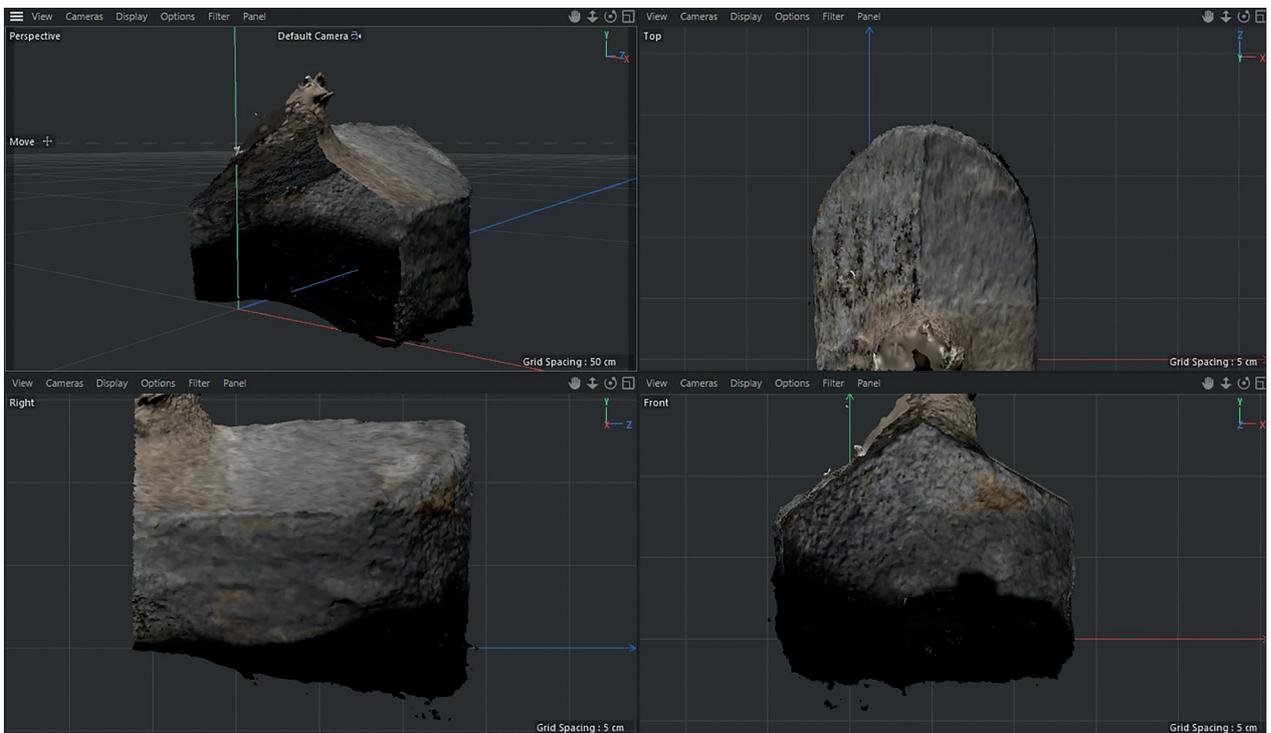


Fig. 3. Gestione del modello fotogrammetrico in ambiente tridimensionale.



Fig. 4. Riparazione della tessitura delle mesh del modello tridimensionale con il software Meshlab utilizzando il comando “Close Holes”.

Le dimensioni della cisterna, caratterizzata da un andamento E/O e da dimensioni pari a 4,05 m di lunghezza per 1,28 m di larghezza e 1,21 m di altezza, hanno consentito il posizionamento della camera ad una buona distanza dalla parete occidentale; allo stesso tempo, il corretto posizionamento della fonte luminosa ha permesso di mettere in luce tutte le pareti della porzione occidentale della struttura, garantendo la ricostruzione dell'involucro nella sua totalità. Il rilievo della porzione orientale della struttura presentava, invece, qualche problema: la parete orientale del vano, infatti, si trovava quasi a ridosso della camera e la vicinanza del faretto causava anche la parziale sovrapposizione di alcune aree. Per correggere le distorsioni determinate da queste circostanze, è stato necessario esportare la nuvola sparsa di punti su software CAD, in modo da verificarne e correggerne la disposizione.

Fondamentale per la costruzione di un modello tridimensionale misurabile e per la redazione di planimetrie e sezioni è stata, poi, la realizzazione di una nuvola di punti densa. Essa permette la classificazione dei punti e la generazione delle *mesh* del modello 3D⁷ ed è sufficiente per generare sia una visione planimetrica, che una sezione altimetrica del contesto.

In rapporto alle strutture oggetto della nostra analisi, si è deciso di generare una nuvola densa non aggressiva, in grado di sviluppare solo i dettagli relativi alla struttura delle pareti di ciascuna cisterna, tralasciando cioè la superficie piana dell'interno, attualmente costituita da terre di riempimento. La nuvola di punti così ottenuta, a colori, può essere esportata su software CAD in formato *.ply* e può essere utilizzata per ricavare sezioni e piante, senza dover necessariamente passare per un modello tridimensionale composto da *mesh* (fig. 2). Questo grado

Ruotando lentamente l'asta telescopica, è stata effettuata una copertura fotografica dell'80% della struttura. La restante porzione risultava occupata dal faretto e da un accumulo di materiale caduto all'interno della cisterna, in epoca anteriore al suo rinvenimento.

I fotogrammi ottenuti, visionati singolarmente e selezionati scartando quelli che mostravano un rumore superiore alla soglia minima processabile, sono stati poi importati all'interno del software di elaborazione, per la procedura di allineamento. In questa fase, il software ricerca i punti comuni sulle fotografie, calcolando e determinando la posizione della camera rispetto al soggetto fotografato e affinando i parametri di calibrazione dello strumento⁶.

Nel caso oggetto di studio, il numero di punti da confrontare è stato impostato su 40.000, con un ancoraggio obbligatorio di almeno 4.000 punti, evitando di forzare il riconoscimento di punti, laddove non necessario. Il risultato ottenuto è una nuvola sparsa di punti, cioè un insieme di punti contenenti l'informazione relativa al posizionamento della camera rispetto al soggetto fotografato, esportabile su altri software.

⁶ BIANCHINI, RUSSO 2018.

⁷ FILIPPUCI 2010.

di dettaglio pur offrendo informazioni spaziali generali riguardanti la struttura, non permette di apprezzare gli aspetti di dettaglio delle superfici, osservabili dalla texture applicata sulle *mesh* e, in ultima analisi, dalla gestione del modello tridimensionale in un software di modellazione in formato *.obj* (fig. 3).

Volendo quindi generare un modello vero e proprio, definito da *mesh*, si è processata la nuvola di punti densa, impostandola come dato sorgente e inserendo il valore di realizzazione di oltre 200.000 *mesh*, ovvero un numero sufficientemente alto, in modo che il modello potesse conservare quanto più possibile il dettaglio della superficie delle pareti. La *mesh* poligonale 3D, ottenuta direttamente dalla interpolazione dei punti generati dalla nuvola densa, è stata elaborata tenendo in considerazione il parametro *Arbitrary* adatto ad ogni tipo di oggetto. Considerate le modalità di cattura dei fotogrammi, si è, invece evitato il metodo *High Field*, adatto alle superfici piane⁸.

Il modello ottenuto è stato ulteriormente elaborato con *meshlab*, un programma *open source* funzionale alla gestione e all'editing di modelli tridimensionali composti da *mesh*, che permette di rimuovere il "rumore" e che è in grado di riempire i buchi nella trama del modello (fig. 4).

Il modello, in particolare, è stato ottimizzato con l'utilizzo di tecniche di *remeshing*, che consentono di migliorare la trama delle *mesh* con una modellazione "adattiva" e che favoriscono, allo stesso tempo, una gestione più agevole dei file, in termini di occupazione dello spazio sul disco, senza ridurre il dettaglio della caratterizzazione delle superfici. Successivamente, sono state rimosse le componenti non facenti parte del modello o inutili ai fini del rilievo come, ad esempio, alcune porzioni del materiale accumulato al di sotto del canale di accesso alla cisterna e il faretto utilizzato per l'illuminazione. La geometria tridimensionale ricostruita è stata, poi, processata per l'inserimento della texture, generando un'immagine in alta definizione con cui "avvolgere" il modello. L'ottenimento dell'ortofoto e dei prospetti della struttura è stato possibile solo grazie alla generazione di una texture sufficientemente dettagliata (4.960 *pixel square*).

Per la creazione di un modello digitalizzato e misurabile in ambiente CAD è necessario avere rilevato, durante la fase di cattura, alcuni riferimenti metrici all'interno dei fotogrammi come, ad esempio, delle paline geodetiche di cui siano note le dimensioni⁹. Nel corso della post-elaborazione del nostro rilievo, mediante il comando *scale bar* è stato possibile inserire i riferimenti metrici, indicando la distanza tra i vari punti; se, infatti, il software dispone di un modello correttamente orientato, tramite questa funzione è possibile scalarlo automaticamente sulla base del riferimento metrico scelto. Dopo questa operazione, è stato possibile procedere alla misurazione delle dimensioni della cisterna, lungo gli assi x, y e z, in modo da ottenere una valutazione del suo ingombro (base e altezza), e una serie di dati di dettaglio relativi alle dimensioni dei suoi elementi strutturali (tetto a spiovente) e alla variazione della distanza tra le pareti (fig. 5).

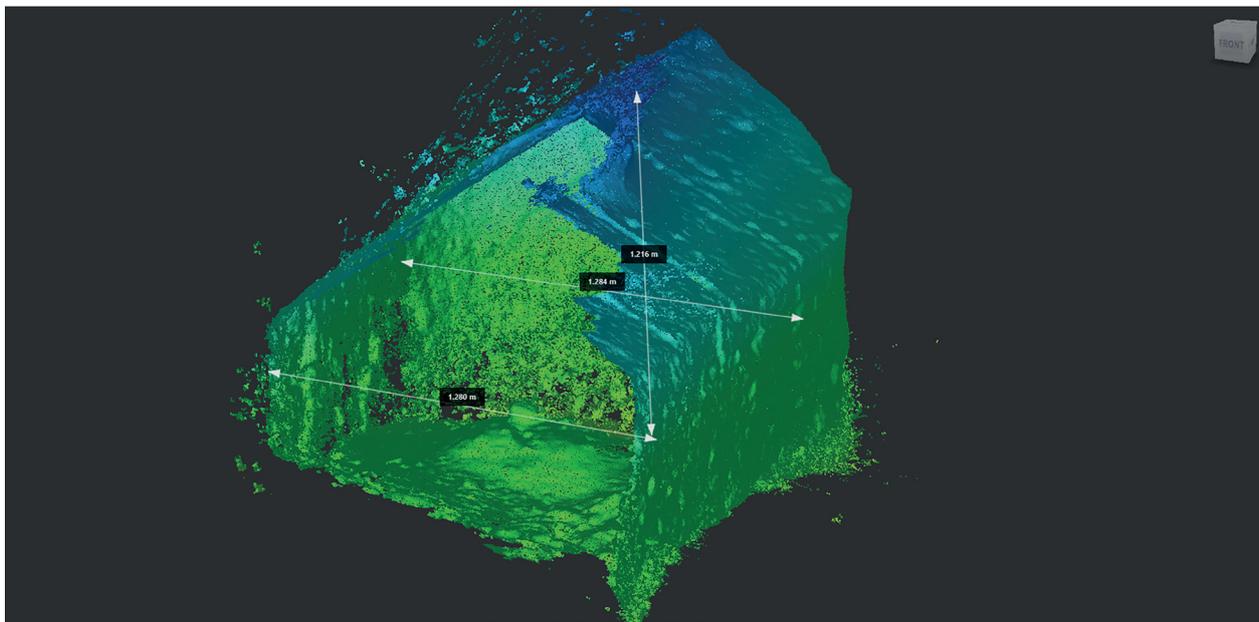


Fig. 5. Misurazione in ambiente tridimensionale delle dimensioni lungo gli assi x,y e z della cisterna.

⁸ PUTZOLU, VICENZUTTO 2013.

⁹ DUBBINI, CAPRA 2009.

Le due parti (orientale e occidentale) del modello composto dalle *mesh* sono state, poi, unite all'interno di un software CAD e di modellazione, per ottenere un unico ingombro e un unico rilievo.

Il modello tridimensionale della cisterna, completo di *texture*, è esportabile in formato *.obj* e importabile all'interno di software di modellazione 3D. Generalmente, i modelli fotogrammetrici non necessitano di ulteriori procedimenti di modifica e integrazione; nel nostro caso, invece, poiché il modello è stato creato sulla base di fotogrammi catturati in un ambiente illuminato solo da una sorgente luminosa elettrica, con un raggio di azione della camera limitato all'area del canale di accesso alla cisterna, è stato necessario eliminare manualmente alcuni dettagli, come il materiale di accumulo presente all'interno della struttura.

Il modello digitale così ottenuto ha offerto dati di grande importanza a proposito dell'apparato strutturale della cisterna: a circa 2,31 m dall'estremità E della struttura è stato, ad esempio, possibile posizionare il secondo pozzetto di attingimento, che è stato ben localizzato anche sulla planimetria di scavo; tale posizionamento costituisce un contributo importante per la progettazione, in sicurezza, delle future indagini sull'area.

Dal modello fotogrammetrico si sono, poi, ottenute alcune planimetrie e alcune sezioni e, tagliando la superficie del modello orizzontalmente e verticalmente, si sono realizzate alcune ortofoto relative alla planimetria interna della cisterna e ai suoi prospetti (*fig. 6*).



Fig. 6. Nora. Quartiere occidentale: posizione della cisterna al di sotto della superficie dello strato raggiunto in fase di scavo.

2. Applicazione della tecnologia LiDAR integrata alla fotogrammetria

La medesima metodologia è stata applicata al rilevamento di una seconda cisterna, che presenta un orientamento Nord/Sud ed è caratterizzata da dimensioni simili alla precedente (lunghezza 3,5 m; larghezza 1,30 m; altezza 1,20 m circa).

In questo caso, dato il limitato spazio di manovra che ha impedito l'utilizzo di un'asta telescopica, si è integrato il rilievo fotogrammetrico con l'impiego del sensore LiDAR incorporato nell'iPad Pro, utilizzando un software dedicato in grado di generare una nuvola di punti sufficientemente densa senza richiedere punti di presa aggiuntivi. Questa nuvola di punti è stata poi utilizzata come base per il rilievo fotogrammetrico (*fig. 7*).

Il risultato ha permesso di ricostruire buona parte della porzione nord della struttura ipogea, altrimenti di difficile interpretazione. Il sensore LiDAR (Light Detection and Ranging) integrato nell'iPad Pro è una componente tecnologica avanzata che sfrutta il principio della riflessione della luce per misurare la distanza dagli oggetti circostanti¹⁰. Questo sistema utilizza impulsi laser per generare un campo di misurazione tridimensionale, registrando il tempo impiegato dal segnale laser per rimbalzare dagli oggetti e ritornare al sensore. Grazie alla veloci-

¹⁰ Per ulteriori informazioni sull'applicazione del sensore LiDAR di Apple al rilievo archeologico cfr. FIORINI 2022.

tà della luce e all'accuratezza temporale delle misurazioni, il sensore è in grado di determinare la distanza con elevata precisione, fornendo informazioni dettagliate sulla forma e sulla disposizione degli oggetti nell'ambiente circostante. Per effettuare il rilievo, all'interno dell'ambiente ipogeo è stato posizionato un faretto portatile, che ha diffuso una luce uniforme sulla superficie circostante.

3. Conclusioni

L'approccio integrato al rilievo archeologico, mediante l'utilizzo combinato di fotogrammetria e sensoristica LiDAR, si è rivelato estremamente efficace e accurato nel documentare e analizzare i due contesti archeologici, caratterizzati da spazi ristretti e limitate possibilità di manovra. La combinazione di questi strumenti ha permesso di acquisire dati con precisione, in modo agile e veloce, garantendo una documentazione dettagliata che può fungere da punto di partenza per la realizzazione di un rilievo planimetrico e di sezione, oltre che come base per lo sviluppo di una ricostruzione tridimensionale.



Fig. 7. Visualizzazione della nuvola di punti su iPad Pro.

Bibliografia

- ADDISON A.C., GAIANI M. 2000, *Virtualized architectural heritage: New tools and techniques*, in IEEE Multimedia, 7, 2, pp. 26-31.
- BIANCHINI C., RUSSO M. 2018 *Massive 3D acquisition of CH*, in ADDISON A.C., THWAITES H. (a cura di), *Digital Heritage 2018. New Realities: Authenticity & Automation in the Digital Age (San Francisco, 26-30 Ottobre)*, IEEE Multimedia, pp. 1-8. DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2018.8810069
- BINI M., VERDIANI G. 2006, *Il rilievo delle archeologie monumentali: esperienze del laboratorio di rilievo della Sezione Architettura e Disegno di Firenze*, in CAMPANA S., FRANCOVICH R. (a cura di), *Laser scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali*, Firenze, pp. 107-115.
- DUBBINI M., CAPRA A. 2009, *In profondità senza scavare. Metodi di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, in Groma, 2, pp. 91-116.
- FILIPPUCCI M. 2010, *Nuvole di pixel. La fotomodellazione con software liberi per il rilievo dell'architettura*, in DISEGNARECON, 3, 6, pp. 50-63.
- FIORINI A. 2022, *Scansioni dinamiche in archeologia dell'architettura: test e valutazioni metriche del sensore LiDAR di Apple*, in Archeologia e Calcolatori, 33.1, pp. 35-54.
- PALLECCHI S. 2018, *Area C2, Campagna di scavo 2017*, in Quaderni Norensi, 7, pp. 33-38.
- PALLECCHI S. 2020a, *Nora, Quartiere Occidentale: campagne 2017-2019 nell'Area C2*, in FOLD&R, 465, pp. 1-17.
- PALLECCHI S. 2020b, *Area C2: campagne di scavo 2018 e 2019*, in Quaderni Norensi, 8, pp. 7-13.
- PALLECCHI S. 2022, *Nora, Area C2: ricerche 2020-2021*, in Quaderni Norensi, 9, pp. 3-9.
- PUTZOLU C., VICENZUTTO D. 2013, *Il rilievo delle superfici tramite fotogrammetria 3D: dal microscavo dei complessi tombali agli scavi in open area*, in Archeologia e Calcolatori, 24, pp. 355-370.
- REMONDINO F. 2011, *Rilievo e modellazione 3D di siti e architetture complesse*, in DISEGNARECON, 4, 8, pp. 90-98.

Indirizzi degli Autori

Hanno collaborato a questo numero:

Roberta Albertoni, Università degli Studi di Milano
roberta.albertoni@hotmail.com

Chiara Andreatta, Università degli Studi di Padova
chiara.andreatta@phd.unipd.it

Michele Asolati, Università degli Studi di Padova
michele.asolati@unipd.it

Sara Balcon, Università degli Studi di Padova – Direzione Regionale Musei Calabria
balsar96@gmail.com

Alice Barbisan, Università degli Studi di Padova
alice.barbisan@studenti.unipd.it

Leonardo Pio Barletta, Università degli Studi di Padova
leonardopio.barletta@studenti.unipd.it

Giuseppe Bertolino, Università degli Studi di Milano
bertolino_g@yahoo.com

Jacopo Bonetto, Università degli Studi di Padova
jacopo.bonetto@unipd.it

Eliana Bridi, Università degli Studi di Padova
eliana.bridi@unipd.it

Laura Buganza, Università degli Studi di Padova
laura.buganza@studenti.unipd.it

Zeno Caneva, Università degli Studi di Padova
zeno.caneva@studenti.unipd.it

Alice Capobianco, Università degli Studi di Genova – Universität zu Köln
alice.capobianco@smail.uni-koeln.de

Emiliano Cruccas, Università degli Studi di Cagliari
ecruccas@unica.it

Giulio Alberto Da Villa, Università degli Studi di Padova
giulioalberto.davilla@studenti.unipd.it

Francesca Della Valentina, Università degli Studi di Milano
francescadellavalentina@gmail.com

Simone Dilaria, Università degli Studi di Padova
simone.dilaria@unipd.it

Paola Fenu, Independent Researcher
paolafenu@yahoo.it

Gaia Filisetti, Università degli Studi di Milano
gaiafilisetti@gmail.com

Ilaria Frontori, Università degli Studi di Milano
ilaria.frontori@gmail.com

Mario Nicola Gallo, Università degli Studi di Genova
mario.nicola.gallo@outlook.it

Valentina Gallo, Università degli Studi di Genova
valentinagallo987@gmail.com

Bianca Maria Giannattasio, Università degli Studi di Genova
biancamaria.giannattasio@lettere.unige.it

Melania Gigante, Università degli Studi di Padova
melania.gigante@unipd.it

Francesco Giovanetti, Università degli Studi di Milano
francesco.giovinetti3@gmail.com

Chiara Girotto, Università degli Studi di Padova
chiara.girotto.3@phd.unipd.it

Margarita Gleba, Università degli Studi di Padova
margarita.gleba@unipd.it

Simone Giosuè Madeo, Università degli Studi di Genova
simonegiosue.madeo@edu.unige.it

Beatrice Marchet, Università degli Studi di Padova
beatrice.marchet@phd.unipd.it

Matteo Mariuzzo, Università degli Studi di Milano
mariuzzomatteo98@gmail.com

Alessandro Mazzariol, Università degli Studi di Padova
alessandro.mazzariol@unipd.it

Martina Naso, Università degli Studi di Padova
martina.naso@studenti.unipd.it

Silvia Pallecchi, Università degli Studi di Genova
silvia.pallecchi@unige.it

Caterina Previato, Università degli Studi di Padova
caterina.previato@unipd.it

Vito Giuseppe Prillo, Università degli Studi di Padova
vitogiuseppe.prillo@phd.unipd.it

Giorgio Rea, Università degli Studi di Milano
rea.giorgio87@gmail.com

Noemi Ruberti, Università degli Studi di Padova
noemi.ruberti@phd.unipd.it

Gianfranca Salis, Soprintendenza ABAP-CA
gianfranca.salis@cultura.gov.it

Elena Santoro, Università degli Studi di Genova
elena.santoro@edu.unige.it

Federica Stella Mosimann, Università degli Studi di Padova
federica.stellamosimann@phd.unipd.it

Arturo Zara, Università degli Studi di Padova
arturo.zara@unipd.it

Finito di stampare nel mese di
novembre 2024
presso Grafiche Turato
Rubano (PD)