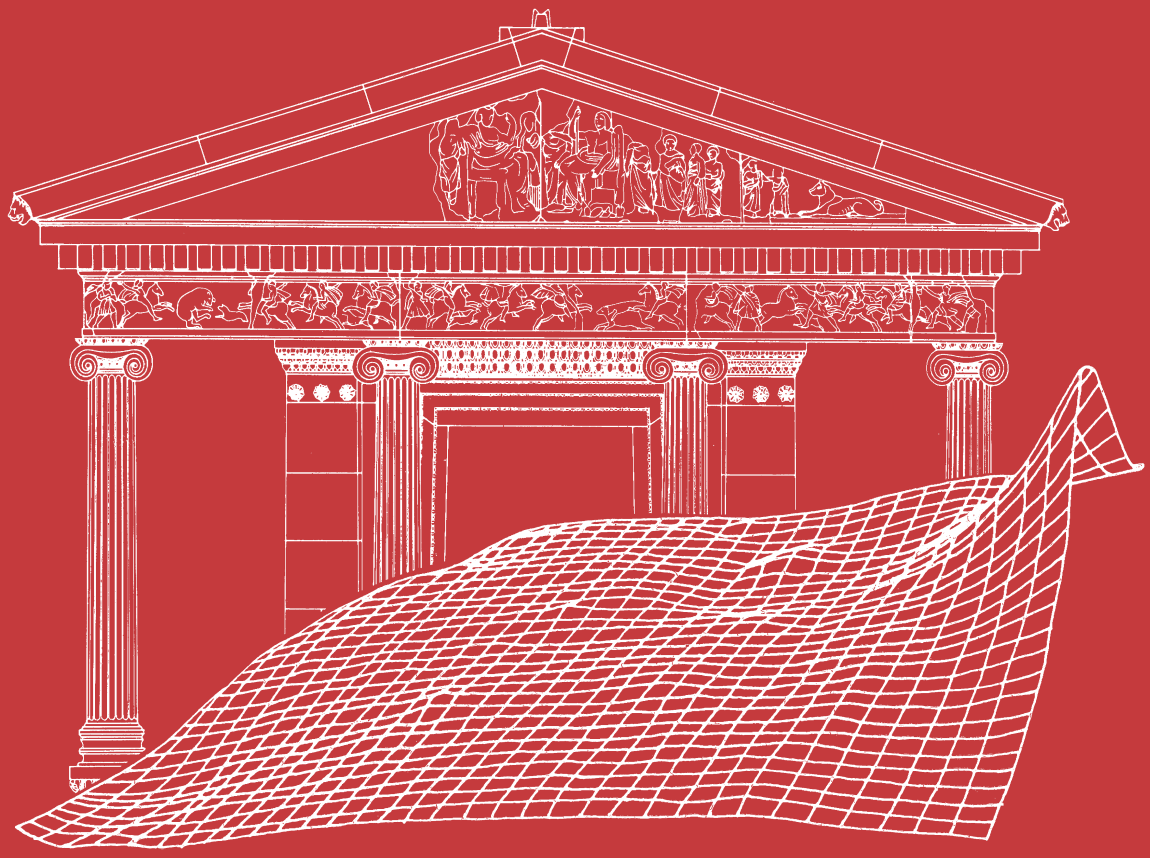


ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI

35.1

2024

All'Insegna del Giglio

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI

DSU Dipartimento Scienze umane e sociali Patrimonio culturale

CNR – DIPARTIMENTO SCIENZE UMANE E SOCIALI, PATRIMONIO CULTURALE

ISTITUTO DI SCIENZE DEL PATRIMONIO CULTURALE

Rivista annuale open access e peer reviewed
fondata da Mauro Cristofani e Riccardo Francovich
già diretta da Paola Moscati (1990-2022)

Comitato Scientifico: Paola Moscati (coordinatore), Giovanni Azzena, Robin B. Boast, Francisco Burillo Mozota, Alessandra Caravale, Christopher Carr, Martin O.H. Carver, Francesco D'Andria, François Djindjian, James E. Doran, Virginie Fromageot-Laniepce, Salvatore Garraffo, Filippo Giudice, Antonio Gottarelli, Maria Pia Guermandi, Anne-Marie Guimier-Sorbets, Ian Hodder, F. Roy Hodson, Stephen Kay, Donna C. Kurtz, Adriano Maggiani, Daniele Manacorda, Costanza Miliani, Tito Orlandi, Clive R. Orton, Maria Cecilia Parra, Alessandra Piergrossi, Xavier Rodier, Francesco Roncalli, Grazia Semeraro, Paolo Sommella, Gianluca Tagliamonte, Marco Valenti

Direttore responsabile: Alessandra Caravale

Redazione: Claudio Barchesi, Francesca Buscemi, Letizia Ceccarelli, Antonio D'Eredità, Andrea Di Renzoni, Giacomo Mancuso, Irene Rossi

Policy and Guidelines: https://www.archcalc.cnr.it/pages/guidelines.php

Autorizzazione del presidente del Tribunale di Firenze n. 3894 del 6/11/1989

Indirizzo Redazione: Rivista «Archeologia e Calcolatori», CNR – ISPC, Area della Ricerca di Roma 1, Via Salaria Km 29,300, 00015 Monterotondo Stazione (RM)
Tel. +39.06.90672670 – Fax +39.06.90672818
E-mail: redazioneac.ispc@ispc.cnr.it
https://www.archcalc.cnr.it/

Edizione e distribuzione: Edizioni ALL'INSEGNA DEL GIGLIO s.a.s.,
Via Arrigo Boito 50-52, 50019 Sesto Fiorentino (FI)
Tel. +39.055.6142675
E-mail: redazione@insegnadelgiglio.it – ordini@insegnadelgiglio.it
https://www.insegnadelgiglio.it/

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI

35.1

2024

All'Insegna del Giglio





The publication of this journal's issue was funded by H2IOSC Project - Humanities and cultural Heritage Italian Open Science Cloud funded by the European Union NextGenerationEU - National Recovery and Resilience Plan (NRRP) - Mission 4 "Education and Research" Component 2 "From research to business" Investment 3.1 "Fund for the realization of an integrated system of research and innovation infrastructures" Action 3.1.1 "Creation of new research infrastructures strengthening of existing ones and their networking for Scientific Excellence under Horizon Europe" - Project code IR0000029 - CUP B63C22000730005. Implementing Entity CNR.

Realizzazione grafica della sovracoperta di Marcello Bellisario
Rivista «Archeologia e Calcolatori» (ISSN 1120-6861, e-ISSN 2385-1953)
ISBN 978-88-9285-278-5, e-ISBN 978-88-9285-279-2
© 2024 – All'Insegna del Giglio s.a.s. – www.insegnadelgiglio.it
Sesto Fiorentino (FI), luglio 2024
Stampa, BDprint

Abbonamento 2024: 2 volumi, 35.1 e 35.2, € 96,00.
Spedizione: Italia, gratuita; estero, a carico del destinatario.
https://www.insegnadelgiglio.it/categoria-prodotto/abbonamenti/

INDICE

Necropoli etrusco-italiche: archeologia digitale e paesaggio funerario. Atti del workshop (Venezia 25 settembre 2023), a cura di Fiorenza Bortolami, Giovanna Gambacurta

Giovanna Gambacurta, *Premesse e prospettive di un workshop* 11

Paola Moscati, *Funerary archaeology and digital technologies: history and development of a successful cross-disciplinary approach* 15

Cristiano Putzolu, *The necropolis as a landscape of power: some reflections* 31

Antonella Massanova, Carmine Pellegrino, *Le necropoli di Pontecagnano: archivi e supporti digitali per la tutela e la ricerca a 25 anni dall'elaborazione del GIS* 41

Fernando Gilotta, Luca Lucchetti, Teresa Patriziano, *Esperienze da Monte Abatone a Cerveteri* 51

Alessandro Conti, Christian Mazet, Laura Maria Michetti, *'Ritorno a Vulci'. New tools for the study of the south-eastern necropolises* 67

Emanuele Taccola, Lisa Rosselli, Massimiliano Grava, *Per una ricostruzione dei paesaggi funerari in Etruria settentrionale: i casi di Pisa e Volterra* 81

Elisabetta Govi, Andrea Gaucci, Chiara Pizzirani, Anna Serra, Carlotta Trevisanello, Riccardo Vanzini, Enrico Zampieri, *Archaeological data management and spatial analysis tools in the study of necropolises: case studies from Bologna and Spina (6th-3rd cent. BC)* 99

Giovanna Gambacurta, Federico Bernardini, Fiorenza Bortolami, Martina Vanessa Filannino, Cecilia Moscardo, Angela Ruta Serafini, *Data management and reconstruction of funerary landscape in pre-Roman necropolises between Este and Padova* 117

*
* *

Images antiques et humanités numériques: section spéciale éditée par le programme ArcheoNum, sous la direction de Virginie Fromageot-Laniepce, Anne-Violaine Szabados

Virginie Fromageot-Laniepce, Anne-Violaine Szabados, *Images antiques et humanités numériques: une introduction* 137

Cécile Colonna, Federico Nurra, *Le* Digital Muret, *une édition numérique enrichie d'un recueil de dessins d'objets archéologiques du XIXe siècle* 139

Stéphanie Derwael, *Disséquer l'ornement, interpréter l'hybridité humano-végétale.* Diphuès – *Une base de données polyvalente* 157

Natacha Lubtchansky, Alban-Brice Pimpaud, *3D/4D visualisation for documenting and editing images of pre-Roman Italy: the ICAR database* 173

Anne-Violaine Szabados, *Le TAL pour les appellations d'œuvres figurées de l'Antiquité classique: évolution des ressources numériques du projet MonumenTAL* 193

*
* *

Giancarlo Lago, Lorenzo Cardarelli, Nicola Ialongo, *CQArchaeo: a Python package for Cosine Quantogram Analysis and Monte Carlo simulations* 215

Brunella Berzellini, Maurizio Marinato, Marco Piragnolo, *Un database condiviso ad accesso libero per lo studio archeologico dei cimiteri medievali in Italia settentrionale* 233

Mariacarmela Montesanto, *From the river to the sea of the setting sun: route networks between the Euphrates and the Mediterranean during the Iron Age (1200-600 BCE)* 251

Francesca Tomei, *Least-Cost Path analysis for the reconstruction of the communication networks between Thasian amphorae workshops and other sites in the 4th-3rd century BC* 269

Antonio Merola, *Analisi di visibilità delle fortificazioni d'altura di epoca arcaica nella Valle Peligna (Abruzzo). Ipotesi, analisi informatiche e ricostruzione* 285

Teresa Tescione, *Analytical approaches and digital methods in alluvial archaeology: the 'Ancient Shipyard' of Pisa-San Rossore as a case study* 305

Elena Pomar, *La villa romana di Matrice (CB) tra geofisica e scavo* 329

Fabio Cavulli, Carla Mannu, Massimo Vanzi, Michele Mazzurana, *Tecniche di modellazione 3D per una documentazione accurata delle incisioni rupestri: confronto tra Structure from Motion e stereofotometria* 349

Giulio Alberto Da Villa, Arturo Zara, Emanuela Faresin, Jacopo Bonetto, Cristiano Miele, Antonio Persichetti, *Methods and tools for generating the DTM of an archaeological site: the case-study of the photogrammetric survey of Nora (Sardinia, Italy)* 369

Alessandro Naso, Rodolfo Brancato, Martina Zinni, Simone Amici, *Application of integrated 3D survey technologies in an Etruscan necropolis: the case of Sasso Pinzuto (Tuscania, VT)* 389

Sofia Cingolani, Paolo Clini, Ramona Quattrini, Renato Angeloni, Francesca Angelo, Livia Sforzini, Antonella di Giovanni, Roberta Bollati, *Dalla replica digitale alla modellazione informativa. Un approccio scan-to-BIM alla documentazione del microscavo e restauro della tomba 27 di Colle Vaccaro (AP)* 407

Luca Doria, Caterina Previato, *BIM e archeologia: i casi studio degli anfiteatri romani di Verona e Pola* 427

Álvaro Corrales Álvarez, Rafael Hidalgo Prieto, *El Proyecto SIAPVA: un sistema de información arqueológica para el área de Palazzo de Villa Adriana (Tívoli)* 447

Paolo Clini, Renato Angeloni, Mirco D'Alessio, Giacomo Bardelli, Stefano Finocchi, *Un Virtual Immersive movie per la fruizione del patrimonio archeologico: il viaggio nella "Tomba della Regina" di Sirolo-Numana* 473

Alexandra Chavarría Arnau, Marco Bertuccelli, *L'archivio di comunità del Monte Baldo come esempio delle potenzialità di uMap-OSM per lo sviluppo di progetti partecipati sui beni culturali* 491

*
* *

The H2IOSC Project and its impact on digital antiquity within the E-RIHS infrastructure – I. Special section edited by Alessandra Caravale, Paola Moscati, Irene Rossi

Alessandra Caravale, Paola Moscati, Irene Rossi, *Landscaping and integrating Digital Archaeology and Digital Epigraphy resources: new challenges and future opportunities. Introduction to the Special section* 515

Giacomo Mancuso, Antonio D'Eredità, *DHeLO and BiDiAr: new digital resources within the H2IOSC Project* 521

Erica Scarpa, Riccardo Valente, *A resource hub for interoperability and data integration in Heritage research: the H-SeTIS database* 543

NECROPOLI ETRUSCO-ITALICHE: ARCHEOLOGIA DIGITALE E PAESAGGIO FUNERARIO
ATTI DEL WORKSHOP (VENEZIA 25 SETTEMBRE 2023)

a cura di
Fiorenza Bortolami, Giovanna Gambacurta



Studio condotto nell'ambito del Progetto FAmilies, GEnder, Mobility and Interculturalism in the etrusco-italic necropolis (FaGeMI) finanziato dall'Unione Europea – Next-GenerationEU - PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.1 Fondo per il Programma Nazionale di Ricerca e Progetti di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) - CUP N. H53D2300008 0006. I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia solo quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione Europea o della Commissione Europea. Né l'Unione Europea né la Commissione Europea possono essere ritenute responsabili per essi.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 11-13
doi 10.19282/ac.35.1.2024.01

PREMESSE E PROSPETTIVE DI UN WORKSHOP

L'idea della organizzazione di un workshop sulle tematiche della ricostruzione del paesaggio funerario attraverso l'applicazione di nuove tecnologie si fonda su motivazioni diverse, ma in sé convergenti, che forse avrebbero avuto necessità di uno spazio di discussione anche più ampio.

Da un lato lo studio delle necropoli preromane del Veneto ha costituito per molti studiosi e studiose del nostro gruppo di ricerca un focus privilegiato nel quale, lungi dal soffermarsi solo sull'analisi delle singole sepolture e delle loro problematiche cronologiche, culturali e di ritualità funeraria, ci si è concentrati sul tentativo di ricostruzione del paesaggio funerario ben connotato dalla presenza dei tumuli che, se pur di limitata monumentalità, dovevano rappresentare un elemento di visibilità non trascurabile. Il fine ultimo era quello di offrire una rappresentazione della fisionomia delle città in cui i settori abitativi e quelli funerari dovevano essere collegati ed integrati in una visione unitaria, spesso rappresentata in un palinsesto di non sempre facile decodificazione.

In questa prospettiva alcuni esempi di ricostruzione tridimensionale erano stati affrontati già nel 1998 in occasione della mostra … *"presso l'Adige ridente"… Recenti rinvenimenti archeologici da Montagnana a Este*, al Museo Nazionale Atestino, con riferimento ai tumuli individuati nell'area della necropoli della Casa di Ricovero tra il 1983 e il 1993 (Bianchin Citton, Gambacurta, Ruta Serafini 1998). Negli anni immediatamente successivi il rinvenimento, lo scavo e lo studio di altre necropoli del Veneto antico hanno arricchito la documentazione sulle strutture a tumulo, sulle loro dimensioni e caratteristiche costruttive, consentendo una riflessione più approfondita (Gambacurta *et al.* 2005; Gamba, Gambacurta, Ruta Serafini 2015). In particolare il lavoro analitico che si sta conducendo sulle necropoli di Este, Casa di Ricovero (scavi 1983-1993) e di Padova, via Tiepolo-via San Massimo (1990-1991), quest'ultima in parte ancora in corso di scavo in laboratorio, ha confermato il riflesso sociale delle strutture funerarie, la loro importanza per la comprensione delle trasformazioni della "società dei vivi" e delle complesse dinamiche che collegavano aggregazioni familiari o altre forme di prossimità sociale.

Nel contempo l'aumentare della messe di dati ha condotto alla necessità di confrontarsi con l'utilizzo di strumenti digitali di gestione delle documentazioni di scavo e degli esiti delle numerose analisi correlate.

Il rapido progredire delle applicazioni delle tecnologie digitali ha visto il nostro gruppo di lavoro aderire con un certo ritardo rispetto ad altre esperienze dell'archeologia etrusco-italica, ma proprio per questo motivo si

è ritenuto utile un confronto che ponesse in campo problematiche analoghe dispiegate su di un territorio e casi-studio significativi in un panorama diacronico e diatopico.

Se la riflessione e la discussione sulle potenzialità della digitalizzazione sono state molteplici e la stessa sede di questa edizione ne è testimonianza da più di 30 anni, sembra che le realtà dei contesti funerari abbiano rivestito un ruolo di margine (di recente Moscati 2019; Gaucci 2021, in particolare fig. 2). Le stesse elaborazioni GIS e i database interrelati rischiano di essere poco efficaci se non studiati in modo mirato alle tematiche del funerario, dalla rappresentazione della composizione dei corredi alla ricostruzione del rituale e all'evoluzione dello scenario delle necropoli.

Nel nostro caso specifico era di interesse comprendere e discutere su quali strutture di database fossero più utili per la rappresentazione di un sistema complesso come quello di una necropoli in corso di "scavo" da più di 30 anni, in cui la gestione della documentazione e dei dati è non solo complessa, ma determinante per indirizzare al meglio la prosecuzione e, potenzialmente, la conclusione delle indagini.

Nell'insieme, la richiesta di interventi che rappresentassero lavori di équipe, al di fuori dei due contributi metodologici iniziali, intende rappresentare la necessità sempre più ineludibile di lavorare in gruppo.

Caratteristiche e potenzialità delle operazioni di georeferenziazione e dei database correlati sono state ben delineate nel contributo su Pontecagnano, che con il suo imparagonabile patrimonio funerario ha rappresentato una esperienza pionieristica sul tema, ma anche negli altri casi tutti connotati da specificità che rendevano indispensabile una progettazione ad hoc; in particolare l'esempio di Vulci evidenzia le potenzialità delle nuove metodologie anche per le documentazioni di scavo datate, dalle quali si possono recuperare informazioni non ipotizzabili con metodologie tradizionali.

La ricorrenza di gruppi di lavoro che hanno sentito l'esigenza di incentrarsi su più contesti (Pisa e Volterra; Bologna e Spina; Padova e Este), pur non preventivata, si è manifestata in corso d'opera ed è risultata di arricchimento per la discussione, sottolineando come il confronto sia sempre utile per allargare lo sguardo ed approfondire la comprensione.

In termini di ricostruzione tridimensionale i casi che vengono presentati nelle necropoli etrusco-italiche, come ad esempio Monte Abatone, unico per monumentalità, la cui ricostruzione assume un grande valore anche in termini di tutela e potenzialità di valorizzazione, rappresentano uno stimolo considerevole per affrontare problematiche diverse e selezionare i metodi e gli strumenti di volta in volta più idonei.

La declinazione diatopica e multiscalare ha restituito una piattaforma di discussione e dialogo che si è rivelata stimolante nel corso del workshop,

con l'auspicio che continui ad esserlo nella prosecuzione della ricerca dei singoli gruppi di lavoro, sempre con una prospettiva in cui il confronto offre una diversa vitalità.

Giovanna Gambacurta
Dipartimento di Studi Umanistici
Università Ca' Foscari di Venezia

BIBLIOGRAFIA

Bianchin Citton E., Gambacurta G., Ruta Serafini A. (eds.) 1998, *…"presso l'Adige ridente"…Recenti rinvenimenti da Este a Montagnana*, Catalogo della mostra, Padova, ADLE Edizioni.

Gamba M., Gambacurta G., Ruta Serafini A. 2015, *Paesaggi e architetture delle necropoli venete,* in G.M. Della Fina (ed.), *La delimitazione dello spazio funerario in Italia dalla Protostoria all'età arcaica. Recinti, circoli, tumuli, Atti del XXII Convegno Internazionale di Studi sulla Storia e l'Archeologia dell'Etruria (Orvieto 2014)*, Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 22, 87-112.

Gambacurta G., Locatelli D., Marinetti A., Ruta Serafini A. 2005, *Delimitazione dello spazio e rituale funerario nel Veneto preromano,* in G. Cresci Marrone, M. Tirelli (eds.), "Terminavit sepulcrum". *I recinti funerari nelle necropoli di Altino, Atti del Convegno (Venezia 2003)*, Roma, Quasar, 9-40.

Gaucci A. 2021*, Virtual archaeology and the study of necropolises as a system: Methodology and practice in the case study of Numana (AN), Italy*, in V. Baldoni (ed.), *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 27-34 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.03).

Moscati P. 2019, *Informatica archeologica e archeologia digitale. Le risposte dalla rete*, in P. Moscati (ed.), *30 anni di Archeologia e Calcolatori. Tra memoria e progettualità*, «Archeologia e Calcolatori», 30, 21-38 (https://doi.org/10.19282/ac.30.2019.03).

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 15-30
doi 10.19282/ac.35.1.2024.02

FUNERARY ARCHAEOLOGY AND DIGITAL TECHNOLOGIES: HISTORY AND DEVELOPMENT OF A SUCCESSFUL CROSS-DISCIPLINARY APPROACH

1. Introduction: some conceptual and terminological considerations[1]

The convergence between 'funerary archaeology' and 'digital archaeology' began in the early 1960s and further progressed alongside computer science advances. As often occurs at the inception of a new approach that requires an interdisciplinary way of thinking and acting, it represented a ground-breaking programme, albeit not systematic.

The objective of this introductory paper is to examine the historical and methodological features that marked the successful intertwining of expertise underlying these research domains. This challenging task requires a preliminary survey of the evolution of the two terms within the cultural sphere of reference in order to define the subject matter. As in any terminological analysis, the aim here is to establish a meaningful framework for both subjects in their uniqueness as well as in their theoretical and methodological background.

I will only briefly dwell on the subject of 'funerary archaeology', the focus of this workshop, illustrating an interactive plot generated automatically by the Ngram Viewer tool. This powerful online search engine, developed by Google in 2010, enables users to explore language usage trends over time by recording the occurrences of specific terms in a vast collection of books, documents, and other textual sources[2].

The results for the period 1960-2019 (the last year covered by the tool) show that the most widespread definition in the English language is 'mortuary practices'. The trend line began to rise in the early 1970s when the monographic issue *Approaches to the Social Dimensions of Mortuary Practices* appeared in the «Memoirs of the Society for American Archaeology», introduced by L. Binford's article *Mortuary Practices: Their Study and Their Potential* (Binford 1971).

On the other hand, 'archaeology of death' is less frequent and only developed in the 1980s, once again probably after the publication in 1981 of

[1] I would like to express my gratitude to the Ca' Foscari University of Venice and, in particular, to Giovanna Gambacurta for the very welcome invitation to this workshop dedicated to themes that enhance the interdisciplinary approach to archaeological research.

[2] In 2021, a similar tool was also developed in France: Gallicagram (https://shiny.ens-paris-saclay.fr/app/gallicagram). The search process is based on the digital corpus of Gallica and several other libraries, including the Persée portal.

another landmark book on the subject edited by Robert Chapman (Chapman, Kinnes, Randsborg 1981) in the series 'New Directions in Archaeology'. The term persisted steadily over time, with no significant variations even in conjunction with the publication of *The Archaeology of Death and Burial* at the turn of the new Millennium (Parker Pearson 1999) and of *The Oxford Handbook of the Archaeology of Death and Burial* in 2013 (Tarlow, Nilsson Stutz 2013).

As far as 'digital archaeology' is concerned, I recently focused on the naming (or renaming) of this discipline (Moscati 2021, 2023). 'Archaeological computing' or 'computational archaeology' aligns with traditional computer-based archaeological research and can be distinguished from the more recent 'digital archaeology', which implies a primacy of the technological approach over the epistemic commitment. This terminological switch mirrors what has occurred with 'humanities computing' and 'digital humanities', although rarely in archaeology has the terminological issue been theorised and invested with semantic value, as is the case for digital scholarship in the Humanities (see lastly Ciotti 2023).

The increasing adoption of the term digital archaeology to define the discipline – which will be used henceforth for the sake of immediacy – is closely linked to the development of computational tools and devices for the acquisition, analysis and transmission of archaeological data. The age of technological innovation in archaeology is not a new phenomenon if we generally date it back to the two decades after 1950. However, compared to the past, the responsible handling of technological innovation now represents a scientific functional revolution that characterises the data digitisation process in all phases of archaeological research, which aligns with the development of the Heritage Science domain.

2. Methodological aspects and distinctive features

Approaching this cross-disciplinary subject area solely in terms of technological achievements, however, would diminish what we have called a 'successful' intertwining between funerary archaeology and digital archaeology. It will be more constructive to prioritise research methods, just as has been done for funerary archaeology, which was granted its own identity in specific investigation areas aimed at studying both burial customs and social structures. In Italy, for example, at the beginning of the new Millennium, in the second volume of the Treccani Encyclopaedia *Il Mondo dell'Archeologia*, the section dedicated to cults and funerary practices – beyond the different chronological periods and cultural references, from Prehistory to the Middle Ages – was subdivided as follows: i) funerary areas and burial types, ii) grave goods, and iii) funerary rites.

Similarly, digital archaeology needs to be classified according to its methods and epistemological foundation. This is not a conservative attitude. On the contrary, it is the result of active participation in every IT innovation that has contributed to revolutionising the approach to archaeological research. Here are some examples: the shift from the hierarchical model to the relational one when structuring information in databases; the flexibility brought about by multimedia systems in matching data of different nature and from different sources; the geo-relational model of data management proposed by GIS for field research or that of BIM for ancient architecture; and the potential of visualisation and restitution tools offered by Virtual Reality techniques in creating new exploratory paths in the ancient world.

By following this approach, a bridge can be easily established between funerary archaeology and digital archaeology, and some common methodological issues that are worthy of consideration can be raised.

For the study of burial areas, the distribution of graves, and the relationship between cemeteries, settlements and territory, reference can be made to two core areas of digital archaeology. The first one involves spatial analysis techniques, i.e. the formal study of the aggregation and concentration processes and their mutual relationships through quantitative schemes and mathematical models that summarise the nature and essence of distribution phenomena.

The second area concerns the emergence of GIS and, with it, the new concept of space not only as a property concerning the physical location of material evidence but as an element to address the analysis of complex structures, in which soil morphology and human activities are essential components for the reconstruction of ancient land use dynamics and density. This includes elaborating digital terrain models that, taking advantage of the georeferencing process, facilitate distance calculation as well as viewshed and movement-based analyses.

For the study of specific funerary structures and burial typologies, ranging from megalithic tombs to Christian catacombs and beyond, the intervention of Information Technology has immediately turned towards computer graphics and then to Virtual Reality techniques. This sector of digital archaeology involves the processing of graphic data and its scientific visualisation, also thanks to the development of simulation techniques. Furthermore, it concerns the progress of the archaeology of architecture. Indeed, the study of historic built heritage finds in GIS systems an environment to record both planimetric and altimetric data sets, and in GIS and BIM integration a spatial context in which to move from the concept of geometric representation to the analysis of the information flow needed to describe it.

For the study of grave typologies and grave goods, archaeologists can once again rely on the heuristic potential of mathematical and statis-

tical analyses, both for their automatic classification through multivariate analysis techniques and for their chronological ordering through seriation techniques. As François Djindjian (2015) has pointed out, seriation is the most original method of automatic classification because it was designed by archaeologists for archaeologists[3] (trained by mathematicians) aiming to identify a chronological order within groups of objects based on their quantitative description (Ihm 2005). Indeed, the need for integration requires today to reconsider the relationship between funerary archaeology and seriation techniques from a global perspective, including the notion of 'topo-seriation' (Piergrossi, Tabolli, Pacifici 2019; on the use of Correspondence Analysis for seriation and topo-seriation purposes see Djindjian 1985).

Finally, as far as funerary rites are concerned, the role of computer science becomes more complex, as it implies the use of modelling and simulation techniques. The goal is to test mathematical models, often borrowed from systems theory and already applied in other cultural domains and disciplines, enabling the simulation and validation of features and behaviours of past ritual practices. Since the 1970s, this challenge in automated interpretation processes has also catalysed the attention of some new branches of archaeology, such as 'social archaeology', 'behavioural archaeology', and 'spatial archaeology'.

3. A historical survey for searching common archaeological roots

Once the main methodological aspects are outlined, attention can turn to the review of applications, starting with their historical roots. As previously noted, the merging of funerary archaeology and computational archaeology dates back to the 1960s, when both received a theoretical and methodological evolutionary impulse from the New Archaeology movement driven by the intensive application of mathematics and statistics. One of the earliest examples of quantitative analysis of archaeological data was precisely the numerical classification of La Tène fibulae from the Iron Age cemetery of Münsingen near Berne in Switzerland, promoted by Roy Hodson and conducted thanks to the joint work of a computer science specialist, James Doran, and a microbiologist, Peter Sneath (Hodson, Sneath, Doran 1966; Doran 1971).

[3] This statement matches the one on the homepage of the Bonn Archaeological Software [formerly Statistics] Package (BASP), «a non-profit software project for and by archaeologists which has been developed cooperatively since 1973» (https://baspsoftware.org/). For a recent application in a funerary archaeology study of the latest version of this software (WinBASP), which is no longer supported today, see Melandri 2011 (in particular, ch. 3).

Evidence of these early years can be found in the 'Virtual Museum of Archaeological Computing' (https://archaeologicalcomputing.lincei.it/), a result of an international project on the history of computer applications to archaeology initiated thanks to the close cooperation between the Accademia Nazionale dei Lincei and the Consiglio Nazionale delle Ricerche (Moscati, Orlandi 2019). During an in-home interview, Hodson himself recalls the first international conferences and work experiences promoted by interdisciplinary research teams and the not always straightforward dialogue between them: «Originally, I had no knowledge of computing and programming and I just provided data that was appropriate for other people to use, notably first Peter Sneath and then Jim Doran. My work in particular with Jim Doran and the publication of an article on the analysis of Palaeolithic assemblages involved a subject in statistics that the professor of pure mathematics and mathematical statistics of Cambridge, David Kendall, was very interested in»[4].

In order to launch the survey and provide an evolutionary overview, a series of freely accessible online tools, created as part of the research activities pivoting around the journal «Archeologia e Calcolatori», will be used[5]. First and foremost, we are referring to the 'Bibliographies' section of the Virtual Museum, whose consultation allows us to briefly sum up what occurred between the 1960s and the early 1990s.

Exploring the extensive bibliography edited by Arroyo-Bishop and Lantada Zarzosa (1993) – the only one with a truly international scope when compared to those edited by Ryan (1988) and Wilcock (1999), which mainly focused on the English-speaking environment – computer-based research on various aspects of funerary archaeology unfolds with a degree of quantitative consistency. Among the 2,880 titles published between the early 1950s and 1993, mathematical and statistical data analysis stands out in terms of the number of bibliographical references, whether applied to the study of spatial archaeological patterns, i.e. the distribution of burial areas and monuments (see, e.g., Gallay 1973 and 1987, for the megalithic necropolis of Petit-Chasseur in Sion - Valais, Switzerland), or to the numerical

[4] David Kendall, Professor of Mathematical Statistics at the University of Cambridge, was the first to develop a program package (the HORSHU-program) accomplishing a multi-dimensional scaling routine, which was used at the beginning of the 1980s by Barry J. Kemp to group together similar graves and sort several Egyptian cemeteries from the Dynastic and Predynastic periods. As Kemp stated, this computer program «produces, in other words, a Petrie 'sequence', although the technical term that has come to replace 'sequence' is 'seriation'» (Kemp 1982, 6). For the interview with F.R. Hodson see: http://archaeologicalcomputing.cnr.it/itineraries/category/protagonists/.

[5] It is impossible to provide an exhaustive list of titles on the subject here. However, it is possible to cite just a few references to projects that since the 1970s have marked the progress of scholarship in this area of close relationship between archaeology, anthropology, ethnography, and computer science, given their theoretical and methodological background.

analysis of specific classes of grave goods and their chronological evolution (see, e.g., Leredde 1982, for the Merovingian buckle-plates coming from north-eastern France).

Databases are also included, focusing on two aspects: the typological classification of objects and the cataloguing of archaeological funerary heritage. Among the earliest databases, we can mention the project on the Hellenistic funerary stelae from Thessaly, published in the Proceedings of the 1972 Marseille Conference *Les banques de données archéologiques*, edited by Mario Borillo and Jean-Claude Gardin (von Graeve, Helly, Wolters 1974). Of broader scope is Jeremy Jones' manual published by the Council of British Archaeology, in which the following questions are raised: why record graveyards, what to record, and how to analyse the data (Jones 1976), which subsequently encouraged several important graveyard surveys in the UK research agenda.

On the other hand, compared to today, computer graphics still needed to be developed, and applications mainly referred to the use of CAD software. Only from the 1990s onwards did the situation change due to the consolidation of digitisation strategies in all fields of investigation. In a nutshell, having acquired and cemented statistical knowledge over time and recognised the potential of databases for data storage and retrieval, expertise and innovation in the 1990s paved the way to developing new application horizons: GIS, the Internet, multimedia systems, and finally, Virtual Reality.

For this period, reference can be made to two additional bibliographical tools: the Bibliography of Archaeological Computing, which includes more than 2,700 titles covering the period between 1989 and 2000, and the repository of the journal «Archeologia e Calcolatori», which extends to the present day. While not aiming to be exhaustive, both tools make it possible to describe the scientific scenario from the 1990s onwards. In particular, the Bibliography of Archaeological Computing was analysed and contextualised in the first volume of the new publishing project entitled '30 anni di informatica archeologica', within the series 'Futuro anteriore' published by Edizioni All'Insegna del Giglio (Caravale, Moscati 2021). The results are quantitatively extensive and qualitatively wide-ranging to accompany the reader into the new Millennium.

4. The last decade: archaeology of death in the Etruscan digital cultural heritage

With these premises guiding the discussion, it is now possible to dwell on the distinctive features of the last decade. Supported by our recent research based on topic modelling and machine learning techniques to analyse the repository of «Archeologia e Calcolatori», we will provide some insights into

the cross-cutting and most topical themes that characterise digital archaeology today (Caravale *et al.* 2023).

Where possible, we will select examples from the Etruscan and Italic world, i.e. one of the cultural areas of reference for funerary archaeology mostly affected by computer applications, as confirmed by the papers presented at the workshop held in Venice. In addition, the recent IADI-Interactive Atlas of Digital Images project (https://iadi.archcalc.cnr.it/), which shows a gallery of over 4,000 images published in the journal since 1990, will help to follow the text through an iconographic filter.

4.1 *Etruscan cities and necropolises*

The groundwork for using GIS platforms to analyse Etruscan cities and cemeteries was laid at the turn of the second Millennium. In Cerveteri, as part of the Caere Project, one of the earliest GIS applications was developed (Moscati 1998). The analysis focused on the core of the Etruscan city as a result of the impressive work fostered in the 1980s by Mauro Cristofani on the urban plateau (Cristofani 1986). In addition, by experimenting with 3D digital terrain models, an intervisibility analysis between the urban plateau – using the exceptional north-western orientation of the Vigna Parrocchiale Temple as a reference point – and the monumental tumuli of the Banditaccia necropolis was performed. Observations were also made from an archaeo-astronomical perspective (Ceccarelli 2001; Moscati 2002).

Similarly, Tarquinia is among the best examples of this methodological renewal, according to a comprehensive approach stemming from the 'Tarquinia Project', conceived by Maria Bonghi Jovino in the 1980s (Bonghi Jovino 2010). Giovanna Bagnasco Gianni well summarised this approach in a 2017 article entitled *The last ten years of research in Tarquinia* (Bagnasco Gianni, Marzullo, Garzulino 2017). Once again, the GIS environment facilitated the task of integrating and sharing information of a different nature by embedding large data sets and by enhancing legacy data, such as the results of the geophysical surveys conducted by the Lerici Foundation.

The beginning of the year 2000 witnessed another large-scale project, which overturned the archaeological research approach centred in those years on large-scale excavations in urban areas. In the study of the Etruscan-Samnite site of Pontecagnano (SA), the primary source for reconstructing the historical phases of the settlement was represented by its extensive necropolis areas, where a program was started since the late 1990s to systematically cataloguing and mapping the whole tomb assemblages (Massanova, Pellegrino, in this volume). All these data were entered into a GIS database, and an interface was developed for the interactive analysis of the funerary contexts (D'Andrea 1999; Iacotucci, Pellegrino 2010; Pellegrino, Rossi 2017, with references).

This fruitful research season finds its fulfilment in integrating computer-based methods and digital tools, as illustrated in a recent article by Fernando Gilotta and the team working on the Monte Abatone Project (Gilotta *et al.* 2022). Once again, this is an area explored thanks to the Lerici Foundation surveys, the results of which have been georeferenced on a GIS platform. In addition, the extensive use of laser scanning and photogrammetry techniques has enabled the production of a 3D model of the Monte Abatone plateau, as well as of the Campana Tumulus and the other excavated tombs (Gilotta, Lucchetti, Patriziano, in this volume). In the last few years, the 3D reconstruction of monumental burial mounds has attracted particular attention in the Etruscan and Italic areas, including their interactive visualisation (Taccola *et al.* 2021; see also Gambacurta *et al.*, in this volume). The proposed models can complement the emerging BIM engineering approach that has recently been introduced in the infrastructure field (I-BIM systems or 'BIM for the Underground': Chapman 2020).

The application of digital photogrammetry and photo interpretation as an effective tool for cartographic restitution is at the core of another recent project focusing on the urban area of Vulci and the surrounding necropolis. Giorgio F. Pocobelli, together with a CNR interdisciplinary team, pushes experimentation even further through machine learning techniques (Cacciari, Pocobelli 2021). Representative examples in the Poggio Mengarelli area are illustrated to discuss the pros and cons of this innovative approach in automating and optimising archaeological crop-marks' identification processes[6].

The theme of funerary archaeology as a global approach to the death phenomenon in antiquity was consolidated in the journal «Archeologia e Calcolatori» in 2021 with the publication of an entire thematic section. *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, edited by Vincenzo Baldoni (2021), builds on the archaeological analysis and virtual modelling of the Davanzali Picenian necropolis of the ancient emporion of Numana (Ancona). In a more comprehensive framework, archaeologists explore techniques for acquiring digital models of archaeological objects from funerary contexts and reconstructing the same contexts through three-dimensional modelling. It is definitively an original 'zooming out' approach from the object's scale to that of the landscape, passing through the dynamics of space occupation in the necropolis (Gaucci 2021).

[6] By referring to remote sensing techniques, highly impressive and worth of note is the very recent research conducted in the area of Veii, based on multispectral surveys with drones to detect vegetation anomalies caused by buried archaeological remains (Materazzi, Pacifici, Santaga 2024).

4.2 *Tombs and grave goods*

The main expectations from digital tools for the study of individual tombs or funerary monuments have been primarily fulfilled by surveying techniques (digital photogrammetry, remote sensing, laser scanning) and data restitution strategies (3D models, Virtual Reality, simulations, digital replicas), often developed within the framework of the archaeology of architecture. The challenge has been to design virtual models as digital repositories that not only contain visual representations but also the logical-deductive processes for their implementation.

The results are manifold. The most spectacular outcomes arise from the joint analysis of wall structures and tomb paintings in the Etruscan and Italic context. Worth mentioning is the long-lasting project ICAR (Iconographie et Archéologie pour l'Italie préromaine), which is illustrated in this volume in a special section dedicated to *Images antiques et humanités numériques* (Lubtchansky, Pimpaud 2024). Promoted by the ArScAn (Archéologie et Sciences de l'Antiquité) research group at the University of Paris Nanterre in 2000[7], the project was conceived as a database of the figurative scenes produced by Etruscan, Italic and Italiote peoples. The original research programme on 'Image and Religion in pre-Roman Italy' has since been enriched by implementing a multi-faceted approach to boost the integration and visual cross-referencing of graphical archive data and archaeological evidence. Moreover, '4D' models of Etruscan tombs are implemented and characterised by the association of spatial elements and temporal dimension (Cerchiai 2022).

Regarding grave goods, two different solutions can be described: the study and classification of specific classes of objects through the application of mathematical and statistical data analysis techniques and the use of databases to catalogue, systematise, and query information. In the first case, the analysis of Etruscan urns produced in Volterra was the focus of a project that began in the early 1990s (Moscati 1994). The project progressed from the initial application of descriptive and multidimensional statistical analysis (in particular, Multiple Correspondence Analysis) to testing methods and tools for knowledge management (Signore, Missikoff, Moscati 2005). The ultimate goal was to reconstruct a social history from life and afterlife data, including customers' choices and artisans' workshops.

Within the realm of cinerary urns production in northern Etruria during the Hellenistic period, the 'Charun' database project, published

[7] Over the years, the ArScAn research group has implemented several programs based on the shared database model (Guimier-Sorbets 1999). Among others, with reference to funerary archaeology, the noteworthy EMA ('L'enfant et la mort dans l'Antiquité') database of child graves in antiquity (Fromageot-Laniepce 2012), which evokes a research subject that has recently been addressed also for pre-Roman Italy (Govi 2021).

on the Internet by Francesco De Angelis (2005), was truly innovative. It collected data on both urns and tombs, allowing users to start their query process either from a specific urn and the tomb in which it was found, or from a particular set of grave goods. The information gathered and centred on the monuments from Chiusi formed the basis for a subsequent analytical study that led to the publication, in 2015, of the volume *Miti greci in tombe etrusche. Le urne cinerarie di Chiusi* in the series Monumenti Antichi dei Lincei (De Angelis 2015).

The illustration of the computerised analysis of individual funerary objects would require a dedicated section. These applications are characterised by image processing and animation techniques and have often been realised on the occasion of temporary exhibitions or for enjoyment in real or virtual museums (see lastly Boschi 2022, with references). For instance, one of the earliest examples of the virtual reconstruction of an orientalising princely cart in motion was designed for the new set-up of the Ny Carlsberg Glyptotek in 2005 (Emiliozzi, Moscati, Santoro 2007; for this Italic masterpiece, now exhibited at the Archaeological Museum in Fara in Sabina, see also Betori, Licordari 2021). Similarly, as part of the European project Etruscanning, the virtual reconstruction of the Regolini-Galassi tomb in Cerveteri and its funerary goods was one of the first examples of immersive reality and a new frontier in the communication and learning processes created at the Vatican Museums (Pietroni 2013).

This experiment was the result of some previous interactive experiences developed on the one hand as part of the UNESCO website of the Etruscan Necropolises of Cerveteri and Tarquinia (Nista, Natale, Moscati 2010), and on the other hand for the multimedia project by Piero Angela and Paco Lanciano exhibited in the Caere National Museum in 2013 and recently refurbished. Furthermore, it was the starting point for subsequent developments, such as those displayed today on the website of the e-Archeo project promoted by the Ministry of Culture (https://e-archeo.it/en/cerveteri/). The Caeretan virtual tour in the Banditaccia necropolis also includes the visualisation of the 3D model of the Sarcophagus of the Spouses, which is the subject of one of the most appreciated virtual reconstructions showed during the exhibition *Il viaggio oltre la vita. Gli Etruschi e l'aldilà tra capolavori e realtà virtuale* at Palazzo Pepoli in Bologna in 2014-2015 (Russo Tagliente, Sassatelli 2014).

Concerning recent exhibitions, *Spina etrusca. Un grande porto nel Mediterraneo* commemorates the 100th anniversary of the discovery of the Etruscan city of Spina (Desantis *et al.* 2023). During the visit, videos and multimedia immersive installations enhance audience enjoyment. Spina, with its cemeteries and rich grave goods, as well as being focal in defining the earliest phases of development and monumentalisation of funerary spaces in

the Po Delta area (Gaucci 2015; Govi *et al*., in this volume), consolidates among the general public its status of communication and trade hub in the network of the main cities of the Mediterranean and classical-era Greece.

4.3 *Revitalised or innovative scientific approaches*

In conclusion, two less investigated facets of the convergence between funerary archaeology and computer science will be mentioned: the analytical study of funerary practices as a focal point for simulating ancient societies, and the research domain of 'archaeo-thanatology' as a comprehensive solution for integrating data from funerary archaeology and biological anthropology.

The use of Agent-Based Modelling (ABM) to simulate complex dynamics of ancient communities and their social organization, although not new (Doran 1970; Hodder 1978), is the most articulated approach. In funerary archaeology, the analysis of the 'social dimension of mortuary practices' (Saxe 1970) should include the actors as well as the archaeological evidence of their attitude towards death and the mortuary ritual, in order to shed light on the social structure of the groups that buried their dead. Such a paramount analysis – today also influenced by the 'actor-network theory' concerning the interaction concept (Latour 2005; Nizzo 2017) – would perfectly apply to the multifaceted examples of Spina or Pontecagnano (see, e.g., Donnellan 2019) that we have already illustrated.

The second investigation area has developed thanks to the involvement in the research teams of experts in biological anthropology and palaeopathology. Significantly, archaeo-thanatology is strongly oriented towards the concept of the dead and its relation to contemporary society (Williams, Giles 2016). It requires specific operative aspects because the recovery, study, and exposition of archaeological human remains raise the question, still partially explored, of the ethical issues related to their analysis, curation, and display (Arizza 2021, with references). The intervention of information technology is fundamental here for its cross-cutting nature that supports and integrates interdisciplinary activities to operate both in the field and in the laboratory, as well illustrated on the INRAP website, in the section 'Les Magazines' (https://www.inrap.fr/magazine/Les-magazines/), under the title *L'archéo-anthropologie funéraire*. Regarding the analysis and classification of human remains, the role of archaeometry and the statistical approach are still prevalent.

5. Conclusion

Funerary archaeology, as well as digital archaeology, are today characterised by a global approach, supported by technological tools, which embraces both cultural and natural heritage to provide alternative ways of interpreting the archaeological record.

Going back to the terminological issues, this global approach is corroborated by the spreading of some newly coined words that have entered the archaeological language and, therefore, are especially useful in identifying innovative research phenomena. I refer, in particular, to the terms 'necrogeography', 'necroscapes' or 'deathscapes' (e.g., Semple, Brookes 2020), which relate to a broader spectrum of research drawing on geography, sociology, and anthropology. They well describe the need for a Collaborative Virtual Research Environment (CVRE) that mimics fieldwork and laboratory-scale studies, in which data and tools to process them are made available for researchers cooperating on the same topics.

Paola Moscati
Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
paola.moscati@cnr.it

REFERENCES

Arizza M. 2021, *Resti umani e ricerca archeologica: 'interferenze' e prospettive metodologiche*, in M. Arizza (ed.), *Trattamento e restituzione del Patrimonio culturale. Oggetti, resti umani, conoscenza, Atti dei Webinar 10-11 novembre 2020 e 21-22 aprile 2021*, Etica e Patrimonio culturale, 1, Roma, CNR Edizioni (https://doi.org/10.48220/eticaepatrimonioculturale-2021-1).

Arroyo-Bishop D., Lantada Zarzosa M.R. 1993, *Bibliografía sobre la aplicación de la informática en arqueología*, Cuadernos del Instituto Aragonés de Arqueología, 3, Teruel.

Bagnasco Gianni G., Marzullo M., Garzulino A. 2017, *The last ten years of research at Tarquinia*, in S. Garagnani, A. Gaucci (eds.), *Knowledge, Analysis and Innovative Methods for the Study and the Dissemination of Ancient Urban Areas, Proceedings of the KAINUA 2017 International Conference (Bologna 2017)*, «Archeologia e Calcolatori», 28.2, 211-221 (https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.15).

Baldoni V. (ed.) 2021, *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/idyear.php?IDyear=2021-12-20).

Betori A., Licordari F. (eds.) 2021, *Strada facendo. Il lungo viaggio del "carro di Eretum"*, Catalogo della mostra, Foligno, Il Formichiere.

Binford L.R. 1971, *Mortuary practices: Their study and their potential*, in J.A. Brown (ed.), *Approaches to the Social Dimensions of Mortuary Practices*, «Memoirs of the Society for American Archaeology», 25, 1971, 6-29 (http://www.jstor.org/stable/25146709).

Bonghi Jovino M. 2010, *The Tarquinia Project: A summary of 25 years of excavation*, «American Journal of Archaeology», 114, 161-180.

Boschi F. 2022, *Archeologia funeraria e tecnologie digitali: la tomba del principe di Corinaldo dalla documentazione alla fruizione*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 235-254 (https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.13).

Cacciari I., Pocobelli G.F. 2021, *The contribution of Artificial Intelligence to aerial photointerpretation of archaeological sites: A comparison between traditional and Machine Learning methods*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 81-98 (https://doi.org/10.19282/ac.32.1.2021.05).

Caravale A., Duran-Silva N., Grimau B., Moscati P., Rondelli B. 2023, *Developing a digital archaeology classification system using Natural Language Processing and Machine Learning techniques*, «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 9-32 (https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.01).

Caravale A., Moscati P. 2021, *La bibliografia di informatica archeologica nella cultura digitale degli anni Novanta*, 30 anni di informatica archeologica, 1, Firenze, Edizioni All'Insegna del Giglio (https://doi.org/10.19282/FA.4.2021).

Ceccarelli L. 2001, *Progetto Caere: dallo scavo al territorio. Una soluzione per la distribuzione dei dati tramite un GIS on-line*, «Archeologia e Calcolatori», 12, 105-121 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF12/06Ceccarelli.pdf).

Cerchiai L. 2022, *Pittura etrusca in 4D: il programma fac-simile*, «Annali di Archeologia e Storia antica», 29, 395-396.

Chapman R., Kinnes I., Randsborg K. (eds.) 1981, *The Archaeology of Death*, Cambridge, Cambridge University Press.

Chapman D., Providakis S., Rogers C. 2020, *BIM for the Underground – An enabler of trenchless construction*, «Underground Space», 5, 4, 354-361 (https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.08.001).

Ciotti F. 2023, *Introduzione. La galassia delle Digital Humanities*, in F. Ciotti (ed.), *Digital Humanities. Metodi, strumenti, saperi*, Roma, Carocci, 19-34.

Cristofani M. 1986, *Nuovi dati per la storia urbana di Caere*, «Bollettino d'Arte», 35-36, 1-24.

D'Andrea A. 1999, *Il GIS nella produzione delle carte dell'impatto archeologico: l'esempio di Pontecagnano*, «Archeologia e Calcolatori», 10, 227-237 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF10/10_16_D'Andrea.pdf).

De Angelis F. 2005, *Charun. Una banca-dati per le urne etrusche*, con Appendice di M. Novelli, «Archeologia e Calcolatori», 16, 7-40 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF16/DEANGELIS7-40.pdf).

De Angelis F. 2015, *Miti greci in tombe etrusche. Le urne cinerarie di Chiusi*, Monumenti Antichi dell'Accademia Nazionale dei Lincei, 73, Roma, Giorgio Bretschneider.

Desantis P., Govi E., Nizzo V., Sassatelli G., Trocchi T. (eds.) 2023, *Spina etrusca. Un grande porto nel Mediterraneo*, Catalogo della mostra, Siena, ARA Edizioni.

Djindjian F. 1985, *Seriation and toposeriation by Correspondance Analysis*, in A. Voorrips, S.H. Loving (eds.), *To Pattern the Past*, «PACT», 11, 119-136.

Djindjian F. 2015, *A short history of the beginnings of mathematics in archaeology*, in J.A. Barceló, I. Bogdanovic (eds.), *Mathematics and Archaeology*, Boca Raton, CRC Press, 65-85.

Donnellan L. 2019, *Modeling the rise of the city: Early urban networks in Southern Italy*, «Frontiers in Digital Humanities», 6, 15 (https://doi.org/10.3389/fdigh.2019.00015).

Doran J.E. 1970, *Systems theory, computer simulations and archaeology*, «World Archaeology», 1, 3, 289-298 (https://doi.org/10.1080/00438243.1970.9979448).

Doran J.E. 1971, *Computer analysis of data from La Tène cemetery at Münsingen-Rain*, in F.R. Hodson, D.G. Kendall, P. Tautu (eds.), *Mathematics in the Archaeological and Historical Sciences. Proceedings of the Anglo-Romanian Conference (Mamaia 1970)*, Edinburgh, Edinburgh University Press, 422-431.

Emiliozzi A., Moscati P., Santoro P. 2007, *The princely cart from Eretum*, in P. Moscati (ed.), *Virtual Museums and Archaeology. The Contribution of the Italian National Research Council*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 1, 143-162 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_1/10_Emiliozzi.pdf).

Fromageot-Laniepce V. 2012, *Construction et diffusion de bases de données partagées: l'expérience de la base des sépultures d'enfants dans l'antiquité*, in F. Giligny, L. Costa, F. Djindjian, P. Ciezar, B. Desachy (eds.), *Actes des 2èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris – JIAP 2010*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 3, 51-60 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_3/04-formageot.pdf).

Gallay A. 1973, *Formalisation des données archéologiques sur un chantier de fouilles: le site de Petit-Chasseur à Sion (Valais, Suisse)*, in *Actes du 8e Congrès International des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques (Beograd 1971)*, Beograd, 85-88.

Gallay A. 1987, *L'ordinateur comme aide au raisonnement en archéologie. Un cas d'application: la nécropole du Petit Chasseur (Sion, Valais, Suisse)*, in F. Djindjian, H. Ducasse (eds.), *Data Processing and Mathematics Applied to Archaeology - Mathématiques et Informatique appliquées à l'archéologie*, «PACT», 16 [1992], 457-472.

Gaucci A. 2015, *Organizzazione degli spazi funerari a Spina e in area deltizia con particolare riguardo al periodo tardo-arcaico*, in G. Della Fina (ed.), *La delimitazione dello spazio funerario in Italia dalla protostoria all'età arcaica. Recinti, circoli, tumuli, Atti del XXII Convegno Internazionale di Studi sulla Storia e l'Archeologia dell'Etruria (Orvieto 2014)*, Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 22, 113-170.

Gaucci A. 2021, *Virtual Archaeology and the study of necropolises as a system: Methodology and practice in the case study of Numana (AN), Italy*, in Baldoni 2021, 27-34 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.03).

Gilotta F., Carafa V., Morpurgo G. *et al.* 2022, *Researches at the Monte Abatone necropolis (Cerveteri)*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 135-152 (https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.08).

Govi E. (ed.) 2021, *Birth. Archeologia dell'infanzia nell'Italia preromana*, Bologna, Bononia University Press.

Guimier-Sorbets A.-M. 1999, *Des bases de données à la publication électronique: une intégration des données et des outils de recherche*, «Archeologia e Calcolatori», 10, 101-115 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF10/10_08_Guimier_Sorbets.pdf).

Hodder I. (ed.) 1978, *Simulation Studies in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Hodson F.R., Sneath P.A., Doran J.E. 1966, *Some experiments in the numerical analysis of archaeological data*, «Biometrika», 53, 3-4, 311-324 (https://doi.org/10.1093/biomet/53.3-4.311).

Iacotucci F., Pellegrino C. 2010, *An user-friendly approach to GIS-application: An utility for the study of Etruscan cemetery of Pontecagnano (Italy)*, in F. Niccolucci, S. Hermon (eds.), *Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past. Proceedings of CAA 2004 (Prato 2004)*, Budapest, Archaeolingua, 217-219.

Ihm P. 2005, *A contribution to the history of seriation in archaeology*, in C. Weihs, W. Gaul (eds.), *Classification - The Ubiquitous Challenge. Proceedings of the 28th Annual Conference of the Gesellschaft für Klassifikation e.V. (Dortmund 2004)*, Berlin, Heidelberg, Springer (https://doi.org/10.1007/3-540-28084-7_34).

Jones J. 1979, *How to Record Graveyards*, London, Council for British Archaeology.

Kemp B.J. 1982, *Automatic analysis of Predynastic cemeteries: A new method for an old problem*, «The Journal of Egyptian Archaeology», 68, 1, 5-15 (https://doi.org/10.1177/030751338206800102).

Latour B. 2005, *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*, Oxford, Oxford University Press.

Leredde H. 1982, *Structuration de données. Un exemple autour de quelques plaques-boucles mérovingiennes*, in H. Ducasse (ed.), *Panorama 1981 des applications informatiques en archéologie*, Valbonne, APDCA, 73-87.

Materazzi F., Pacifici M., Santaga F.S. 2024, *From top to bottom. Multispectral Remote Sensing and data integration to rediscover Veii*, «FastiOnline», 577 (www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2024-577.pdf).

Melandri G. 2011, *L'età del Ferro a Capua. Aspetti distintivi del contesto culturale e suo inquadramento nelle dinamiche di sviluppo dell'Italia protostorica*, BAR International Series 2265, Oxford, Archaeopress.

Moscati P. 1994, *Un gruppo di urne etrusche di produzione volterrana: prospettive di analisi quantitativa*, in P. Moscati (ed.), *Choice, Representation and Structuring of Archaeological Information*, «Archeologia e Calcolatori», 5, 87-110.

Moscati P. (ed.) 1998, *Methodological Trends and Future Perspectives in the Application of GIS in Archaeology*, «Archeologia e Calcolatori», 9 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/idyear.php?IDyear=1998-01-01).

Moscati P. 2002, *From an Etruscan town to modern technologies: New advancements in the "Caere Project"*, in F. Djindjian, P. Moscati (eds.), *XIV UISPP Congress (Liège-Belgium 2001). Proceedings of Commission IV Symposia. Data Management and Mathematical Methods in Archaeology*, «Archeologia e Calcolatori», 13, 135-149 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF13/08Moscati.pdf).

Moscati P. 2021, *Digital archaeology: From interdisciplinarity to the 'fusion' of core competences. Towards the consolidation of new research areas*, «Magazén», 2, 2, 253-274 (https://doi.org/10.30687/mag/2724-3923/2021/04/004).

Moscati P. 2023, *L'informatica archeologica nell'era postdigitale*, in F. Ciotti (ed.), *Digital Humanities. Metodi, strumenti, saperi*, Roma, Carocci, 282-298.

Moscati P., Orlandi T. (eds.) 2019, *Il Museo virtuale dell'informatica archeologica. Una collaborazione tra l'Accademia Nazionale dei Lincei e il Consiglio Nazionale delle Ricerche. Atti della «Segnatura» (Roma 2017)*, «Rendiconti della Classe di Scienze morali, storiche e filologiche dell'Accademia Nazionale dei Lincei», 30, 39-156.

Nista L., Natale M.T., Moscati P. 2010, *Linee guida per la redazione di siti web afferenti a Siti Unesco: il caso delle Necropoli di Cerveteri e Tarquinia*, «Ufficio Studi MiBACT, Newsletter», 4.

Nizzo V. 2018, *The social life cycle of bodies and things: ricomporre e ripensare la realtà rituale e quella sociale tra material engagement, enchainment e actor network theory*, in V. Nizzo (ed.), *Archeologia e antropologia della morte 2. Corpi, relazioni e azioni: il paesaggio del rito. Atti del 3° Incontro internazionale di studi* (*Roma 2015*), Roma, ESS, 63-82.

Pellegrino C., Rossi A. 2017, *Contemporary landscape and the archaeological record. An integrated approach to the study of the Etruscan-Samnite site of Pontecagnano (SA)*, in S. Garagnani, A. Gaucci (eds.), *Knowledge, Analysis and Innovative Methods for the Study and the Dissemination of Ancient Urban Areas, Proceedings of the KAINUA 2017 International Conference (Bologna 2017)*, «Archeologia e Calcolatori», 28.2, 189-199 (https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.13).

Piergrossi A., Tabolli J., Pacifici M. 2019, *Tempi funerari nella necropoli di Grotta Gramiccia: problematiche e potenzialità della seriazione dei contesti nel rapporto con l'ideologia funeraria della prima età del Ferro*, in M. Arizza (ed.), *Società e pratiche funerarie a Veio. Dalle origini alla conquista romana, Atti della giornata di studi (Roma 2018)*, Roma, Sapienza Università Editrice, 5-23 (https://doi.org/10.13133/9788893771122).

Pietroni E. 2013, *Natural interaction in VR environments for cultural heritage: The virtual reconstruction of the Regolini-Galassi tomb in Cerveteri (with an Appendix by M. Sannibale and D. Pletinckx)*, «Archeologia e Calcolatori», 24, 231-247 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF24/11_Pietroni.pdf).

Russo Tagliente A., Sassatelli G. 2014, *Il viaggio oltre la vita: gli Etruschi e l'aldilà tra capolavori e realtà virtuale*, Catalogo della mostra, Bologna, Bononia University Press.

Ryan N.S. 1988, *A bibliography of computer applications and quantitative methods in archaeology*, in S.P.Q. Rahtz (ed.), *Computer and Quantitative Methods in Archaeology 1988. CAA88*, BAR International Series 446, Oxford, Tempus Reparatum, 1-27.

Saxe A. 1970, *Social Dimensions of Mortuary Practices*, Dissertation, University of Michigan.

Semple S., Brookes S. 2020, *Necrogeography and necroscapes: Living with the dead*, «World Archaeology», 52, 1, 1-15 (https://10.1080/00438243.2020.1779434).

Signore O., Missikoff O., Moscati P. 2005, *La gestione della conoscenza in archeologia: modelli, linguaggi e strumenti di modellazione concettuale dall'XML al Semantic Web*, «Archeologia e Calcolatori», 16, 291-319 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF16/SIGNORE291-319.pdf).

Taccola E., Rosselli L., Albertini N., Martino M. 2021, *Etruscan hypogea in 3D: A proposal for an immersive and interactive visualization of Volterra's funerary contexts*, in Baldoni 2021, 135-152 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.12).

Tarlow S., Nilsson Stutz L. (eds.) 2013, *The Oxford Handbook of the Archaeology of Death and Burial*, Oxford, Oxford University Press.

von Graeve V., Helly B., Wolters C. 1974, *Stèles funéraires hellenistiques de Thessalie: essai pour constituer une banque de données*, in M. Borillo, J.-C. Gardin (eds.), *Banques de données archéologiques. Actes du Colloque (Marseille 1972)*, Paris, Éditions du CNRS, 253-262.

Wilcock J.D. 1999, *Getting the Best Fit?*, in L. Dingwall, S. Exon, V. Gaffney, S. Laflin, M. van Leusen (eds.) 1999, *Archaeology in the Age of the Internet, CAA97, Proceedings of the 25th Anniversary Conference (Birmingham 1997)*, BAR International Series 750, Oxford, Archaeopress, 35-71 (https://proceedings.caaconference.org/paper/07_wilcock_caa_1997/).

Williams H., Giles M. (eds.) 2016, *Archaeologists and the Dead: Mortuary Archaeology in Contemporary Society*, Oxford, Oxford University Press, 113-138.

ABSTRACT

The paper explores the successful merging of expertise in 'funerary archaeology' and 'digital archaeology' research domains. The Author first conducts a terminological analysis to establish a framework for both subjects based on their unique theoretical and methodological backgrounds and then highlights common methodological issues from the 1960s up to today. The result is a complex scenario in which the main applications include spatial analysis techniques and the GIS-based approach for the study of the relationship between cemeteries, settlements and territory; computer graphics and Virtual Reality techniques for the reconstruction of specific funerary structures and burial typologies; multivariate statistical analyses for the automatic classification of grave goods and their chronological ordering; modelling and simulation techniques to mimic features and behaviours of past ritual practices.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 31-40
doi 10.19282/ac.35.1.2024.03

THE NECROPOLIS AS A LANDSCAPE OF POWER: SOME REFLECTIONS

1. Introduction

Interpreting the funerary landscape of the Etruscan-Italic world through the lens of digital archaeology offers significant opportunities for discussion, and this issue of the journal clearly illustrates that spatial technologies (specifically spatial technologies for archaeology, with GIS the most widespread according to Wheatley, Gillings 2002, 1) have become an essential tool in the study of multi-scale contexts such as 1st millennium BC necropolises. The Venetian conference offered a space to discuss the digital methodologies adopted to study the most important necropolises of the 1st millennium BC, and one of the most interesting points, in my opinion, was the development of a methodological *koinè* characterised by adopting the same analytical package, with surveying and positioning techniques based on the use of drones and DGNSS at the site scale and photogrammetry and laser scanning for individual monuments (Gilotta, Lucchetti, Patriziano; Conti, Mazet, Michetti; Taccola, Rosselli, Grava in this volume), multifactorial spatial analysis in a GIS environment (Massanova, Pellegrino in this volume), and experiments in using BIM (Govi *et al.*; Gambacurta *et al.* in this volume), which catalysed the final discussion.

One of the points discussed in this paper and emphasised in the Conference title is a clear focus on the necropolis as a type of landscape. The recent proliferation of different-scapes (Pitts, Versluys 2021), heritage-scapes (Di Giovine 2009), knowledge-scapes (Jürcke, Montes-Landa, Ceccarelli 2021) and even culinary-scapes (Novelo-Pérez *et al.* 2019) underlines the importance that different types of landscape have been granted in the broader theoretical debate on landscape archaeology, each characterised by specific analytical categories. The funerary landscape is also analysed in the literature as a necroscape, deathscape, burialscape, mortuary landscape, sacred landscape, landscape of mortuary practices, landscape of ancestors, etc., with each specific approach shifting the focus of investigation to one of its main features.

In the following set of considerations, therefore, we will focus on the non-obvious relationship between digital archaeology and the hermeneutic possibilities offered by taking a phenomenological perspective on landscape. Digital archaeology has been concerned with landscape for more than 30 years (Allen, Green, Zubrov 1990; Gaffney, Stančič 1991; Lock, Stančič 1995; Aldenderfer, Maschner 1996; Maschner 1996), employing increasingly sophisticated analytical tools. At the same time, however, it seems

obvious to me that considering necropolises a particular type of landscape invites us to turn our attention to the relationship between human groups and the space in which they lived and acted, a topic about which contextual archaeology (and especially scholars such as C. Tilley) has produced important reflections (Tilley 1994, 2004, 2008, 2010; Tilley, Cameron Daum 2017). The phenomenological approach requires a constant dialectic between ideas and empirical data, and invites researchers to keep in mind that studying landscape through sources (publications, maps, tables, graphs, or photographs, which are at best 'representations') can provide only partial knowledge: hence the demonisation of digital archaeology, which Tilley communicates in no uncertain terms: «Statistical analysis, Geographical Information Systems and simulations are, if anything, far worse» (Tilley 2004, 218).

The last part of this paper addresses the combination of these two perspectives and analyses the concept of powerscape as interpreted by A. De Guio (1991, 2000, 2001, 2002).

2. The necropolis as a landscape of the ancestors

Many of the funerary contexts studied in Italian and European late prehistory demonstrate the value of the necropolis as an 'ancestral landscape', a place where «the ancestors were embodied by the very earth, becoming landscapes themselves» (Murray 2016, 149). The close relationship between ancestors and their burial place is also reflected in the title A. Harding gave to his keynote address at the Conference *Ancestral Landscape: Burial Mounds in the Copper and Bronze Ages (Central and Eastern Europe-Balkans-Adriatic-Aegean, 4th-2nd Millennium B.C.)* held in Udine in 2008: *The Tumulus in European Prehistory: Covering the Body, Housing the Soul* and in the resulting paper he wrote for the Conference Proceedings (Harding 2012). In the Friuli region, the monumental funerary landscape of *tumuli* was created at the beginning of the 2nd millennium BC (Càssola Guida 2012); the discovery of several Chalcolithic contexts in areas subsequently marked by the construction of important Early Bronze Age (EBA) *tumuli* in this region shows that the landscape held an important and long-term role in terms of ritual purposes and only later underwent a phase of monumentalisation (Borgna *et al.* 2019). Towards the end of the Early Bronze Age, when the landscape of *tumuli* was still under construction, the first fortified sites featuring an earthen embankment with a wooden supporting structure and surrounding ditch (*castellieri*) were built in the Upper Friulian plain: in the Sedegliano hillfort, below the still-massive Late Bronze Age (LBA) earthwork embankment, researchers found traces of a first smaller embankment containing four graves. The small necropolis was radiocarbon dated to between the 19th and 16th centuries, thus identifying the period of use of the first embankment

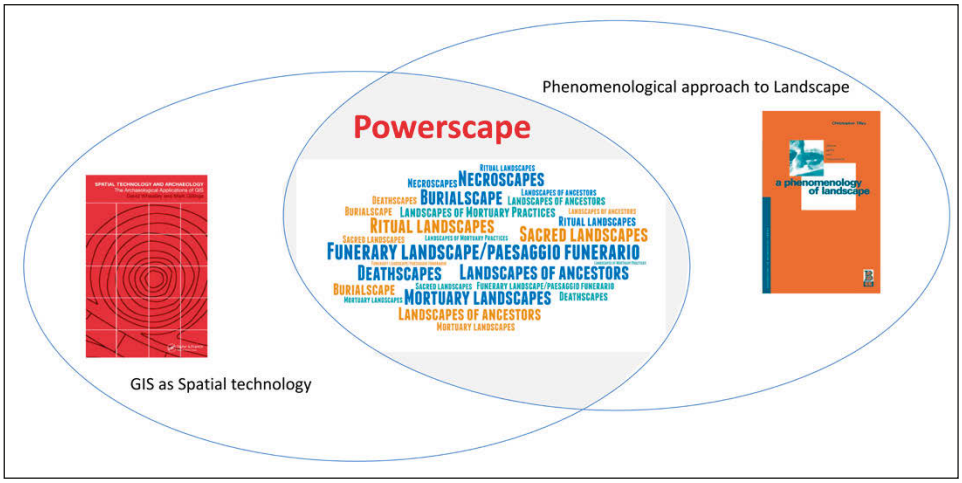


Fig. 1 – The funerary landscape as a landscape of power, between phenomenological interpretations and GIS-based spatial analysis.

that was obliterated by later extensions (Borgna *et al.* 2018): the burials belonging to the earliest period of the settlement were thought to be those of the settlement's 'guardian' ancestors.

The first settlements also appear in the neighbouring areas of Karst and Istria at the end of the EBA: these are hillforts defended by drystone walls. The ones that appear to have been active since the late EBA based on materials and C14 dates are Elleri in the Trieste Karst and Monkodonja in Istria (Hellmuth Kramberger 2017): the latter, analogous in certain respects to Sedegliano, has two lithic box tombs dated to the late EBA and incorporated into the surrounding walls (Hänsel *et al.* 2020). In both cases, it is interesting to note that newly built settlements were able to establish continuity with the landscape of the ancestors by incorporating earlier burials. The ancestral landscape is the place to which a human group traces its belonging and is therefore monumentalised with funerary structures that provide an obvious landmark for groups from other areas: it has even been proposed that many Istrian *tumuli* functioned as landmarks for navigation (Borgna *et al.* 2018).

Broadening our perspective, similar dynamics can also be found outside Europe: analysing the results of an emergency archaeology project in the Sultanate of Oman[1], S. Laurenza and colleagues (Laurenza, Bianchi, Di Michele

[1] The Batinah Express Highway Package 5, directed in the field by S. Laurenza between 2014 and 2015, led to the excavation of the three necropolises of Falaj as Souq, Liwa, and Wadi al-Arad, which testify to a long continuity of use between the early third millennium BC (Hafit culture) and

2020) focus on the role of practices both material (from the preparation of grave goods to the construction of burial mounds and ancillary stone structures) and immaterial (from construction techniques to the conscious decision to reuse structures in the Sasanian period) in creating a social and cultural memory intimately linked to the landscape of the necropolis itself. For the different cultural groups that buried their dead in the three necropolises studied, the burials had to be visible to those travelling along the main roads (the *widyān* or fossil beds of ancient rivers): the position of the more monumental tombs at the highest points of the ridges and simpler ones along the relative slopes, the almost total absence of structures at some distance from the edges of the terraces, and the entrances of the graves almost always facing the wadi, are thus read as evidence of a cultural memory that shaped locals' relationship with the landscape (Laurenza, Bianchi, Di Michele 2020, 354).

A key point in the arguments of Laurenza and colleagues is that a necropolis consists of both material practices (funerary monuments and grave goods) and immaterial practices (funerary rituals and the will to continue using the same space): while the former can be studied using the tools of stratigraphic excavation, delving into the latter requires asking how people interacted with a given environment.

3. The phenomenological approach to landscape

The immaterial practices discussed above are nothing more than the «generalisations about meaningful social action» which I. Hodder (1985) suggests may not be possible within the framework of processual archaeology. Rejecting a timeless world in which man passively suffers the laws of his environment, Hodder hopes that man: «the passive and efficient animal [...] controlled by laws that he cannot unsurp [may] be replaced by the individual, actively and meaningfully creating his or her world» (Hodder 1985, 23). Although it is now difficult to disagree with Hodder's critique of processual archaeology's desire to reduce everything to numbers and rules, it is also worth noting that works such as *Spatial Archaeology* (Clarke 1977) and *Spatial Analysis in Archaeology* (Hodder, Orton 1976), genuine manifestos of what Tilley with thinly disguised annoyance refers to as «mathematical spatial archaeology» (Tilley 1994), now form the basis of many of GIS' analytical tools.

One of the interpretive perspectives on space that have followed these critiques is Tilley's phenomenological approach to landscape: he sets off from the idea that space must be seen as an agent in itself rather than a mere

the late Iron Age as well as multiple reuses in the Sasanian period. The Author participated in this project in the role of topographical surveyor (Putzolu *et al.* 2020).

container of action. If space is involved in the action of human groups, then it cannot exist outside of the events and activities that affect it: one cannot speak of space in absolute terms but must instead consider multiple spaces. Both the human agents who experience it and the ways in which this experience takes place contribute to defining individual spaces. Experiencing space is not a neutral fact; rather, it is shaped by different power roles based on age, gender, social status and interpersonal relationships. In a recent work entitled *An Anthropology of Landscape* (Tilley, Cameron Daum 2017), the Authors point to several aspects that determine everyone's relationship with landscape:

– Biography (how does landscape enter into people's biographies?);
– Place (how do humans 'create' places?);
– Motility (how do humans move through the landscape?);
– Mediation (how is our perception of landscape mediated by the ways in which we move through it?);
– Agency, aesthetics, and well-being (what does the landscape 'do' for us?);
– Conflict and contestation (how does our perception of landscape change depending on our values and priorities?);
– Nature and culture (what do these terms mean within a given landscape?).

If we try to answer these questions by considering the different relationship each person has with a cemetery, we can perhaps appreciate how many and what interpretative insights such an approach can provide.

Adopting a phenomenological perspective to the study of landscape therefore means:

– Privileging the direct experience of the landscape studied in its physicality and considering sources on the landscape (photos, maps, texts, etc.) as secondary (materiality);
– Recognising the physicality of the environment in its interaction with humans and, at the same time, feeling part of a larger body (embodiment);
– Realising that different people, or different human groups, see (or have seen) the same environment with different eyes, sometimes even from conflicting points of view (contestation);
– Taking into account that pre-modern societies had a significantly different relationship with nature (and thus with the environment) than we do, and how important a balance with the environment was for many (emotion).

In the light of these considerations, the thoughts outlined above regarding the immaterial aspects of a landscape as peculiar as the cemetery take on a new hermeneutic perspective.

The question of the materiality of landscape deserves special mention, and indeed the implications of this assertion for digital archaeology have

already been clearly expressed by Tilley: «Ancient stones in landscapes, the subject matter of this book, cannot be known or understood simply from publications, from maps, diagrams, photographs and descriptions, because these are only representations. As representations they necessarily fail in conveying a bodily understanding of prehistoric remains. Statistical analysis, Geographical Information Systems and simulations are, if anything, far worse. There can be no substitute for the human experience of place – of being there – and it is only after this that the various technologies of representation come into play» (Tilley 2004, 218).

4. The powerscape as an intersection between landscape phenomenology and spatial technologies

The physical relationship between humans and the environment has certainly been of fundamental importance in the past as a component of the funerary landscape. How can we bring together the study of this landscape with GIS analyses that explore a person's modes of perception (especially visual and auditory) within the necropolis? The element of synthesis between these two apparently irreconcilable approaches is found in the theoretical framework of the powerscape[2], as theorised by A. De Guio since the 1990s (Fig. 1). «The main object of political archaeology is the attempt to glean, from a reading of the archaeological record, the spatial/functional articulation and formative processes (genesis, maintenance, collapse, 'rebirth' ...) of the political organisation of geographical space in antiquity, defined in the associated terminology as landscape of power or powerscape» (De Guio 2002, 82-83; translated from Italian by the Author). De Guio's reference to the «political organisation of geographical space in antiquity» closely resembles what Tilley wrote at the beginning of his *A Phenomenology of Landscape*: «Spatial experience is not innocent and neutral, but invested with power relating to age, gender, social position and relationships with others» (Tilley 1994, 11).

What could not be more different, however, is the approach to landscape analysis: to Tilley's demonisation of digital archaeology (see above), De Guio responds with an invitation to use various GIS-based analytical methods he defines as 'hammers of power' (De Guio 2002, 84; translated from Italian by the Author). The toolbox suggested by De Guio (and it should be noted that, even today, the most frequently used GIS software, ESRI ArcGIS Pro, organises numerous analytical tools into dedicated menus called toolboxes) refers to the extremely articulated analytical repertoire made available «in the healthy

[2] The two most important references, cited by De Guio itself (2002) in his definition of 'archaeology of power', are *The Archaeology of Government* (Trigger 1974) and *Landscape of Power* (Renfrew 1984).

delirium of new-archaeological omnipotence and its epigonic streams» (De Guio 2002, 84; translated from Italian by the Author): along with the models then most widely used by spatial archaeology, De Guio proposes some models expressly codified for studying Landscapes of Power and suggests researchers use of the «multiform repertoire of Geographic Information Systems» (De Guio 2002, 85; translated from Italian by the Author).

Similar confidence in the analytical potential of GIS, including on the phenomenological side, can be found in the definition of GIS itself given by D. Wheatley and M. Gillings. Discussing the variety of data typically collected by archaeologists, they state that these: «could relate equally to archaeological artefacts, environmental factors, modern cultural boundaries, perceptual fields, etc.: in effect, an environment in which to think and explore ideas. GIS has the potential to provide precisely this type of environment of integration and exploration» (Wheatley, Gillings 2002, 15; emphasis added by the Author).

Having established that it is possible to analyse a necropolis as a specific form of landscape (the funerary one, in fact) using the most sophisticated geostatistical algorithms, we can then turn our attention to its value as a spatial construct and the political implications of its articulation within a given local area. One of the most recent publications on the perceptual analysis of the landscape in this context is J. Ortoleva's work reconstructing aural engagement within Etruscan necropolises, and between the necropolis and settlement, through acoustic modelling (Ortoleva 2021, 2022, 2023; Ortoleva, Barnard 2021). It should be emphasised that Ortoleva applies the same approach in other work as well, both at the macro level of the land between a settlement and necropolis (Pian di Civita and Monterozzi in Tarquinia, respectively) and at the micro level of individual tombs, thereby providing interesting insights into the not-only-visual connection between the landscape of the living and that of the dead in the Etruscan world, as well as the importance of the sound component in the internal structuring of hypogean tombs.

An approach which is certainly more widely used but has produced interesting new insights in recent years is viewshed analysis (for an up-to-date bibliography on viewshed analysis in archaeology, Gillings, Wheatley 2020). It should be noted that this approach was first applied within archaeology in Renfrew's work on the Neolithic cemetery landscape of Orkney (Renfrew 1979). Following an analysis initially based on a fundamentally binary concept of visible and non-visible cells (Wheatley, Gillings 2000), more recent work has introduced concepts such as degradation of visibility as a function of distance (fuzzy viewshed analysis, Murphy, Gittings, Crow 2018), the uncertainty associated with the imprecision of the DEM (probable viewshed analysis, Murphy, Gittings, Crow 2018), and the differential ability to recognise an individual depending on the colours of their clothing and contrast

between them and the colours of their surroundings (Individual Distance Viewshed, IDV, Fabregas-Alvarez, Parcero-Oubiña 2019; Galmés-Alba, Calvo-Trias 2022). Such work has shown that it is possible to reconcile, at least at the level of modelling, the use of increasingly sophisticated analytical methods, attention to phenomenological aspects of the human-environment relationship, and the use of ever-new 'hammers of power'.

Cristiano Putzolu
Dipartimento di Storia Culture Civiltà, DiSCI
Università degli Studi di Bologna
cristiano.putzolu@unibo.it

REFERENCES

Aldenderfer M., Maschner H.D.G. 1996, *Anthropology, Space, and Geographic Information Systems*, New York, Oxford University Press.

Allen K.M.S., Green S.W., Zubrov E.B.W. 1990, *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, London, Taylor & Francis.

Borgna E., Càssola Guida P., Mihovilić K., Tasca G., Teržan B. 2018, *Il Caput Adriae tra Bronzo Antico e Bronzo Recente*, in E. Borgna, P. Càssola Guida, S. Corazza (eds.), *Preistoria e Protostoria del Caput Adriae*, *Atti della XLIX Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Udine-Pordenone 2014)*, Firenze, Studi di Preistoria e Protostoria, 5, 75-96.

Borgna E., Simeoni G., Vinci G., with a contribution by Nicosia C. 2019, *Origin and evolution of a Bronze Age funerary landscape in Friuli: The "Lower Context" of the Tumulus of Mereto di Tomba (Udine) and the 3rd-2nd Millennium transition in the Northern Adriatic*, «Origini», 43, 113-140.

Càssola Guida P. 2012, *The Early Bronze Age in North Eastern Italy: The making of a monumental landscape*, in E. Borgna, S. Müller Celka (eds.), *Ancestral Landscapes: Burial Mounds in the Copper and Bronze Ages (Central and Eastern Europe-Balkans-Adriatic-Aegean, 4th-2nd Millennium B.C.), Proceedings of the International Conference (Udine 2008)*, Lyon, Maison de l'Orient et de la Méditerranée Jean Pouilloux, 269-277.

Clarke D.L. (ed.) 1977, *Spatial Archaeology*, London-New York-San Francisco, Academic Press.

De Guio A. 1991, *Alla ricerca del potere: alcune prospettive italiane*, in E. Herring, J. Wilkins, R. Whitehouse (eds.), *Papers of the 4th Conference of Italian Archaeology, 1, The Archaeology of Power*, 1, London, Accordia Research Center, 153-192.

De Guio A. 2000, *Potere, archeologia del*, in D. Manacorda, R. Francovich (eds.), *Dizionario di Archeologia. Temi, concetti e metodi*, Roma-Bari, Laterza, 222-228.

De Guio A. 2001, *Power to the people? "Paesaggi di potere" di fine millennio…*, in G. Camassa, A. De Guio, F. Veronese (eds.), *Paesaggi di potere: problemi e prospettive, Atti del Convegno di Udine (Udine 1996)*, Roma, Edizioni Quasar, 3-29.

De Guio A. 2002, *Dinamiche non lineari del potere: teorie-metodi di riferimento e caso di studio dall'Età del Bronzo della Pianura Padana (Italia)*, in M. Molinos, A. Zifferero (eds.), *Primi popoli d'Europa. Proposte e riflessioni sulle origini della civiltà nell'Europa mediterranea*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 81-110.

Di Giovine M. 2009, *The Heritage-scape: UNESCO, World Heritage, and Tourism*, Lanham, Lexington Books.

Fabregas-Alvarez P., Parcero-Oubiña C. 2019, *Now you see me. An assessment of the visual recognition and control of individuals in archaeological landscapes*, «Journal of Archaeological Science», 104, 56-74 (https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.02.002).

Gaffney V., Stančič Z. 1991, *GIS Approaches to Regional Analysis: A Case Study of the Island of Hvar*, Ljubljana, Znanstveni Institut Filozofske fakultete.

Galmés-Alba A., Calvo-Trias M. 2022, *Connecting architectures across the landscape: A visibility and network analysis in the Island of Mallorca during the Late Bronze Age and Early Iron Age*, «Cambridge Archaeological Journal», 32, 3, 467-487 (https://doi.org/10.1017/S0959774321000627).

Gillings M., Wheatley D. 2020, *GIS-based visibility analysis*, in M. Gillings, P. Hacigüzeller, G. Lock (eds.), *Archaeological Spatial Analysis. A Methodological Guide*, London-New York, Routledge, 313-332.

Hänsel B., Mihovilić K., Teržan B., Achino K.F., Becker C., Ćosović V., Puc N., Tessmann B., Toškan B., Urankar R., Zubin Ferri T. 2020, *Monkodonja. Istraživanje protourbanog naselja bronČanog doba Istre Knjiga 3 Nalazi od metala, gline, kosti i kamena te ljudskih i životinjskih kostiju,* 3, Arheološki Muzej Istre, Pula, Arheološki muzej Istre.

Harding A.F. 2012, *The tumulus in European Prehistory: Covering the body, housing the soul*, in E. Borgna, S. Müller Celka (eds.), *Ancestral Landscapes: Burial Mounds in the Copper and Bronze Ages (Central and Eastern Europe-Balkans-Adriatic-Aegean, 4th-2nd Millennium B.C.)*, *Proceedings of the International Conference (Udine 2008)*, Lyon, Maison de l'Orient et de la Méditerranée Jean Pouilloux, 21-30.

Hellmuth Kramberger A. 2017, *Monkodonja. Istraživanje protourbanog naselja bronČanog doba Istre, Knjiga 2. Keramika s bronČanodobne gradine Monkodonja/Forschungen zu einer protourbanen Siedlung der Bronzezeit Istriens Teil 2. Die Keramik aus der bronzezeitlichen Gradina Monkodonja*, Pula, Arheološki muzej Istre, Monografije i katalozi 28.

Hodder I. 1985, *Postprocessual Archaeology*, Advances in Archaeological Method and Theory, 8, 1-26.

Hodder I., Orton C. 1976, *Spatial Analysis in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Jürcke F., Montes-Landa J., Ceccarelli A. 2021, *'Knowledge-scapes' in archaeology: An introduction*, «Archaeological Review from Cambridge», 35, 2, 1-24 (https://doi.org/10.17863/CAM.71846).

Laurenza S., Bianchi M., Di Michele A. 2020, *Graves, distribution and social memory: Towards a new definition of funerary landscape in Oman*, in C. Coppini, F. Simi (eds.), *Interactions and New Directions in Near Eastern Archaeology*, 3. *Proceedings of the 5th "Broadening Horizons" Conference (Udine 2017)*, Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 343-357 (http://hdl.handle.net/10077/30243).

Lock G., Stančič Z. 1995, *Archaeology and Geographic Information Systems: A European Perspective*, London, Routledge.

Maschner H.D.G. (ed.) 1996, *New Methods, Old Problems. Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research*, Carbondale, Southern Illinois University Center for Archaeological Investigations Occasional Paper No. 23.

Murphy K.M., Gittings B., Crow J. 2018, *Visibility analysis of the Roman communication network in southern Scotland*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 17, 111-124 (https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.10.047).

Murray M.L. 2016, *Landscapes of ancestors: The structuring of space around Iron Age funerary monuments in Central Europe*, in E. Hill, J.B. Hageman (eds.), *The Archaeology of Ancestors: Death, Memory, and Veneration*, Gainesville, University Press of Florida, 147-165 (https://doi.org/10.5744/florida/9780813062518.003.0006).

Novelo-Pérez M.J., Herrera-Parra E.M., Fernández-Souza L., Ancona-Aragón I., Jiménez-Álvarez S. 2019, *Pre-Columbian culinary landscapes: Reconstructing elite gastronomy at Sihó, Yucatán*, «STAR: Science & Technology of Archaeological Research», 5, 2, 85-97 (https://doi.org/10.1080/20548923.2019.1674508).

Ortoleva J.K. 2021, *Sounds of Etruria: Aural characteristics of the Tomba dell'Orco. Tarquinia*, «Antiquity», 95, 383, 1179-1194 (https://doi.org/10.15184/aqy.2021.111).

Ortoleva J.K. 2022, *Making sense of landscape: A new study of sound propagation between Tarquinian funerary and habitation settings*, «Etruscan and Italic Studies», 25, 79-112 (https://doi.org/10.1515/etst-2022-0004).

Ortoleva J.K. 2023, *Sounds of the blue daemon: A new aural study of the Etruscan Tomba dei Demoni Azzurri, 450-420 BCE*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 49, 1-11 (https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104000).

Ortoleva J.K., Barnard A. 2021, *Sound properties in pre-Roman Etruria: An archaeoacoustic analysis of the Etruscan tomb space,* «Journal of Acoustic Society of America», 150, 4, A249-A (https://doi.org/10.1121/10.0008181).

Pitts M., Versluys M.J. 2021, *Objectscapes: A manifesto for investigating the impacts of object flows on past societies*, «Antiquity», 95, 380, 367-381 (https://doi.org/10.15184/aqy.2020.148).

Putzolu C., Baione C., Cocca E., Laurenza S. 2020, *Rescue archaeology in the Sultanate of Oman: Methods and solution strategies*, in C. Coppini, F. Simi (eds.), *Interactions and New Directions in Near Eastern Archaeology*, 3. *Proceedings of the 5th "Broadening Horizons" Conference (Udine 2017)*, Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 405-419 (http://hdl.handle.net/10077/30247).

Renfrew C. (ed.) 1979, *Investigations in Orkney*, London, Society of Antiquaries of London.

Renfrew C. 1984, *Approaches to Social Archaeology*, Edinburgh, Edinburgh University Press.

Tilley C. 1994, *A Phenomenology of Landscape: Places, Paths and Monuments*, Oxford, Berg.

Tilley C. 2004, *The Materiality of Stone*, Oxford, Routledge.

Tilley C. 2008, *Body and Image*, Oxford, Routledge.

Tilley C. 2010, *Interpreting Landscapes*, Oxford, Routledge.

Tilley C., Cameron Daum K. 2017, *An Anthropology of Landscape: The Extraordinary in the Ordinary*, Oxford, UCL Press (https://doi.org/10.14324/111.9781911307433).

Trigger B. 1974, *The Archaeology of government*, «World Archaeology», 6, 1, 95-106.

Wheatley D., Gillings M. 2000, *Vision, perception and GIS: Developing enriched approaches to the study of archaeological visibility*, in G. Lock (ed.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press, 1-27.

Wheatley D., Gillings M. 2002, *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, London, Taylor & Francis.

ABSTRACT

This paper focuses on some methodological approaches specific to digital archaeology in the analysis of a particular type of landscape, namely Etruscan-Italic necropolises. First, it highlights the interpretation of a necropolis as a landscape of ancestors and the importance of material and immaterial practices in the formation of such a space. Then it addresses the theoretical framework of phenomenological landscape analysis, developed in recent decades by C. Tilley, as a privileged way to address both aspects. In order to reconcile the phenomenological approach to landscape with the use of digital spatial technologies, which according to Tilley are insufficient because they are at best 'representations' of landscape, A. De Guio's reading of the Powerscape concept is introduced. De Guio presents various spatial analysis algorithms, as fundamental 'hammers' to shape our knowledge of multifaceted landscapes such as powerscapes (an example of which is funerary landscapes). The reconciliation between the phenomenological approach to landscape and GIS-based spatial analyses of perceptual fields (especially vision and hearing) allows us to confidently rely on new perspectives, such as J. Ortoleva's recent research on auditory perception in Etruscan necropolises or the latest approaches to viewshed analysis.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 41-50
doi 10.19282/ac.35.1.2024.04

LE NECROPOLI DI PONTECAGNANO: ARCHIVI E SUPPORTI DIGITALI PER LA TUTELA E LA RICERCA A 25 ANNI DALL'ELABORAZIONE DEL GIS

1. Introduzione

Le necropoli dell'insediamento etrusco-sannitico di Pontecagnano rappresentano, per quantità e qualità della documentazione, un patrimonio eccezionale per lo studio di una comunità antica. Gli scavi avviati nel 1962 da Bruno d'Agostino sono avanzati con i tempi dell'archeologia "di emergenza", dettati dall'incalzante sviluppo dell'abitato contemporaneo, che ha portato a indagare le superfici destinate alle edificazioni. Le indagini sono state condotte sin dall'inizio con un protocollo rigoroso, impostando una sequenza numerica unitaria delle tombe, documentandone lo scavo con piante in scala 1:10, foto e descrizione, redigendo la planimetria complessiva delle aree indagate agganciate alle mappe catastali (Cerchiai, Cuozzo, Pellegrino 2018). Già a partire dagli anni Sessanta del Novecento sono state avviate le ricerche nell'abitato antico, con lo scopo preminente di definirne l'estensione e salvaguardarlo dall'espansione edilizia. L'obiettivo è stato conseguito con una campagna di prospezioni commissionata dalla Soprintendenza alla Fondazione Lerici, che ha portato negli anni Ottanta all'imposizione dei vincoli (1980-1981) e al loro recepimento nel Piano Regolatore Generale del Comune di Pontecagnano Faiano (1986).

Le operazioni di tutela sono state affiancate dallo studio e dalla ricerca, impostata con studi illuminanti sulla cultura materiale e sull'ideologia funeraria da B. d'Agostino (d'Agostino 1968, 1977, 1982). La consistenza dei dati ha portato la Soprintendenza a sviluppare collaborazioni con le Università (Università di Salerno, l'allora Istituto Universitario Orientale di Napoli, Università di Copenaghen), finalizzate da un lato allo studio e all'edizione delle necropoli e della cultura materiale, dall'altro alle indagini nell'abitato, che hanno interessato i due santuari noti e gli isolati abitativi nel costituendo Parco archeologico.

Alle due università italiane sono state affidate tra il 2001 e il 2006 le indagini archeologiche preventive ai lavori per l'ampliamento dell'autostrada Salerno-Reggio Calabria (Pellegrino, Rossi 2011). Lo scavo di una fascia di circa 2 km ha restituito uno spaccato dell'abitato antico e delle contigue aree suburbane, consentendo di puntualizzare le fasi di vita dell'insediamento dalla preistoria al periodo tardo-antico e le forme di organizzazione degli spazi insediativi (abitato, necropoli, campagna) in relazione anche al paesaggio.

Nel complesso, in poco più di 60 anni sono stati realizzati circa 350 interventi di scavo, distribuiti tra abitato (circa 90), necropoli (circa 220) e territorio (circa 40): le tombe scavate sono 10100, un numero in continuo aggiornamento.

Questa ingente base documentale è in larga parte gestita con gli strumenti tradizionali di archiviazione, con raccoglitori e schede in formato cartaceo, integrati dalla fine degli anni Novanta da una banca dati digitale elaborata per la redazione del GIS complessivo delle necropoli.

C.P.

2. Il GIS delle necropoli

La progettazione del GIS delle necropoli di Pontecagnano risale al 1999/2000 ed è avvenuta nell'ambito della ricerca di dottorato di C. Pellegrino sui sepolcreti di età orientalizzante e arcaica della necropoli occidentale di Piazza Sabbato (Cuozzo, D'Andrea, Pellegrino 2005; Bonaudo *et al.* 2009). Lo strumento informatico, sviluppato in collaborazione dall'Università di Salerno e dall'allora Istituto Universitario Orientale di Napoli, fu pensato da un lato per raccogliere e gestire in forma unitaria le informazioni relative alle singole tombe, allora fruibili in schede cartacee e frazionate per contesti di scavo, dall'altro con la prospettiva di utilizzarlo per analisi finalizzate allo studio della topografia delle necropoli, dell'ideologia funeraria e della cultura materiale.

Fu pertanto predisposto un database cartografico contenente informazioni spaziali e topologiche delle sepolture, associato a schede descrittive dei singoli contesti funerari. Nel GIS sono state inizialmente inserite circa 800 tombe dei sepolcreti di Piazza Sabbato, alle quali sono state successivamente aggiunte una parte consistente delle sepolture dell'intera necropoli occidentale. Il database, inoltre, è stato utilizzato tra il 2003 e il 2007 dal Museo Archeologico Nazionale di Pontecagnano per la schedatura del materiale archeologico in occasione del trasferimento alla nuova sede museale. In quell'occasione furono inseriti circa 8000 contesti tombali, con schede che si arrestavano a un livello più generico di informazioni per quanto concerne sia la cronologia, la tomba e il defunto, sia gli oggetti di corredo, registrati solo come classe di materiale e forma.

2.1 *La struttura e l'architettura logica del sistema informativo*

La base dati alfanumerica è realizzata in ambiente Windows, utilizzando il software Microsoft Access 2000. L'architettura logica è di tipo relazionale, formata da due tabelle collegate tra loro mediante una relazione di tipo "uno a molti" (Fig. 1) (D'Andrea 1999, 230-236; Iacotucci, Pellegrino 2010, 217-219).

La prima tabella è riservata alle informazioni relative alla tomba ("scheda tomba"), la seconda alla registrazione dei singoli oggetti che compongono il corredo funerario; le due tabelle sono collegate dal numero della tomba.

L'archivio dedicato alla tomba è strutturato in sette sezioni e comprende complessivamente 46 campi. Nella prima sezione sono registrate le

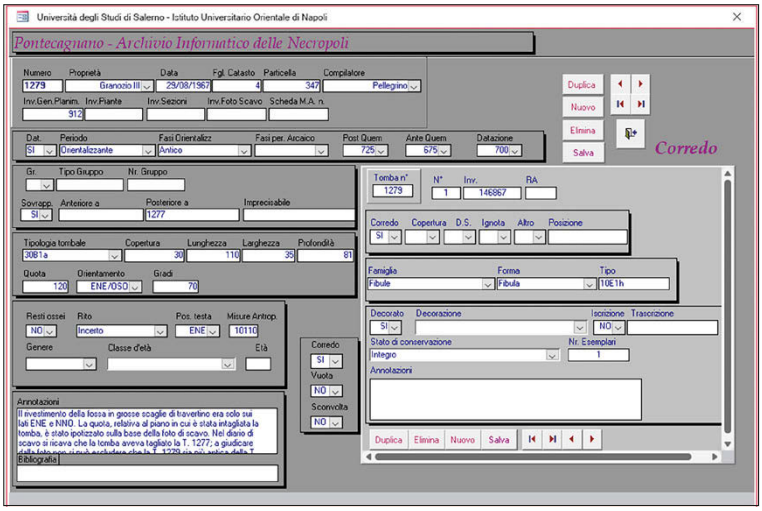


Fig. 1 – Il database: la maschera di inserimento dei dati.

informazioni per l'identificazione e l'inquadramento topografico delle sepolture e i dati inventariali relativi alla documentazione (planimetrie, sezioni, foto, schede MA). La seconda riporta le indicazioni sull'inquadramento cronologico del contesto: attraverso sette campi il sistema consente di precisare la datazione della tomba, procedendo dall'indicazione generica del periodo a un range cronologico definibile dall'utente, fino alla datazione *ad quem*.

Seguono le sezioni dedicate alla tomba come complesso monumentale, che informano su tipologia della tomba (a pozzo, a fossa, a cassa, etc.), copertura, dimensioni, orientamento e quota di rinvenimento. È inoltre possibile indicare le relazioni stratigrafiche dirette con altre tombe e precisare l'appartenenza della sepoltura a raggruppamenti funerari, distinti sulla base di legami spaziali e delle affinità nella ritualità funeraria.

Nella sezione dedicata al rituale funerario sono archiviate le informazioni relative al trattamento del corpo (inumazione e cremazione, nelle diverse forme in cui sono declinate) e alle determinazioni di età e sesso/genere, fornite dalle analisi scheletriche o, in assenza di queste, ricostruite tramite la lettura archeologica, valorizzando lunghezza dello scheletro o della tomba, disposizione e composizione degli ornamenti e del corredo funerario. Chiudono la scheda campi liberi per eventuali annotazioni e la bibliografia.

La "scheda corredo" è composta da quattro sezioni, che comprendono nel complesso 20 campi. La prima sezione è riservata all'identificazione dell'oggetto, distinto in base al numero assegnato in fase di scavo. Seguono quattro campi booleani riferiti al posizionamento dell'oggetto nella tomba (corredo, riempimento,

copertura, etc.) e un campo aperto che consente di valorizzare la posizione del manufatto rispetto al corpo del defunto. Le due sezioni successive sono dedicate alle specifiche dell'oggetto: si tratta di campi in cui è possibile precisare l'inquadramento morfo-tipologico, la presenza di decorazioni e/o iscrizioni, lo stato di conservazione e il numero di esemplari nel caso di oggetti presenti in rilevanti quantità (per esempio anellini e borchiette decorative delle vesti).

L'inserimento dei dati avviene attraverso schermate user-friendly che guidano la compilazione tramite campi booleani o l'utilizzo di vocabolari implementabili dall'utente, accessibili attraverso menù a tendina (D'Andrea 1999, 230-236). Le informazioni relative alla tipologia della tomba e agli oggetti di corredo sono inserite in forma di codice alfanumerico che, attraverso una seriazione costruita con uno schema ad albero, restituisce la possibilità di inserire indicazioni a livelli differenziati di precisazione. Nel caso delle tombe a fossa, per esempio, il codice tipologico informa sul suolo in cui la struttura è scavata (strato di terreno o strato di travertino) e sull'eventuale presenza di rivestimenti delle pareti e/o del piano di deposizione con ciottoli, scaglie di tufo o di travertino. Allo stesso modo, per gli oggetti di corredo sono predisposti dizionari tipologici relativi alle diverse classi di materiali (armi, ornamenti, classi ceramiche, etc.), costruiti per forma/oggetto (per esempio lancia, pendenti, *oinochoe*, scodella, etc.) e relative articolazioni tipologiche.

Nella scheda della tomba le variabili dei campi "databile", "gruppo" e "sovrapposizione" abilitano o disabilitano l'inserimento dei dati nei campi successivi. Sono lasciati aperti i campi relativi alle indicazioni inventariali e ad alcuni tipi di informazioni puntuali (misure e quote, età, etc.).

La compilazione dei campi booleani "corredo", "vuota" e "sconvolta" assicura il passaggio alla scheda del corredo funerario per mezzo di apposite routine di controllo: l'inserimento del valore positivo nel campo "vuota" determina la conclusione del processo di archiviazione senza l'accesso alla scheda di corredo. Nel caso contrario, il sistema apre il modulo successivo correlato in maniera automatica attraverso il numero di tomba.

Il data-entry ha infine campi relativi alle funzioni "nuovo", "elimina", "salva" e "duplica", che consentono di gestire il salvataggio e creare una nuova scheda o la duplicazione della precedente.

La base dati alfanumerica è stata integrata alle informazioni spaziali archiviate nella componente GIS del sistema, implementata mediante l'utilizzo del software MapInfo. Gli oggetti grafici nella mappa, corrispondenti alle singole tombe e ai limiti degli scavi, sono collegati alla base dati da tabelle che uniscono le informazioni dei due archivi (quello alfanumerico e quello geografico) attraverso il numero di tomba assegnato ai poligoni vettoriali.

Per facilitare le interrogazioni del database sono stati creati alcuni plug-in user-friendly in grado di eseguire una serie di analisi su diversi aspetti del complesso funerario (Iacotucci, Pellegrino 2010, 217).

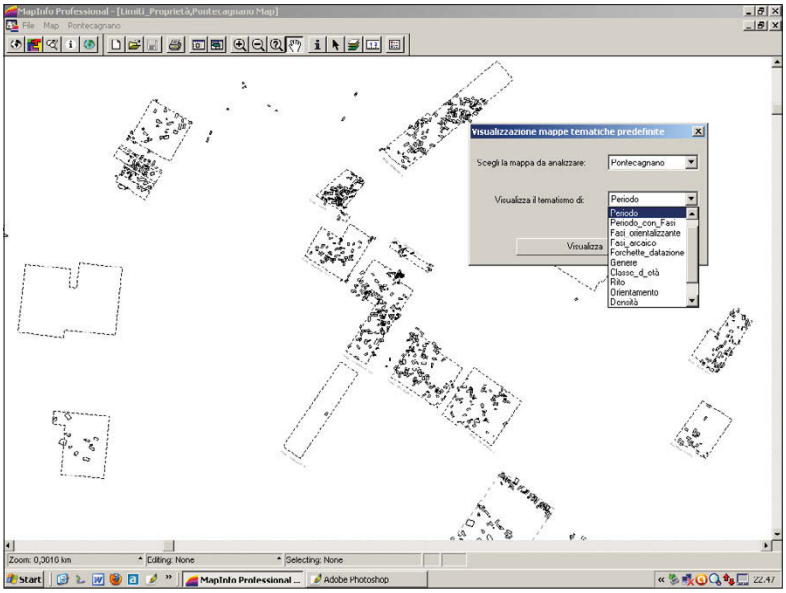


Fig. 2 – Il GIS: modulo per la visualizzazione delle mappe preimpostate.

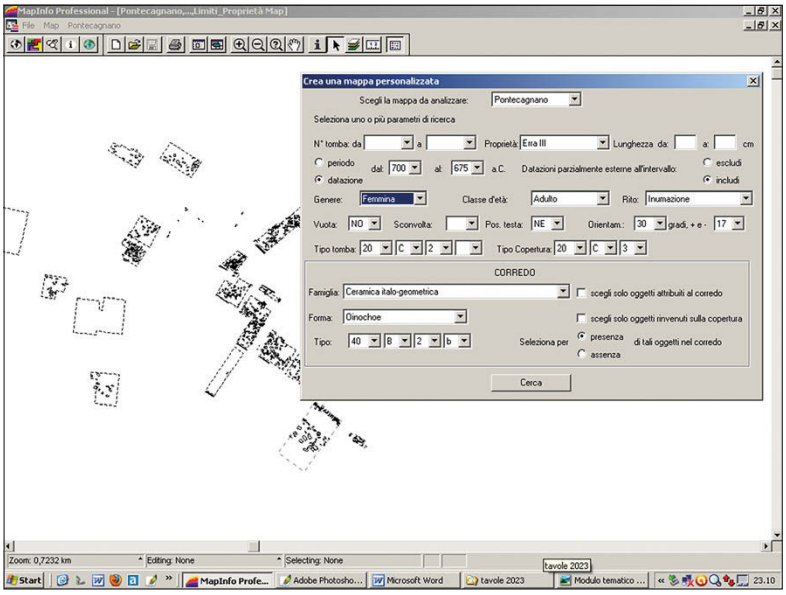


Fig. 3 – Il GIS: modulo di interrogazione.

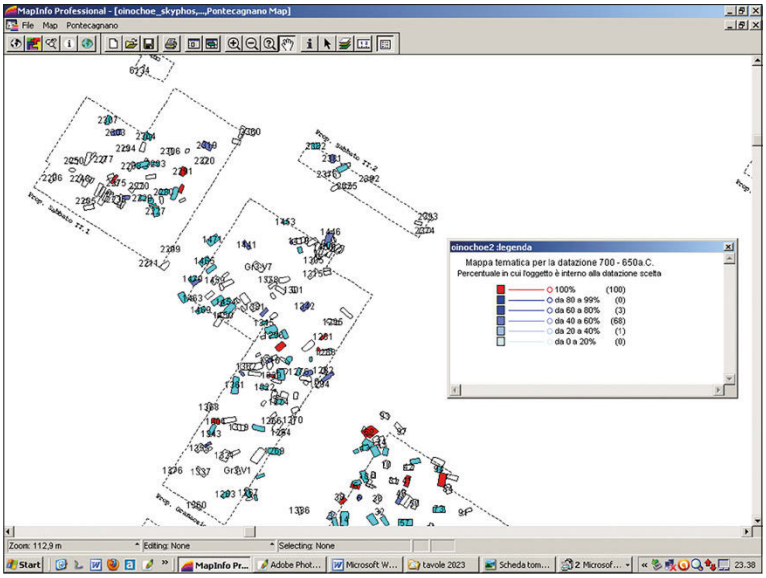


Fig. 4 – Il GIS: una mappa dal modulo di interrogazione.

Il primo è costruito per la visualizzazione di mappe tematiche preimpostate, accessibili mediante un modulo che consente la scelta del tematismo (Fig. 2). Sono predisposte carte di fase filtrate per periodo (prima età del Ferro, Orientalizzante, etc.), articolazioni all'interno dei periodi (per esempio Orientalizzante antico, medio e recente) o range cronologici scelti dall'utente, mappe filtrate sulle informazioni relative all'età e al sesso/genere del defunto, al rituale funerario, alla tipologia tombale e all'orientamento.

Per l'interrogazione incrociata dei dati alfanumerici il sistema è provvisto di una query che interroga gli attributi delle due tabelle alfanumeriche (Fig. 3). La ricerca per cronologia, per esempio, permette di scegliere tra chiavi preimpostate generiche, quali il periodo e le fasi, e un campo libero in cui può essere inserita la datazione precisa attraverso l'indicazione di un range cronologico. I campi "includi" o "escludi" consentono di comprendere o meno nella ricerca le cronologie parzialmente interne al range prescelto: la mappa restituita dal sistema indica, attraverso tematismi scelti dall'utente, il grado di adesione di ciascuna tomba al range cronologico ed è corredata da una legenda di sintesi che riporta i dati in termini assoluti e percentuali (Fig. 4).

Un ulteriore plug-in consente di analizzare la distribuzione degli oggetti di corredo. La ricerca può arrestarsi a diversi livelli dell'articolazione tipologica, offrendo la possibilità di selezionare in successione classe di appartenenza, forma, tipo, varietà e variante di ciascun oggetto. La visualizzazione può avvenire

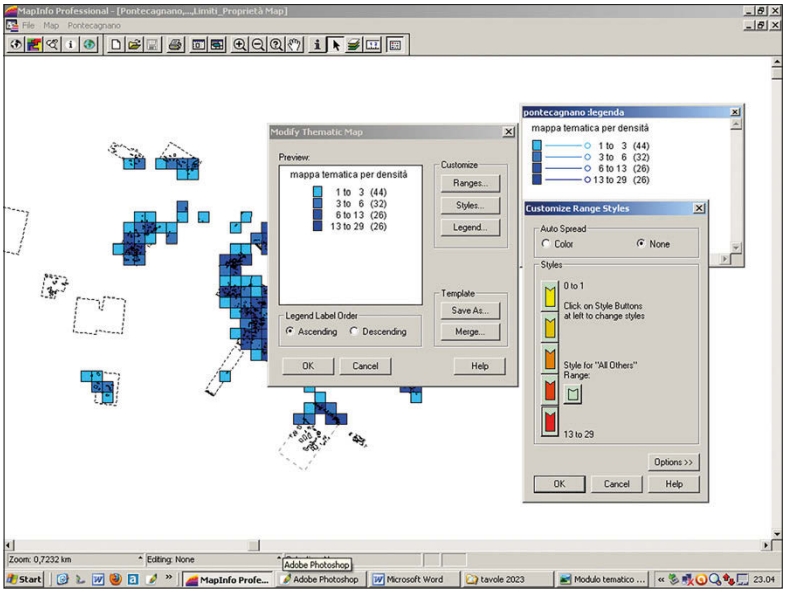


Fig. 5 – Il GIS: una mappa di densità con opzioni di caratterizzazione.

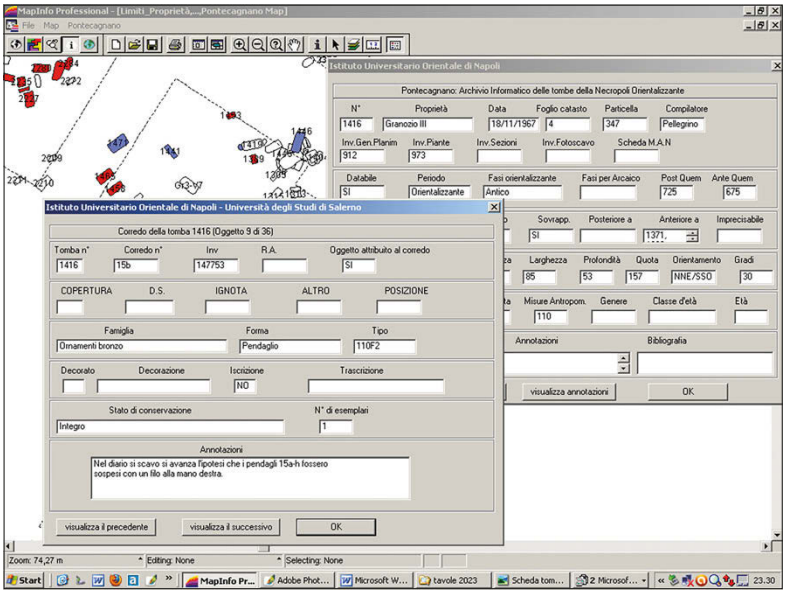


Fig. 6 – Il GIS: la visualizzazione delle schede del database.

anche attraverso carte di densità, che restituiscono la diversa concentrazione degli elementi ricercati secondo una griglia di quadrati di 5×5 m (Fig. 5). Selezionando una sepoltura possono essere visualizzate le relative schede del database (scheda della tomba, scheda di ciascun oggetto di corredo) (Fig. 6).

Nel complesso il sistema consente di predisporre interrogazioni incrociate tra i diversi campi del database alfanumerico, usando l'operatore "and". Non sono realizzabili ricerche che concernono i diversi attributi di uno specifico campo, finalizzate a individuare associazioni di corredo (per esempio anforetta+scodellone), che possono essere comunque rintracciate con una sequenza di interrogazioni.

3. Dal desktop GIS all'open-source: il nuovo GIS delle necropoli

La progettazione del nuovo GIS delle necropoli risponde da un lato alla necessità di migrare verso un software open-source e dall'altro alle esigenze della ricerca di disporre di una più vasta e approfondita gamma di informazioni concernenti il defunto, il rituale funerario, il regime delle offerte e la cultura materiale.

Il progetto in elaborazione, mantenendo l'architettura logica del precedente sistema informativo, prevede l'aggiunta di nuove tabelle da collegare, secondo una relazione di tipo "uno a molti", alla scheda tomba e alla scheda del corredo funerario.

Una tabella è dedicata ai resti scheletrici e mira alla registrazione di informazioni più dettagliate sul defunto, con indicazioni concernenti paleopatologie, alimentazione, DNA, analisi isotopiche, etc. Per quanto concerne le offerte, sono predisposte schede sui resti faunistici e vegetali rinvenuti nella tomba e sulle risultanze di eventuali analisi sul contenuto dei vasi.

Una sezione, infine, è dedicata alle caratteristiche materiali degli oggetti del corredo (ceramiche, leghe metalliche, paste vitree, etc.) e alle eventuali analisi metrologiche. Nel caso delle ceramiche è previsto un primo livello di descrizione degli impasti e delle vernici basato sull'analisi autoptica eseguita tramite microscopio, in grado di individuare raggruppamenti da sottoporre a verifiche archeometriche.

Le schede del database sono corredate di allegati che raccolgono la documentazione delle tombe e dei materiali (rilievi grafici, fotografie, diari di scavo, etc.).

Profili di accesso differenziato consentiranno la fruizione della piattaforma a diverse tipologie di utenti, dai catalogatori agli studiosi, fino ai non specialisti che potranno consultare e interrogare il GIS, anche da remoto, per acquisire informazioni di carattere generale.

Il GIS delle necropoli sarà integrato in un sistema informativo più ampio, dedicato all'intero sito di Pontecagnano e al suo territorio, la cui base è

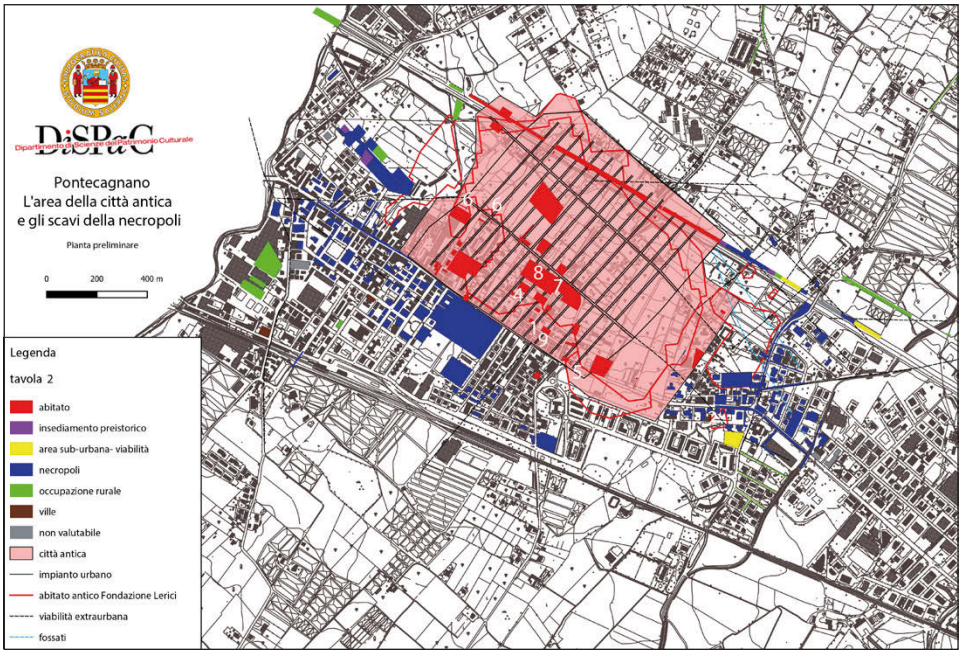


Fig. 7 – Mappa del sito di Pontecagnano con gli scavi inseriti nel Template GNA (aggiornamento 2023).

costituita dal Template del Geoportale Nazionale per l'Archeologia - GNA rilasciato dall'ICA (https://gna.cultura.gov.it/). L'implementazione del geoportale ministeriale è stata avviata nell'ambito di una collaborazione tra l'Università di Salerno e il Comune di Pontecagnano Faiano, in accordo con la Soprintendenza, finalizzata alla valutazione delle potenzialità archeologiche del sito in vista dell'aggiornamento del Piano Urbanistico Comunale (Fig. 7). Il modulo MOSI del Template è stato compilato come scheda del singolo intervento di scavo e restituisce, nel caso dei sepolcreti, il quadro di sintesi dell'occupazione funeraria di una determinata area.

L'auspicio è quello di predisporre uno strumento digitale che consenta di gestire l'ingente mole di documentazione e valorizzare la complessità dell'evidenza archeologica del sito in termini di tutela, ricerca e disseminazione delle conoscenze.

A.M.

Antonella Massanova, Carmine Pellegrino
Dipartimento di Scienze del Patrimonio Culturale
Università degli Studi di Salerno
anmassanova@unisa.it, cpellegrino@unisa.it

BIBLIOGRAFIA

Bonaudo R., Cuozzo M., Mugione E., Pellegrino C., Serritella A. 2009, *Le necropoli di Pontecagnano: studi recenti*, in R. Bonaudo, L. Cerchiai, C. Pellegrino (eds.), *Tra Etruria, Lazio e Magna Grecia: indagini sulle necropoli, Atti dell'incontro di studio (Fisciano 2009),* Paestum, Pandemos, 169-208.

Cerchiai L., Cuozzo M., Pellegrino C. 2018, *Pontecagnano: lo stato delle ricerche e le prospettive future*, in G.M Della Fina (ed.), *Scavi d'Etruria*, *Atti del XXV Convegno Internazionale di Studi sulla Storia e l'Archeologia dell'Etruria (Orvieto 2017)*, Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 25, 581-611.

Cuozzo M., D'Andrea A., Pellegrino C. 2005, *L'insediamento etrusco-campano di Pontecagnano. Metodi d'indagine ed elementi di topografia delle necropoli e dell'abitato in età orientalizzante*, in P. Attema, A. Nijboer, A. Zifferero (eds.), *Communities and Settlements from the Neolithic to the Early Medieval Period*, *Proceedings of the 6th Conference of Italian Archaeology (Groningen 2003)*, Oxford, BAR International Series 1452 (I), 178-185.

d'Agostino B. 1968, *Pontecagnano. Tombe orientalizzanti in contrada S. Antonio*, «Notizie degli Scavi di Antichità», 22, 75-196.

d'Agostino B. 1977, *Tombe principesche dell'Orientalizzante antico da Pontecagnano,* Monumenti Antichi, 49, serie misc. 2,1, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei.

d'Agostino B. 1982, *L'ideologia funeraria nell'età del Ferro in Campania: Pontecagnano, nascita di un potere di funzione stabile*, in G. Gnoli, J.P. Vernant (eds.), *La mort, les morts dans les sociétés anciennes*, Cambridge-Paris, Cambridge University Press, 202-221.

D'Andrea A. 1999, *Il GIS nella produzione delle carte dell'impatto archeologico: l'esempio di Pontecagnano*, «Archeologia e Calcolatori», 10, 227–237 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF10/10_16_D'Andrea.pdf).

Iacotucci F., Pellegrino C. 2010, *An user-friendly approach to GIS-application: an utility for the study of Etruscan cemetery of Pontecagnano (Italy)*, in S. Hermon, F. Niccolucci (eds.), *Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past*, *Proceedings of CAA 2004 (Prato 2004)*, Budapest, Archaeolingua, 217-219.

Pellegrino C., Rossi A. 2011, *Pontecagnano I.1. Città e campagna nell'Agro Picentino (Gli scavi dell'autostrada 2001-2006)*, Chiusi, Edizioni Lui.

ABSTRACT

The paper is dedicated to the Geographic Information System developed for the filing and the analysis of Pontecagnano necropolises, where over 10100 tombs dated from the Etruscan to the Samnite phase (9th-3rd century BC) have been excavated so far. The first version of the GIS was developed between 1999 and 2000 and initially tested on an area of the Western necropolis. It consists of an alphanumeric descriptive database, developed using Microsoft Access 2000, linked to a cartographic section implemented with the MapInfo software. The paper concludes with a preliminary presentation of the update of the information system, which is going to migrate to an open-source software.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 51-66
doi 10.19282/ac.35.1.2024.05

ESPERIENZE DA MONTE ABATONE A CERVETERI

1. La necropoli*

Il gruppo di ricerca di cui faccio parte comprende, ormai da molti anni, le Università della Campania "Vanvitelli", di Viterbo, Urbino e Bonn e si occupa dello studio della necropoli di Monte Abatone, nella sua dimensione tanto topografica che culturale. Una necropoli invisibile, perché nulla si erge al disopra del piano di campagna attuale, a causa in primo luogo dei lavori agricoli che si sono susseguiti per lungo tempo. Unica straordinaria eccezione, naturalmente, il Tumulo Campana, grandioso monumento creato verso il terzo quarto del VII sec. a.C. e senza dubbio punto di riferimento per secoli per gli utenti e i frequentatori della necropoli.

Una necropoli invisibile nonostante tutto, perché in realtà da sempre nota per la sua rilevanza archeologica e culturale: per i saccheggi perpetrati nei secoli dagli scavatori di frodo; per gli ottimi risultati delle campagne attuate dalla Fondazione Lerici, che portarono alla individuazione di centinaia di tumuli con i loro corredi grazie all'adozione di metodologie geognostiche, rivoluzionarie per l'epoca; per l'ampia documentazione di foto aeree, storiche e anche recentissime (Fig. 1), che confermano un susseguirsi fittissimo di tumuli su vaste aree del pianoro (Gilotta *et al.* 2022, con lett.).

Lo studio dei materiali recuperati dalla Fondazione Lerici ci ha portato col tempo a cercare sul terreno qualche riscontro a quanto si andava scoprendo nelle casse conservate a Villa Giulia e Cerveteri, in merito a strutture esterne delle tombe, loro dislocazione sul terreno, posizione dei corredi al loro interno. Si decise così di effettuare piccoli saggi di scavo nella zona ritenuta la più promettente in questo senso: la parte nord-occidentale del pianoro, posta non distante dal ciglio del pianoro medesimo, con il plateau della città ben in vista e prossima al Tumulo Campana (Fig. 1). Gli scavi del 2021 (Beck *et al.* 2021-2022; *Caere* 7 c.s.) portarono alla luce, nello spazio già indicato come vuoto nella pianta Lerici, un quartiere di tombe semicostruite, talora entro tumulo (Fig. 2a), aperte nel corso della prima metà del VII sec. a.C., disposte secondo criteri che potremmo definire "urbanistici", in file ordinate e parallele, con orientamento verso ONO (come normale in quest'epoca), separate dal più tardo Tumulo Campana da uno spazio vuoto che non sappiamo se gestito da una sorta di autorità sovrafamiliare o protourbana, oppure controllato dalle famiglie che adoperavano il "nuovo" quartiere, in vista di successivi sviluppi monumentali.

* Ringrazio Giovanna Gambacurta per il graditissimo invito a questo workshop e l'importante opportunità di confronto su argomenti di interesse centrale per i nostri progetti.

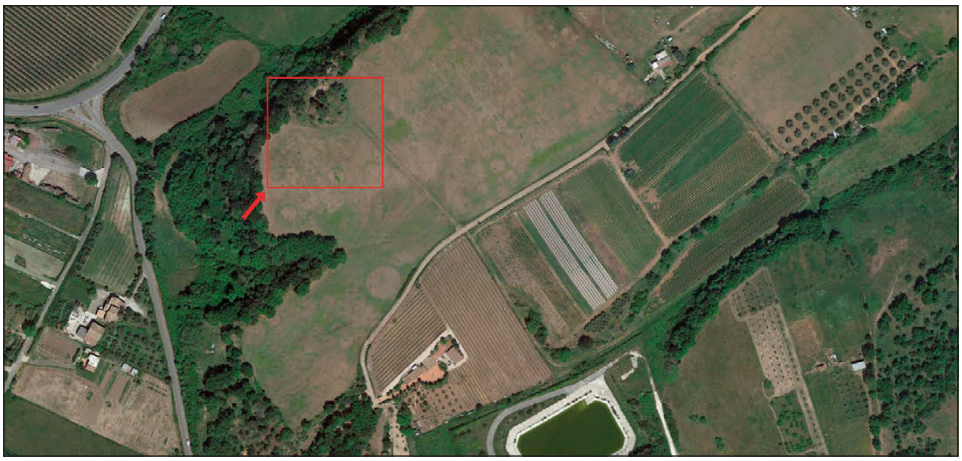


Fig. 1 – Cerveteri, necropoli di Monte Abatone. Il pianoro, con posizionamento dell'area prossima al Tumulo Campana (da Google Earth, elab. A. De Gemmis).

Ancora nel 2021, fu rinvenuta da Marina Micozzi e dal gruppo viterbese, e subito resa nota grazie al volume collettaneo *Birth* edito da Elisabetta Govi (Micozzi 2021), una piccola fossa destinata ad un inumato infante di sesso femminile, dislocata, e nessuno poteva immaginarlo, sopra il tamburo di un tumulo, accanto alla tomba principale destinata ad adulti. Le tecniche di scavo stratigrafico e l'ausilio anche delle foto da drone contribuirono al salvataggio di un'evidenza che, proprio perché impensabile, sarebbe andata altrimenti distrutta. Evidenza che poi si è confermata, nella sua assoluta eccezionalità documentaria, con il rinvenimento di altre tombe simili (Fig. 2b) nel 2022 (F. Gilotta, in Becker *et al*. 2021-2022).

Nel 2022, grazie all'ospitalità di Paola Moscati nella rivista «Archeologia e Calcolatori», è stata presentata una prima messa a punto, archeologica, metodologica e tecnologica dei diversi ambiti di attività del Gruppo di Ricerca attivo a Monte Abatone (Gilotta *et al.* 2022).

Nel 2023, infine, ed è davvero storia recentissima, nelle Cronache Ceretane organizzate alla Sapienza da Laura Michetti e da un importante gruppo di colleghi, le prospettive di indagine sono state di ambito più latamente culturale, con riflessioni, se possiamo definirle così, sulle "aporie" insite nelle evidenze scavate, in particolare delle tombe semicostruite, con le loro singolarità architettoniche e cronologiche (Bentz *et al*. c.s.).

Ma il problema dei corredi di Monte Abatone recuperati dalla Fondazione Lerici resta centrale. La Fig. 3 mostra alcuni dei vasi restaurati – con il pieno sostegno del Museo Nazionale Etrusco di Villa Giulia che li custodisce (un analogo intervento è previsto a breve anche sui reperti custoditi nei Depositi

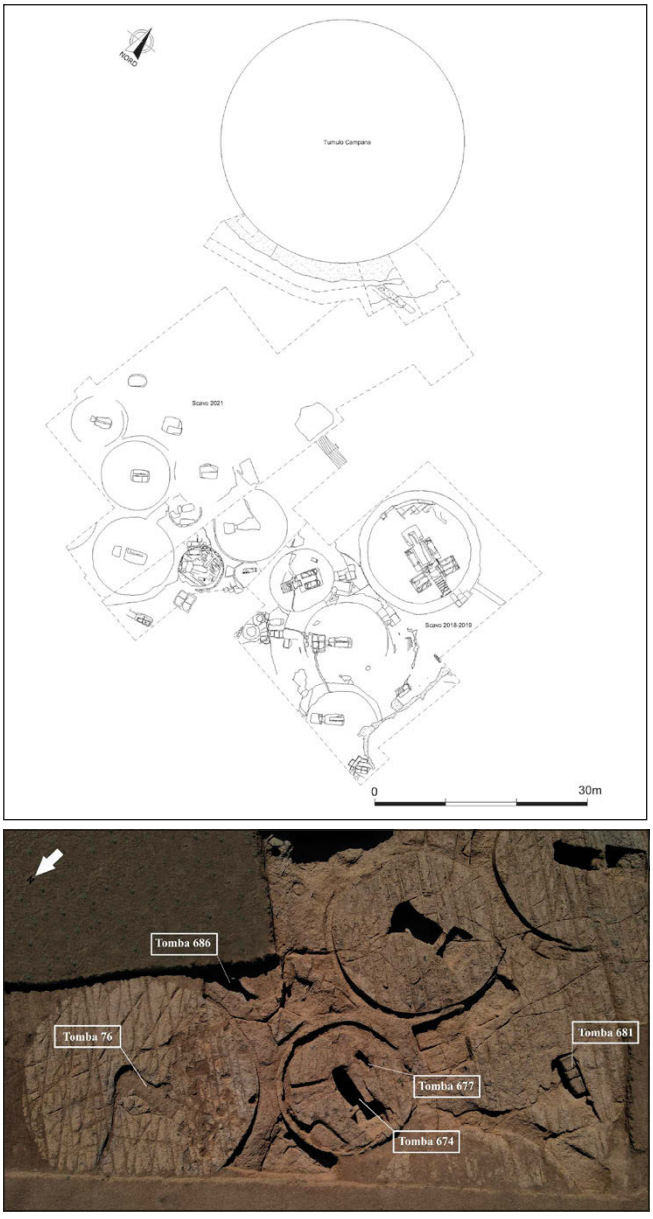


Fig. 2 – Cerveteri, necropoli di Monte Abatone. a) Pianta dello scavo nell'area del Tumulo Campana, campagne 2018-2022 (ril. Università della Campania, Tuscia, Urbino, Bonn). b) Foto da drone di parte dell'area di scavo 2022, con indicazione delle tombe indagate dall'Università "Vanvitelli": con i numeri 674 e 677 sono indicate rispettivamente le tombe di adulto e di infante del medesimo tumulo (foto ed elab. A. De Gemmis).



Fig. 3 – Roma, Museo Nazionale Etrusco di Villa Giulia. Alcuni reperti ceramici ricomposti e restaurati nell'ambito del Progetto Monte Abatone (foto M. Maioli. Per gentile concessione Museo Nazionale Etrusco di Villa Giulia).

di Cerveteri) – grazie a un notevolissimo impegno finanziario, sostenuto da un progetto PRIN 2020, e soprattutto organizzativo: vasi che si debbono immaginare, nel loro stato immediatamente precedente, come sacchetti di frammenti mai prima sottoposti a procedure conservative di alcun tipo, a causa dell'immensità dell'evidenza materiale. E saranno sicuramente questi materiali che dovranno dare sostanza a problematiche di ordine tipologico, acquisitivo, distributivo, rituale, oltre che topografico, che così bene possono essere avviate in necropoli come quelle di Pontecagnano (ne siamo pienamente consapevoli e lo abbiamo sentito anche poco fa) e che invece sarà assai arduo ricostruire in un quadro così frammentario e "disturbato" come Cerveteri.

Giovani collaboratori si sono sobbarcati, attraverso le pratiche informatiche, il compito di allestire un GIS degli scavi recenti e al contempo dei

materiali Lerici che ho appena descritto (cfr. *infra* Luca Lucchetti, dell'Università di Viterbo); e un modello 3D del Tumulo Campana, che ne potesse riprodurre stato di conservazione e portata litica ed evidenziare il rapporto anche altimetrico con le aree circostanti (cfr. *infra* Teresa Patriziano, architetto dell'Università Vanvitelli). Infine, un "mini-GIS" della "memoria" è stato avviato nell'ambito del PRIN 2020 prima ricordato (le cui ricerche confluiranno nel progetto comune), che comprenderà nel suo insieme tipi diversi di monumenti ed evidenze, dall'epoca arcaica a quella romana, tutti legati alle problematiche della memoria, topografica, generazionale, culturale.

F.G.

2. Il progetto GIS di Monte Abatone

Il progetto relativo al Sistema Informativo Geografico (GIS) di Monte Abatone ha avuto origine dalla necessità di gestire e organizzare una grande mole di dati provenienti da varie campagne di documentazione e scavo condotte nel corso del tempo sul pianoro. La principale sfida consisteva nella gestione di dati eterogenei prodotti in epoche diverse, che richiedevano un processo di convergenza e standardizzazione per garantire la completezza delle informazioni. La scelta di adottare un GIS è stata determinata proprio da tali complessità.

I GIS consentono l'organizzazione e l'elaborazione efficiente di una considerevole quantità di informazioni, sia di natura grafica che alfanumerica, purché tali dati siano georeferenziati. Questi sistemi offrono la possibilità di collegare diverse tipologie di dati mediante un sistema di coordinate che identifica la posizione geografica degli oggetti sulla superficie terrestre, seguendo standard comuni, e un database che permette di riunire ed elaborare tutti i dati alfanumerici corrispondenti. L'integrazione di queste informazioni mediante la creazione di strati di dati, comunemente chiamati layer, apre nuove prospettive per l'accesso, la connessione e l'analisi delle informazioni (Forte 2002; Pesaresi 2017). Il programma GIS adottato per questa progettualità è stato Quantum GIS (QGIS), una soluzione open source rinomata per la sua facilità d'uso ed esaustività, nonché per la sua abilità di connettersi agevolmente con altri software.

Prima della vera e propria elaborazione GIS, si è doverosamente recuperata tutta la mole di informazioni pregresse concernente il pianoro. Questo stadio preliminare si è rivelato cruciale per quantificare il carico informativo da inserire e per progettare gli aspetti fondamentali del progetto GIS. Dopo aver acquisito la documentazione di partenza, è stato avviato il progetto in QGIS. Il sistema di riferimento selezionato è stato WGS84/UTM32N (EPSG: 32632), uniformando così la documentazione con quella delle campagne di scavo che sono state condotte a partire dal medesimo sistema di riferimento.

Quindi, è stata aggiunta la "base map" Google Satellite, compatibile con il sistema di riferimento adottato. Al fine di arricchire l'insieme di dati di base,

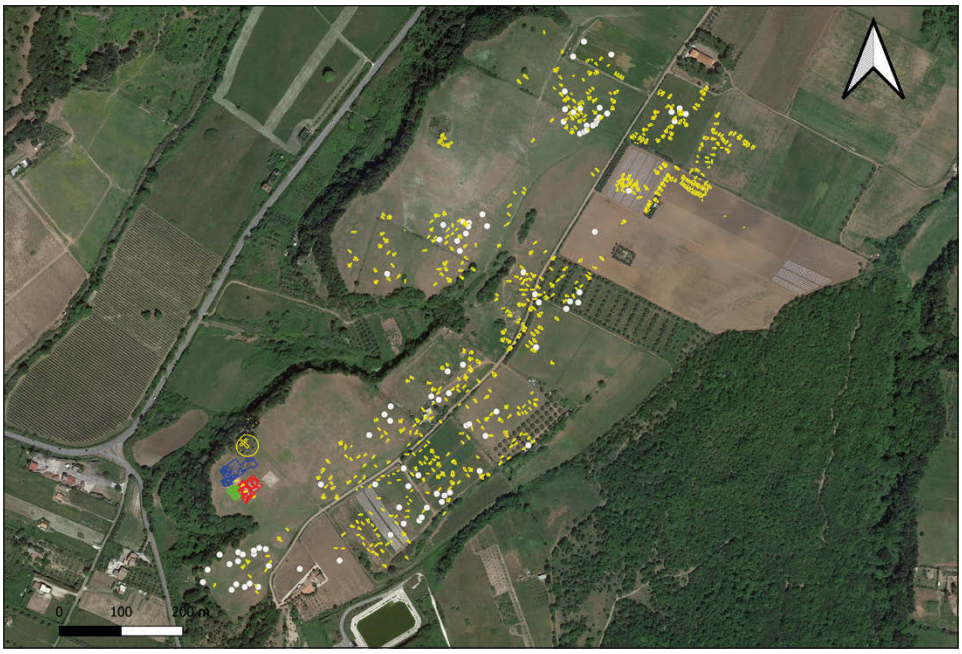


Fig. 4 – Cerveteri, necropoli di Monte Abatone. Veduta generale del pianoro, con evidenziazione di tutte le sepolture individuate dalla Fondazione Lerici e delle nuove aree di scavo (elab. L. Lucchetti).

è stato aggiunto il layer vettoriale relativo alla Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:5000 contenente il pianoro. Successivamente, tutte le immagini aeree storiche disponibili sono state caricate e georeferenziate manualmente. Queste immagini, che vanno dal 1930 ai primi anni '90 (Bradford 1957; Tartara 2003, 2018), evidenziano molte tracce di sepolture sul pianoro. Tali tracce solo in alcuni casi permettono di effettuare una mappatura delle presenze sepolte con una certa approssimazione.

In seguito, è stata inserita all'interno del progetto la pianta contenente le sepolture individuate durante gli scavi della Fondazione Lerici tra il 1956 e il 1961 (Lerici 1957, 1960). Questa mappa ci permette di identificare la pianta semplificata e/o la posizione di 641 tombe tipologicamente e cronologicamente diverse. Per tali ragioni è stata georeferenziata e poi vettorializzata attraverso layer lineari o puntuali (Fig. 4). L'aggiunta dei dati che derivano dalle prospezioni ha completato il quadro, producendo una mappatura eterogenea e complessiva delle tracce provenienti sia da fonti diverse sia dalle precedenti indagini.

Il lavoro di raccolta, studio e informatizzazione in ambiente GIS della documentazione relativa al pianoro ha fortemente influenzato le decisioni sull'area di intervento da indagare nelle campagne condotte nel 2018, 2019,



Fig. 5 – Modello fotogrammetrico di una delle US di scavo della campagna 2019 (elab. L. Lucchetti).

2021 e 2022 (Gilotta *et al.* 2022; Becker *et al.* 2021-2022). La zona prescelta (cfr. *supra*), scarsamente esplorata dalla Fondazione Lerici, presenta un interesse scientifico significativo per approfondire le dinamiche interne della necropoli, specialmente considerando la sua prossimità al Tumulo Campana.

Le campagne di scavo hanno visto inizialmente, soprattutto nel 2018, una produzione della documentazione di tipo tradizionale. A partire dalla campagna di scavo del 2019 e successivamente nel 2021 e nel 2022, si è optato per una metodologia informatizzata sin dall'inizio, affiancata a quella tradizionale, allo scopo di creare una banca dati uniforme con caratteristiche idonee per il caricamento diretto in un progetto GIS. Per questo motivo, è stata adottata fin dall'inizio la tecnica fotogrammetrica, o Close Range Photogrammetry (Remondino 2014), sia da terra che mediante drone, per documentare l'intera area di scavo, le strutture delle tombe e le unità stratigrafiche progressivamente riconosciute. Il software per la fotogrammetria utilizzato ai fini delle indagini è stato Agisoft Metashape. Per integrare e mettere in connessione le informazioni fotogrammetriche nell'ambiente GIS si sono generati, dai modelli 3D, ortomosaici bidimensionali e DEM (Digital Elevation Model) in formato raster GeoTiff.

Al termine delle indagini si è avuta così una documentazione doppia: una tridimensionale georeferenziata e visualizzabile tramite il software Metashape (Fig. 5), e una bidimensionale, costituita da ortomosaici e DEM, destinati

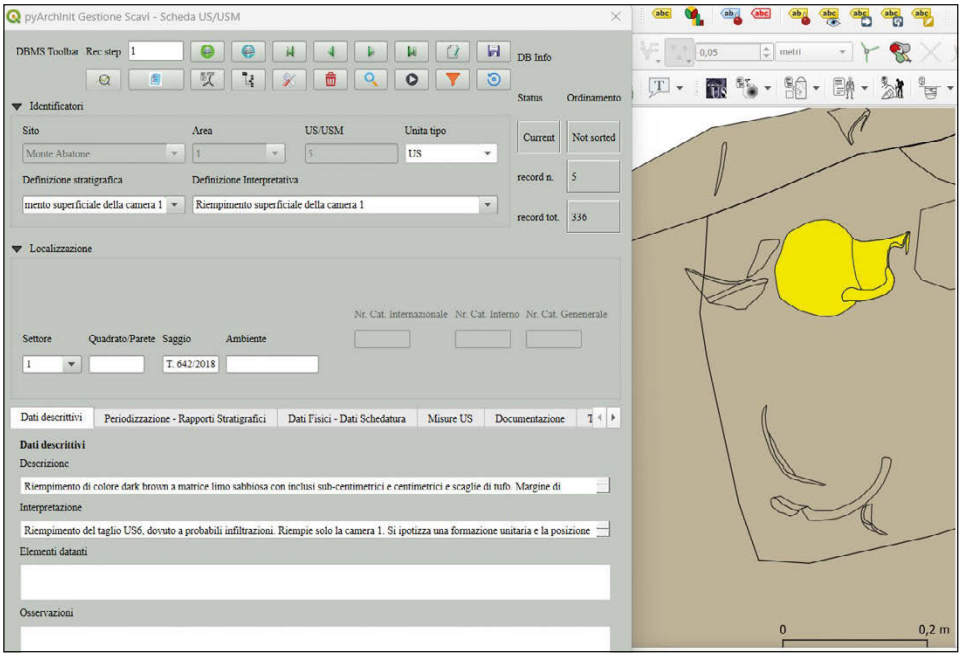


Fig. 6 – La documentazione di scavo nel progetto GIS ed un esempio di scheda US del plug-in pyArchInit (elab. L. Lucchetti).



Fig. 7 – Ortomosaico di una delle US di scavo della campagna 2019, pronta per essere inserita ed elaborata nel progetto GIS (elab. L. Lucchetti).

al progetto GIS (Fig. 6). L'importazione di tutta questa documentazione in QGIS è risultata ancora più decisiva nel momento in cui la si è associata con il plug-in pyArchInit, uno strumento sviluppato proprio per la documentazione di scavo (Mandolesi, Cocca 2013; Montagnetti, Mandolesi 2019). Tramite pyArchInit, è stato possibile connettere nella stessa piattaforma la documentazione grafica vettorializzata, sulla base degli ortomosaici, attraverso l'uso di livelli poligonali e le schede (SAS, USM, US) delle campagne. Questo strumento agevola l'associazione di schede specifiche a ogni area di scavo, in relazione alla rispettiva e necessaria documentazione grafica georeferenziata sulla superficie terrestre (Fig. 7). Ad esempio, per ciascuna campagna di scavo e unità stratigrafica, è disponibile una rappresentazione completa dello strato con quote e grafici, correlata alla corrispondente scheda US. Il plug-in, inoltre, consente di validare i rapporti stratigrafici, di produrre il matrix di Harris ed esportare le schede ICCD precompilate in formato PDF.

In conclusione, l'avvio del progetto GIS a Monte Abatone è stato motivato dalla necessità di gestire e integrare una vasta gamma di informazioni eterogenee in un unico ambiente. Le sfide principali derivavano dalla diversità temporale e contestuale di tali dati, con l'ulteriore complessità di integrare la documentazione delle recenti campagne di scavo. L'approccio adottato ha previsto inizialmente una visione panoramica dell'intero pianoro e della sua posizione, per poi concentrarsi in modo dettagliato sulle aree coinvolte nelle campagne di scavo. I dati raccolti riguardanti l'intero pianoro, compresi quelli provenienti da fotografie aeree storiche, documentazione Lerici e prospezioni, identificano la presenza di numerose sepolture, delle quali molte risultano a tumulo. La documentazione di scavo, d'altro canto, fornisce un quadro approfondito di un'area piccola ma significativa della necropoli. L'impiego di strumentazioni e software come quelli fotogrammetrici e, soprattutto, GIS consentono di integrare tutte queste informazioni in un sistema unificato e facilmente aggiornabile con nuovi dati. Tale soluzione offre, così, la possibilità di formulare connessioni intrecciando informazioni eterogenee e di aprire nuove prospettive nell'analisi dei dati raccolti.

L.L.

3. Il sistema informativo multi-scalare BIM e GIS del Tumulo Campana

La progettazione sperimentale e la modellazione del Sistema Informativo multi-scalare, architettonico (BIM) e topografico (GIS) del Tumulo Campana nella necropoli di Monte Abatone – quale sviluppo del più recente rilievo digitale integrato (RDI) (Gilotta *et al.* 2022) – sono tese a tre obiettivi correlati: l'integrazione tra la precisione geometrica del rilievo e la molteplicità di informazioni archeologiche, materiali e conservative del monumento etrusco; l'applicazione dell'information modelling ad un'architettura concavo-sottrattiva

priva di elementi edilizi autonomi perché intagliati in negativo nel banco di tufo, caratteristica propria dei tumuli etruschi; la definizione di un protocollo digitale di rilievo e di catalogazione alfanumerico, geometrico e multimediale sempre implementabile, interfacciabile con le più accreditate banche dati e piattaforme digitali dei beni culturali, ed estendibile ad altre architetture funerarie affini per caratteristiche costruttive.

Il RDI del Tumulo Campana è parte integrante delle campagne di scavo archeologico (2018-2022) svolte sul pianoro di Monte Abatone e coordinate dal prof. F. Gilotta; in particolare, le campagne di rilievo – svolte da P. Argenziano, A. Avella, A. Palmieri, T. Patriziano, coordinati dalla prof. A. Cirafici, del Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale dell'Ateneo vanvitelliano (Cirafici *et al*. 2022) – sono state condotte mediante l'acquisizione di dati mensori di topografia satellitare GNSS, di scansione laser tridimensionale e di fotogrammetria da drone ed hanno avuto come primo risultato – dopo opportune operazioni di allineamento, filtraggio e classificazione – il modello nuvola di punti georeferito, inteso come "clone digitale" della realtà dei luoghi alla data del rilevamento e alla scala naturale del monumento.

La conoscenza diretta del monumento, esperita durante le fasi di rilevamento, le prime valutazioni critiche, maturate attraverso la redazione dei grafici canonici di rilievo in CAD (in parte editi in Cirafici *et al*. 2022; Patriziano c.s.) nonché lo studio della letteratura archeologica ceretana e dei sistemi informativi applicati a casi studio affini (Gaiani, Benedetti, Apollonio 2011; Garagnani, Gaucci, Govi 2016; Licheri 2016; Scianna, Gaglio, La Guardia 2020; Bosco *et al.* 2021) hanno orientato la progettazione del Sistema Informativo del Tumulo Campana che ha il suo fulcro in un database relazionale, modulabile e induttivo, basato sullo standard catalografico dell'ICCD per i beni archeologici, al quale sono stati collegati in corrispondenza duale – mediante codici identificativi univoci – gli omologhi elementi architettonici e decorativi, modellati in 3D (BIM) e in 2D (GIS) (Vacca *et al.* 2018; Guyo, Hartmann, Ungureanu 2021), come discretizzazione geometrica del "clone digitale".

La procedura scelta ha fatto riferimento alle esperienze di discretizzazione geometrica da nuvole di punti note e consolidate nel campo della modellazione 3D reality based (superficiale e solida) del patrimonio edilizio, declinandola al caso specifico delle architetture funerarie ceretane, e quindi estendendola all'H-BIM secondo il procedimento geometrico sistematizzato da Banfi (Banfi 2017, 2020; Brumana *et al.* 2019), e al GIS secondo la consolidata tecnica di rappresentazione cartografica digitale.

Il database relazionale – elaborato nel software open source PostgreSQL – è articolato in cinque delle nove schede catalografiche previste dall'ICCD per i beni archeologici: Siti Archeologici (SI), Saggi Stratigrafici (SAS), Complessi Archeologici (CA), Monumenti Archeologici (MA), Reperti Archeologici

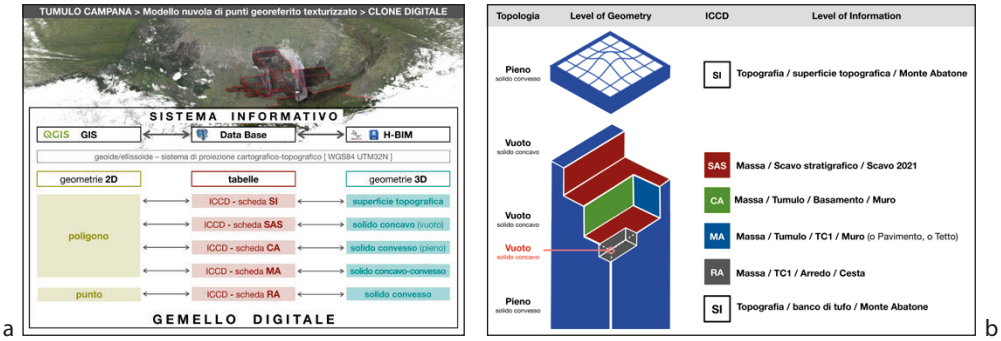


Fig. 8 – a) Schema a blocchi del sistema informativo e delle modellazioni 2D e 3D del Tumulo Campana. b) Diagramma concettuale dell'information modelling del Tumulo Campana (elab. T. Patriziano).

(RA) (Mancinelli 2015) con potenziale interfaccia ed implementazione duale con il SIGEC Web del Ministero della Cultura. Se da un verso la logica relazionale del database è induttiva, dal sito archeologico al minimo reperto, la modellazione geometrica adottata è stata deduttiva, dalla scala naturale del "clone digitale" del Tumulo Campana a quella architettonica mediante procedure scan to H-BIM fino a quella topografica mediante procedure H-BIM to GIS, assicurando di fatto alti livelli di accuratezza geometrica (LOG) ed autonomia di elaborazione rispetto al Sistema Informativo (LOI) (Fig. 8a).

La modellazione scan to H-BIM del Tumulo Campana e dell'area archeologica occidentale di Monte Abatone è stata articolata attraverso quattro fasi successive: la segmentazione critica del "clone digitale", la modellazione 3D NURBS, la modellazione solida e la modellazione solido-parametrica BIM.

Nella prima fase, operata nel software Autodesk Recap, il "clone digitale" è stato segmentato e classificato in insiemi omogenei corrispondenti ai singoli elementi architettonici e decorativi del Tumulo Campana. Da questi insiemi è stato elaborato – nella seconda fase utilizzando il software McNeel Rhinoceros, e protocolli standard di intercambio file da e verso i software di Autodesk – il modello 3D NURBS le cui superfici aderiscono con la migliore accuratezza possibile alle superfici scalpellate nel tufo ceretano. Per controllare la corrispondenza tra realtà e modello digitale, gli insiemi di punti omogenei, precedentemente classificati, sono stati sezionati in profili "nuvola di punti" corrispondenti alle matrici geometriche dei rispettivi elementi architettonici e decorativi; questi profili sono stati poi vettorializzati in curve piane NURBS, diventando così curve direttrici o generatrici delle superfici NURBS successivamente prodotte per traslazione o rivoluzione nello spazio cartesiano.

Siffatto modello superficiale è stato il riferimento per il modello solido, terza fase del procedimento: le superfici NURBS diventano le facce esterne

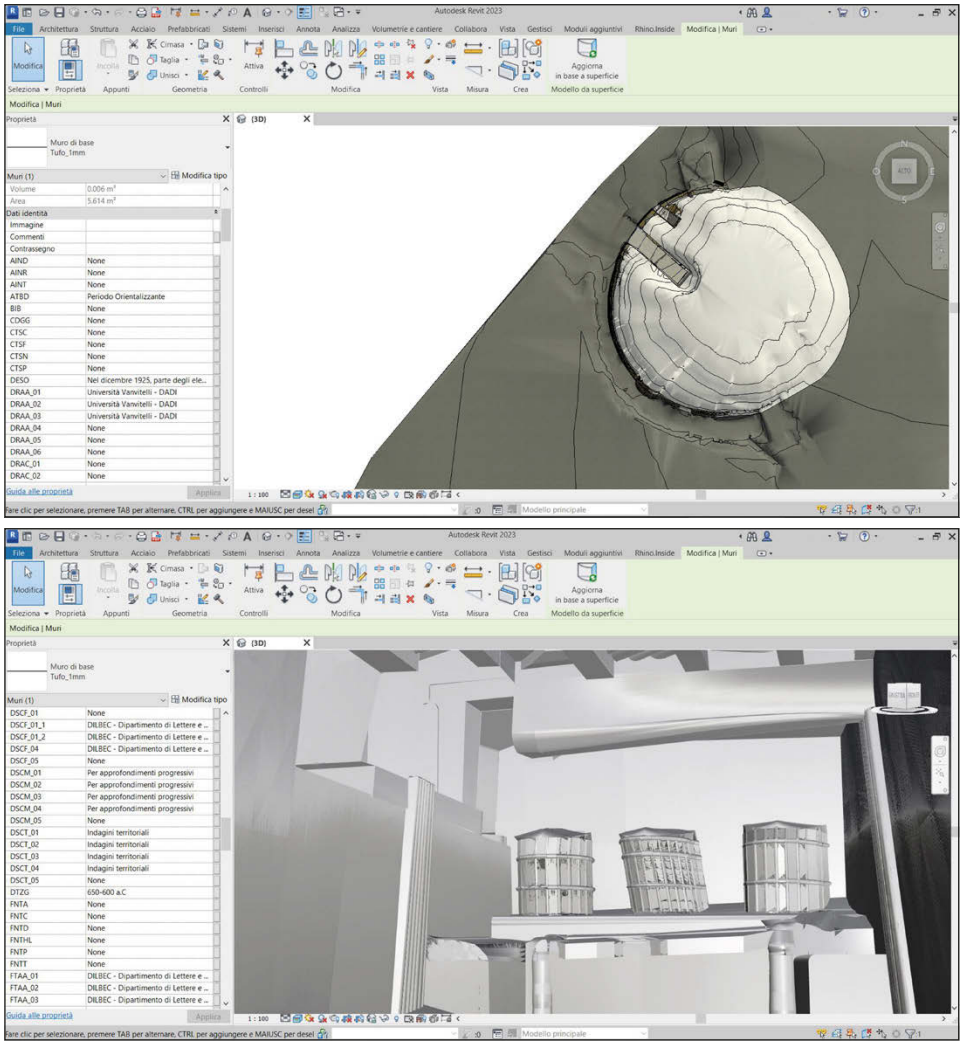


Fig. 9 – HBIM del Tumulo Campana: a) Proiezione zenitale nell'area topografica e relativi campi del database collegato. b) Proiezione prospettica della camera sinistra della Tomba Campana 1 e relativi campi del database collegato (elab. T. Patriziano).

(concave) del modello solido che traduce in ambiente digitale il banco di tufo ceretano nel quale fu scavato il Tumulo. Questo modello solido presenta due caratteristiche fondamentali: la suddivisione per spazi concavo-sottrattivi ed elementi edilizi (prima fase del procedimento) al fine di orientare la successiva parametrizzazione in ambiente BIM (quarta fase); un livello di accuratezza

geometrica (LOG) prossimo all'errore di graficismo della scala 1:10, tale che in BIM siano modellate e parametrizzate le varie parti del Tumulo fino ai dettagli architettonici e decorativi, e le fratture vandaliche o sismiche così come registrate in fase di rilevamento.

La modellazione solido-parametrica BIM – quarta fase del procedimento svolta integrando le potenzialità dei software McNeel Rhinoceros e Autodesk Revit – ha coniugato tre istanze: la modellazione solida degli elementi architettonici concavo-sottrattivi, non prevista nei software BIM; la gerarchia classificatoria degli elementi edili in BIM, condivisa e normata a livello internazionale; il collegamento al database del Sistema Informativo, basato sullo standard catalografico dell'ICCD, condiviso con la modellazione GIS del Tumulo Campana (Fig. 8b).

Dopo aver sperimentato il procedimento su alcuni esempi architettonici ceretani (Prayon 1975) e in relazione ai disegni plano-altimetrici editi del Tumulo Campana (Naso 1996; Galiffa 2017), si è definito un protocollo in quattro fasi:

1. La modellazione del sito – parte del settore occidentale di Monte Abatone – è stata suddivisa in due macro-elementi: il suolo è stato astratto ad una superficie mesh, parametrizzata come "topografia"; il sottosuolo ovvero il banco di tufo privo delle cavità dei tumuli è stato modellato come un solido convesso, parametrizzato come "massa"; entrambi gli elementi corrispondono alla scheda di catalogo Siti Archeologici.
2. La modellazione dei "vuoti" è stata organizzata differenziando i volumi scavati dagli Etruschi per conformare i vari elementi architettonici e decorativi del Tumulo e delle due tombe (la trincea anulare, i *dromoi* e le camere con al negativo gli elementi di arredo e decorativi) dai volumi di terra asportata temporaneamente dagli archeologi negli scavi del 2018-2022; questo gruppo di solidi è stato parametrizzato come "massa" e schedato come Saggi Stratigrafici con differenti declinazioni tematiche e cronologiche.
3. La modellazione BIM dei vari spazi e degli elementi architettonici, d'arredo e decorativi del Tumulo e delle tombe è stata elaborata applicando solidi sottili (masselli di "tufo ceretano") sulle facce concave dei volumi "vuoti"; ciascuno di essi è stato parametrizzato in BIM nelle famiglie "muro", "pavimento", "tetto" in relazione alla rispettiva giacitura ed è stato etichettato con un codice univoco atto a relazionarlo alla catalogazione ICCD già imputata nel database.
4. Il collegamento tra gli elementi BIM e i rispettivi campi del database del Sistema Informativo è stato fatto attraverso uno script, coniato *ad hoc*, nel linguaggio Dynamo; ciò permette una autonomia di sviluppo e di implementazione dell'information modelling e del database (Fig. 9a-b).

La modellazione H-BIM to GIS del Tumulo Campana e dell'area archeologica sud-occidentale di Monte Abatone – elaborata nel software

open source QGIS – è stata articolata in tre fasi successive: la proiezione sul piano topografico dei modelli solidi in geometrie poligonali o puntuali, a seconda della corrispondente catalogazione ICCD; l'attribuzione della codifica univoca alle geometrie GIS, analogamente alle matrici BIM; il collegamento tra le geometrie GIS e i rispettivi campi del database del Sistema Informativo attraverso uno script, coniato *ad hoc*, nel linguaggio Python.

La modellazione tridimensionale e bidimensionale così elaborata ha raggiunto alti livelli di LOG e LOI (accuratezza geometrica e informativa) per raggiungere gli obiettivi intrinsechi alla ricerca; è evidente che nell'estendere questo approccio ad altri casi-studio affini, il LOG e il LOI potranno essere modulati separatamente e via via implementati in relazione al tempo di elaborazione e agli obiettivi informativi attesi.

In conclusione, il Sistema Informativo e le sue modellazioni in BIM e in GIS esposte sono orientati verso la realizzazione del "gemello digitale" del Tumulo Campana con finalità di gestione e manutenzione attraverso il monitoraggio sensoristico in tempo reale del monumento (gemello fisico).

Estendendo la ricerca ad un nutrito gruppo di architetture affini al caso-studio, il Sistema Informativo e le sue rappresentazioni architettoniche e topografiche si arricchirebbero di dati interrogabili trasversalmente in relazione alla chiave critica (cronologia, geometria, morfologia, tipologia, decoro, culto, etc.), con il pregio di visualizzarle contestualmente nello spazio bidimensionale GIS e in quello tridimensionale BIM, oltreché in piattaforme di Realtà Aumentata/Immersiva.

T.P.

Fernando Gilotta
Dipartimento di Lettere e Beni Culturali
Università della Campania "Luigi Vanvitelli"
fernando.gilotta@unicampania.it

Luca Lucchetti
Dipartimento di Studi linguistico-letterari, storico-filosofici e giuridici
Università degli Studi della Tuscia
luca.lucchetti@unitus.it

Teresa Patriziano
Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale
Università della Campania "Luigi Vanvitelli"
tpatriziano@gmail.com

BIBLIOGRAFIA

Banfi F. 2017, *BIM orientation: Grades of generation and information for different type of analysis and management process*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W5, 57-64 (https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017).

Banfi F. 2020, *HBIM, 3D drawing and Virtual Reality for archaeological sites and ancient ruins*, «Virtual Archaeology Review», 11, 23, 16 (https://doi.org/10.4995/var.2020.12416).

Beck D., Bentz M., Birkner F., Briesack C., Carafa V., Coen A., Galiffa F., Gilotta F., Lucchetti L., Micozzi M., Morpurgo G., Müller T., Rizzo C. 2021-2022, *Die Monte Abatone-Nekropole von Cerveteri. Vorbericht zur Grabungskampagne 2021*, «Kölner und Bonner Archaeologica», 11/12, 77-93.

Becker Y., Bentz M., Briesack C., Coen A., D'Anna T., De Gemmis A., Galiffa F., Gilotta F., Lucchetti L., Micozzi M., Morpurgo G., Müller T. 2021-2022, *Die Monte Abatone-Nekropole von Cerveteri. Vorbericht zur Grabungskampagne 2022*, «Kölner und Bonner Archaeologica», 11/12, 95-111.

Bentz M., Coen A., Gilotta F., Micozzi M. c.s., *La necropoli di Monte Abatone dalle indagini della Fondazione Lerici ai nuovi scavi: verso una ricomposizione del quadro culturale*, in V. Bellelli, A. Coen, A. Conti, L.M. Michetti, M. Micozzi (eds.), *Cronache ceretane. Seminario sulla storia degli scavi e delle collezioni archeologiche disperse*, in corso di stampa.

Bosco A., Carpentiero L., D'Andrea A., Minucci E., Valentini R. 2021, *Developing an ABIM system: A new prospective for archaeological data management*, in A. Caravale (ed.), *Archaeological Computing: Selected Papers from the 2020 IMEKO TC-4 Metro-Archaeo International Conference*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 167-176 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.15).

Bradford J. 1957, *Ancient Landscapes. Studies in Field Archaeology*, London, Bell & Sons.

Brumana R., Banfi F., Cantini L., Previtali M., Della Torre S. 2019, *HBIM level of detail-geometry-accuracy and survey analysis for architectural preservation*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W11, 293-299 (https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-293-2019).

Caere 7 c.s. = Gilotta F. (ed.), *Ricerche in corso a Cerveteri, tra Canada ed Europa*, in *Caere* 7, Roma, CNR Edizioni, in corso di stampa.

Cirafici A., Avella A., Argenziano P., Patriziano T. 2022, *Laser scanning, photogrammetry*, in Gilotta *et al*. 2022, 231-234.

Forte M. 2002, *I Sistemi Informativi Geografici in Archeologia*, Roma, MondoGIS.

Gaiani M., Benedetti B., Apollonio F.I. 2011, *Teorie per rappresentare e comunicare siti archeologici attraverso modelli critici*, «SCIRES-IT», 1, 2, 33-70 (https://dx.doi.org/10.2423/i22394303v1n2p33*)*.

Galiffa F. 2017, *Tumulo Campana (tomba a camera, area ad uso funerario). Cerveteri, ca. 650 a.C.-ca. 600 a.C. Codice di catalogo nazionale 1201339004,* Roma, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione.

Garagnani S., Gaucci A., Govi E. 2016, *ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 251-270 (https://doi.org/10.19282/AC.27.2016.13).

Gilotta F., Carafa V., Morpurgo G., Rizzo C., Cirafici A., Avella A., Argenziano P., Patriziano T., Micozzi M., Galiffa F., Lucchetti L., Bentz M., Beck D., Birkner F., Briesack C., Kluge P., Lang M., Coen A., Zinni M. 2022, *Researches at the Monte Abatone Necropolis (Cerveteri)*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 135-152 (https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.08).

Guyo E., Hartmann T., Ungureanu L. 2021, *Interoperability between BIM and GIS through open data standards: An overview of current literature*, in M. Poveda-Villalón, P. Pauwels (eds.), *Proceedings of the 9th Linked Data in Architecture and Construction Workshop - LDAC2021*, Luxembourg, 115-126.

Lerici C.M. 1957, *Campagna di prospezioni archeologiche nella necropoli etrusca di Monte Abatone*, Milano, Lerici.

Lerici C.M. 1960, *Nuove testimonianze dell'arte e della civiltà etrusca*, Milano, Lerici.

Licheri A. 2016, *Prospettive sull'utilizzo del Building Information Modelling (BIM) in archeologia*, in P. Basso, A. Caravale, P. Grossi (eds.), *ARCHEOFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del IX Workshop (Verona 2014)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 8, 197-202 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_8/25_Licheri.pdf).

Mancinelli M.L. 2015, *Nota introduttiva alle normative per la catalogazione dei beni archeologici*, Roma, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione.

Mandolesi L., Cocca E. 2013, *PyArchInit gli sviluppi dopo ArcheoFOSS 2009*, in M. Serlorenzi (ed.), *ARCHEOFOSS Free, Libre and Open Source Software e Open format nei processi di ricerca archeologica. Atti del VII Workshop (Roma 2012)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 4, 128-138 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_4/14_Mandolesi_Cocca.pdf).

Micozzi M. 2021, *I bambini perduti di Cerveteri. Primi appunti per la ricostruzione della ritualità funeraria infantile nelle necropoli di Monte Abatone e della Banditaccia*, in E. Govi (ed.), *Birth. Archeologia dell'infanzia nell'Italia preromana*, Bologna, Bononia University Press, 395-416.

Montagnetti R., Mandolesi L. 2019, *QGIS, pyArchInit and Blender: Surveying and management of archaeological data with open source solutions*, «Archeomatica», 4, dicembre, 30-41 (https://doi.org/10.48258/arc.v10i4.1706).

Naso A. 1996, *Monte Abatone: Campana 1*, in A. Naso, *Architetture dipinte*, Roma, L'Erma di Bretschneider, 35-38.

Patriziano T. c.s., *Il rilievo digitale integrato del Tumulo Campana*, in *Caere* 7, in corso di stampa.

Pesaresi C. 2017, *Applicazioni GIS. Principi metodologici e linee di ricerca. Esercitazioni ed esemplificazioni guida*, Torino, UTET Università.

Prayon F. 1975, *Frühetruskische Grab- und Hausarchitektur*, Heidelberg, F. H. Kerle.

Remondino F. 2014, *Photogrammetry: Theory*, in F. Remondino, S. Campana (eds.), *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*, Oxford, BAR International Series 2598, 65-73.

Scianna A., Gaglio G.F., La Guardia M. 2020, *HBIM data management in historical and archaeological buildings*, «Archeologia e Calcolatori», 31.1, 231-252 (https://doi.org/10.19282/ac.31.1.2020.11).

Tartara P. 2003, *Ortofotopiano storico IGM 1930 del territorio tra Cerveteri e la costa*, in M. Guaitoli (ed.), *Lo sguardo di Icaro. Le collezioni dell'Aerofototeca Nazionale per la conoscenza del territorio*, Catalogo della mostra, Roma, Campisano, 157-166.

Tartara P. 2018, *Territorio di Caere: viabilità e distribuzione delle necropoli attraverso la fotografia aerea*, in A. Naso, M. Botto (eds.), *Caere orientalizzante. Nuove ricerche su città e necropoli*, Roma, CNR Edizioni, 123-153.

Vacca G., Quaquero E., Pili D., Brandolini M. 2018, *GIS-HBIM integration for the management of historical buildings*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII (June), 4-7 (https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-1129-2018).

ABSTRACT

An overview is presented of ongoing initiatives within the frame of the Monte Abatone Project, focused on the large urban necropolis of the Etruscan city of Caere (Cerveteri). Excavation campaigns; a multi-layered GIS, suitable for archive data and new acquisitions onfield; an experimental processing and modeling of the multi-scalar Information System – architectural (BIM) and topographic (GIS) – of the Campana Tumulus; challenging restorations of thousands of sherds: all this should contribute to have a clearer picture of the necropolis and of the historical and cultural profile of the city.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 67-80
doi 10.19282/ac.35.1.2024.06

‘RITORNO A VULCI’. NEW TOOLS FOR THE STUDY OF THE SOUTH-EASTERN NECROPOLISES

1. Introduction

The project ‘Ritorno a Vulci. Le necropoli orientali dagli scavi italo-francesi dell’Ottocento alle attività di tutela della seconda metà del Novecento’ aims to initiate a new season of research focused on studying specific sectors of the eastern necropolis of Vulci, starting from the investigations conducted in the 19th century by Italian and French archaeologists, up to the most recent protective measures implemented by the Superintendency in the early 1990s. The project is the result of a scientific collaboration between the Settore di Etruscologia e Antichità italiche of the Dipartimento di Scienze dell’Antichità - Sapienza Università di Roma, the École française de Rome, the Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la provincia di Viterbo e per l’Etruria meridionale, the Direzione Regionale Musei Lazio and the Department of Greece and Rome of the British Museum (Conti, Mazet forthcoming). This project stems from the fruitful collaboration that began with the cycle of the *Chroniques vulciennes/Cronache vulcenti. Seminario sulla storia degli scavi e delle collezioni archeologiche disperse*, which took place in Rome, from February to May 2022, under the patronage of the Istituto Nazionale di Studi Etruschi ed Italici (Conti, Mazet, Michetti 2023a-b).

This Seminar originated from an observation: among all the Etruscan metropolises, Vulci is perhaps the one that still suffers the most from challenges today due to the impacts of past excavations, which have profoundly conditioned the possibility of reconstructing its history and assessing its role in the broader context of pre-Roman Italy correctly. In fact, while it is true that extensive excavations in various sectors of the northern and eastern necropolises and in the urban area over the last ten years are yielding new and interesting results (Carosi, Casi, Regoli 2022, with references), much work remains to be done regarding the ‘old excavations’: indeed, it is necessary to ensure that many interesting data currently dispersed can be accurately and definitively georeferenced, so that further research can be conducted.

A.C., C.M., L.M.M.

2. The south-eastern necropolises of Vulci, a brief history of excavations and available data

This necessity is particularly evident when considering the eastern necropolises of the ancient city. For example, a comprehensive collection

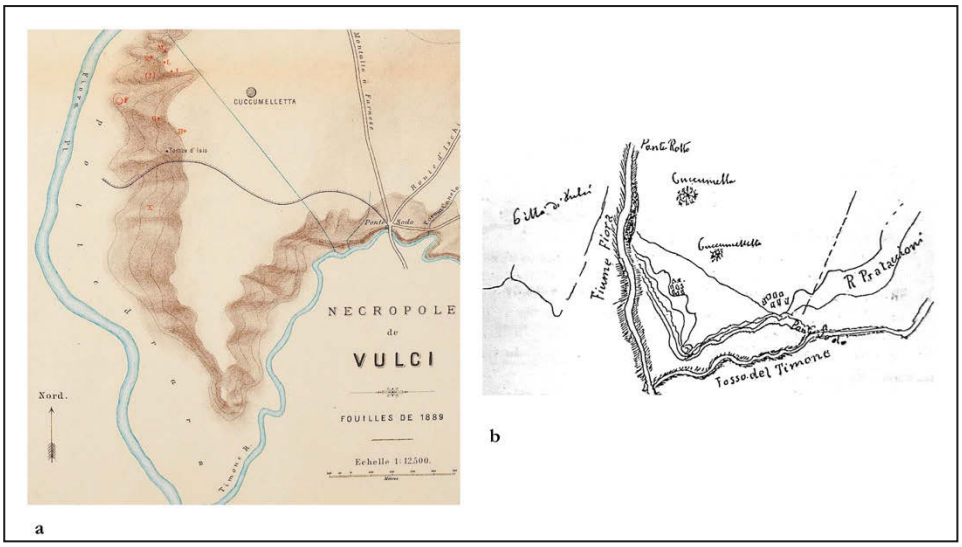


Fig. 1 – Details of the plans of Vulci by S. Gsell (a) and F. Mancinelli Scotti (b) with the Polledrara necropolis (after Gsell 1891 and Moretti Sgubini 2021).

of bibliographic and archival sources (such as the one compiled in the late 1980s by L. Ricciardi for the northern necropolis: Ricciardi 1989) is still lacking. Our knowledge of the south-eastern sector of the necropolis, to which the toponyms Polledrara and Legnisina (or Agnesina) refer, remains notably incomplete. These areas were investigated during the excavations by the princes of Canino, Lucien and Alexandrine Bonaparte (1828-1854) (Buranelli 1995), naturally conducted without the application of the methodologies employed today. Significant discoveries were made, as demonstrated by the important findings in the area known as 'Castellina' (Briquel, Mazet, Pelletier-Hornby 2023, 64-73; Mazet 2023, 31-37) – SW of the Cuccumella Tumulus and the funerary monument known as 'La Rotonda' –, the Cuccumelletta tumulus (Moretti Sgubini 2015, 611-612), or extraordinary contexts such as the Tomb of Isis, still the pride of the British Museum today (Bubenheimer-Erhart 2010, 2012).

In the second half of the 19th century, with the authorisation of the Torlonia princes, the new landowners, surveys by F. Marcelliani (1883), S. Gsell (1889) and F. Mancinelli Scotti (1894-1895) were carried out in this area, with different methods and results. The former, in addition to some circumscribed interventions at Cuccumelletta, excavated in a sector of Polledrara that, as reported by Helbig, was located 'close to the ancient city' and therefore potentially located at the plateau's edge overlooking

the Legnisina valley. Here, a nucleus of «thirty or forty ... well ... square tombs» were explored, perhaps ascribable to the end of the Early Iron age (Moretti Sgubini 2012, 1095 with references). Stéphane Gsell, on behalf of the École française de Rome, and financed by the Torlonia family itself, conducted scientifically grounded investigations (Delpino 1995; Haumesser 2015), resulting in a monograph that is still fundamental for our current knowledge of the site (Gsell 1891).

Gsell unearthed numerous pit tombs dating back to the Early and Middle Orientalising periods, often adjacent to other, more recent, chamber-type tombs (Fig. 1a). He also identified, without exploring it, a large tumulus halfway up the hillside bordering the Legnisina valley to the East.

Mancinelli Scotti's excavations are documented through a series of letters preserved in the Central State Archive in Rome and in the Archive of the National Archaeological Museum in Florence (Fig. 1b). His research (which also involved the Ponte Sodo necropolis), focused on the eastern edge of Polledrara and, more precisely, SW of Cuccumelletta and a short distance from the tumulus previously identified by Gsell (Moretti Sgubini 2021). The tombs, spanning from the Early Iron Age to the Hellenistic period, were of various type (pit, trench, chamber). Some of the grave goods discovered at that time were acquired in 1896 by A.L. Frothingham, Secretary and (later) Associate Director of the American School of Classical Studies in Rome: six of these were added to the collections of the Pennsylvania University Museum in Philadelphia (Dohan 1942), while three others to the collections of the Field Museum in Chicago (De Puma 1986). Recent research, however, has revealed that these were heavily altered and counterfeit (Conti 2021).

Regarding the first half of the 20th century, archaeological literature does not record any significant finds. However, in the second half of the same century, also due to the Agrarian Reform of the Ente Maremma, the Polledrara-Legnisina area (like other Vulcian necropolises) became a target for clandestine excavators. The phenomenon results in the indiscriminate looting of numerous contexts and a huge diaspora of artifacts, resulting in an increasingly fragmented view of the necropolis topography. Only in a few cases does the Superintendency succeed in intervening, with the help of the Guardia di Finanza or Carabinieri, by recovering what remains of extremely important grave goods. In this regard, we can mention the looting, in the early 1960s, of the so-called 'Tomba del Trono della Polledrara', which reportedly yielded the famous wooden head laminated in gold now in the Civic Archaeological and Numismatic Collections in Milan (Moretti Sgubini 2013-2014, 172-186; Conti 2019, 107, note 16; Mazet 2022, 170-171, fig. 10, with other references), and that of the older 'Tomba degli Ori' (Fig. 2) (Moretti Sgubini 2013-2014, 146-170; Davidde Petriaggi,



Fig. 2 – The wooden head laminated in gold from Tomba del Trono della Polledrara (a) and jewellery from the Tomba degli Ori (b) (after Mazet 2022 and Davidde Petriaggi, Carosi 2016).

Carosi 2016). Equally important was the recovery in 1976 of the grave known as the 'Tomba del Guerriero', dating back to the Early Orientalizing period (Moretti Sgubini 2004).

Many discoveries have been made by the Superintendency up to the present day, primarily through excavations undertaken for protection or restoration of important funerary monuments. For instances interventions between 1984 and 1987 focused on the Cuccumelletta Tumulus, while in 1987, following a flood, the so-called 'Tomba Costruita' on the slopes of the Polledrara was brought to light (Sgubini Moretti 1994, 15-28). Between 1985 and 1987, the suburban sanctuary of Fontanile di Legnisina was also excavated (Massabò, Ricciardi 1989). This brief overview highlights the extremely fragmentary nature of our knowledge regarding the south-eastern necropolis of Vulci.

We must acknowledge the lack of a great deal of topographical information that prevents the diachronic reading of the development of this sector of the ancient city's necropolises: a deficiency regretted, moreover, even in significant works, such as those by Bruno Massabò, from the late 1970s (Massabò 1979, 1985), or the more recent ones by Giorgio F. Pocobelli (Fig. 3). Nevertheless, the latter ones constitute fundamental points of reference for studying the eastern necropolis and road networks of the city and its surrounding area (Pocobelli 2007, 2010-2011). Our project aims to bring together all existing documentation on the Polledrara and Legnisina sectors and to fill this gap in Vulci's archaeological history.

A.C.



Fig. 3 – Details of the plans of Vulci by B. Massabò (a) and G.F. Pocobelli (b) with the Polledrara necropolis (after Massabò 1979 and Pocobelli 2010-2011).

3. Building and implementing a WebGIS for 'Ritorno a Vulci': some principles

One of the main goals of the 'Ritorno a Vulci' project is the creation of a dedicated WebGIS, which will, alongside other works, generate and manage new topographical documentation of the area. Specifically, this entails the repositioning the areas excavated since the 19th century onto modern cartography. The initial step involves collecting all available scattered documentation, with the aim of bringing virtually them together. For instance, historical cadastre, in particular the Gregorian Cadaster of the area, drawn up in 1837, could be repositioned, as a series of ancient maps featuring topographic points of precise contexts, such as those published by the Instituto di Corrispondenza Archeologica (Fig. 4a) (Knapp 1832; *MonInst* 1, 1829-1832, pl. 40; see also Franceschini, Pasieka 2021, 355-357, fig. 26, Archivio DAI-Roma: D-DAI-ROM-AVII-06), or from the Bonaparte or Gsell excavations (Fig. 1a) (Bonaparte 1829, 213; Gsell 1891, 8), or Luigi Canina's map (Fig. 4b) (Canina 1846-1851, pl. 104), as well as the plans of the more recently excavated and published areas. While some initial work has already been carried out in this area (see *supra*), it highlights the challenges associated with repositioning old maps, even if they appear to have been created by the best cartographers of the time. The repositioning of old maps may introduce several distortions



Fig. 4 – Details of the plans of Vulci by J.M. Knapp, 1832 (a) and by L. Canina, 1837 (b) (after Archivio DAI-Roma, published in Franceschini, Pasieka 2021 and Canina 1846-1851).

due, for example, to different methods of measuring the field. Despite being a real challenge, this is not a hopeless task: the effort required for the even partially reposition of the excavated areas and singular points that appear on the maps, proves very useful in the quest to identify the excavated areas, reconstruct the funeral landscape and subsequently return to the field with new technologies.

This dedicated WebGIS is intended to become a collaborative digital research platform, accessible online but with varying levels of accessibility, with open-source information, while more developed data available with restricted access to approved researchers upon request, considering heritage protection requirements. Indeed, for a site like Vulci, which has been and is still heavily affected by clandestine excavations, providing access to very precise topographical information, such as grave locations, is not without risk.

When creating the platform, we have to think about the different levels of data reading and transmission. A potential model is the WebGIS of the Amathus excavations in Cyprus, developed by the École française d'Athènes[1], which is entirely open source and can be consulted through a simple web browser, without having to resort to proprietary software. Moreover, it is

[1] https://sig-amathonte.efa.gr/.

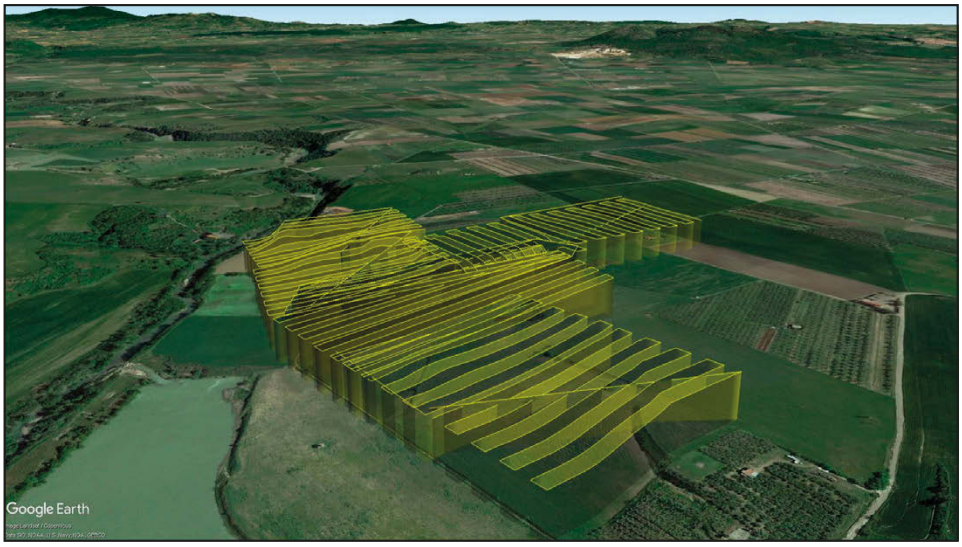


Fig. 5 – View of the drone survey (EFR, L. Fornaciari).

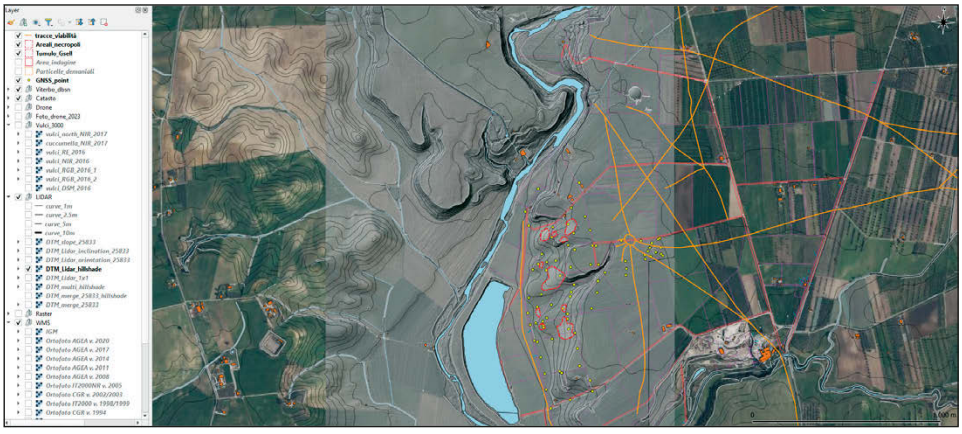


Fig. 6 – Screenshot of the GIS platform for the study of the funerary landscape of the eastern necropolis of Vulci (EFR, L. Fornaciari).

very user-friendly, which is crucial for involving researchers with different digital skills and abilities in these projects, or when one also wants to reach a non-specialist audience. The platform will address a dual purpose: on the one hand, to make the work carried out accessible in various forms (offering

partial access to databases of general interest for the public and restricted access to research data for specialists), and, on the other hand, to enable the preservation and archiving of the digital version of GIS-associated archives, thus facilitating documents consultation and access, and ultimately contributing to their preservation (Cannavò, Fadin 2016). This is particularly significant for a site like Vulci, where scattered objects and documentation spanning several centuries need preservation.

In October and November 2023, a first GPS reconnaissance and drone survey mission covered an important part of the eastern necropolis, focusing especially on poorly investigated areas with high potential thanks to an initial site survey and a review of available cartographic and archival data[2]. The 40-hectare area investigation includes a large part of the area of the Polledrara necropolis, in particular some of the areas covered by Bonaparte and Gsell excavations, as well as an unexplored section of the Cuccumelletta tumulus (Figs. 5, 6). These choices are, of course, also based on all the preceding topographical work in the area, but which also needs to be integrated and updated. This first mission has provided significant data for further geophysical investigations in search of topographical anomalies that will help to identify the most significant areas for a resumption of excavations.

To this harvest of both old and new data, and thanks to the collaboration with the Direzione Regionale Musei Lazio, we aim to incorporate into the project an unprecedented and systematic review of the nuclei of materials stored in the deposits of the Museo Nazionale di Vulci at the Castello della Badia, which are mostly the result of recoveries made between the 1950s and the 1990s following clandestine excavations by the Soprintendenza and the law enforcement agencies. Often, these material groups are accompanied by delivery reports indicating the landowner where the clandestine excavation took place. Consequently a cadastral search can be employed to topographically located various groups of finds, thereby contributing to the reconstruction of the chronological excursus of the sectors of the eastern burial grounds chosen as samples.

These still scattered elements need to be brought together through a new campaign of topographical studies, work within the storerooms of the Castello della Badia and a new excavation, but also by trying, when possible, to recontextualise the material from Vulcian grave goods and burial assemblages scattered around the world. This is another dimension of our project, which envisages an implementation of the WebGIS of the necropolises to enable data visualization on the platform or in interrelation with the platform.

C.M.

[2] The topographic work of the mission is undertaken under the responsibility of Lorenzo Fornaciari, topographer-geomatician of the Service archéologique of the École française de Rome.

4. The 'Vulci nel Mondo' Project's contribution

At a later stage, we will incorporate a feature into the WebGIS to display the funerary material and grave goods of Vulci that have been dispersed. We are not starting from scratch, as research programs in France and Italy already possess inter-relational databases accessible in open access that can be implemented, particularly focusing on the dispersal of Vulci material. One noteworthy example is the French programme *Répertoire des ventes d'antiques en France au XIXe siècle* (RVA)[3], developed by colleagues at the Institut national d'histoire de l'art and the Louvre, which focuses on the dispersion of archaeological material in 19th-century Parisian auction sales. Another significant digital project is 'Vulci nel Mondo' (VNM)[4], initiated and funded by a private individual, with the patronage and scientific supervision of the Dipartimento di Scienze dell'Antichità della Sapienza. This is a virtuous example of collaboration between a private individual and the academia in the name of sharing the value of our archaeological heritage and the need to protect and enhance it to the best of our ability, in agreement with all the stakeholders in charge of this purpose, while at the same time aiming to train new generations of researchers. While on the one hand the VNM database utilizes a simple and straightforward indexing system, adopting the nomenclatures in use in most sector catalogues, on the other hand it aims to integrate the strictly personal and descriptive information with that referring, where available, to the various ownership transfers and acquisition events that characterise the antiquarian history of most objects from Vulci (Bonadies *et al.* 2023).

The catalogue of all artifacts with provenance from Vulci that is either ascertained or at least declared in museum inventories enables the restoration of unity to grave goods that have been dismembered across various museums and allows an overall view of them. For instance, the virtual visitor can not only admire in its entirety the grave good from 'Tomb 5', excavated by Francesco Mancinelli Scotti in one of Vulci's eastern necropolises in 1895, but can also trace its long journey from its discovery to the Penn Museum in Philadelphia in 1896, along with other grave goods uncovered in the same excavation campaign (Fig. 7) (Conti 2021, 420-421, fig. 6).

VNM is also conceived as a Virtual Museum, serving as an online space to bring together a permanent collection on Vulci, a highly versatile tool with features complementary to its tangible counterpart. The standard

[3] http://www.purl.org/inha/agorha/001/47.

[4] https://vulcinelmondo.com/.

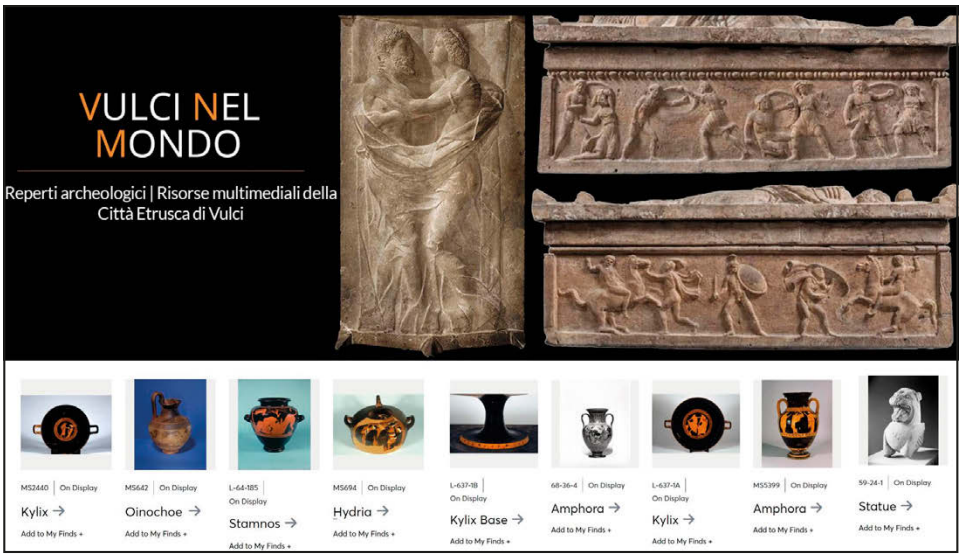


Fig. 7 – Screenshot of the website VNM, with a sample of the Penn Museum's finds from Vulci.

virtual tour model is built on two key aspects: navigation, providing access to the collections and other information on the museum's website, and interaction, simulating a physical space with which visitors can engage.

The first objective is to collect the dispersed heritage into a single place, to make use of the cards in the database and to engage different types of users, including children, in the discovery of the history of Vulci. The museum includes an outdoor area providing an introduction to Vulci's history, and an indoor area, featuring a selection of artifacts, arranged chronologically and supplemented with thematic insights. Visitors can navigate freely within this space, but can also choose the 'guided tour' mode, which allows them to follow a predefined route. In addition, it is possible to engage in online chats with other visitors, creating further possibilities for interaction.

Future developments for the virtual museum include expanding in-depth exhibitions (hence the choice of the term 'virtual museums'), incorporating different languages, and experimenting with new engagement formats, also for younger age groups. In addition, a partnership with Google Arts and Culture is being applied for, which will enable the creation of additional multimedia content on Vulci. Entering the Metaverse will offer even more opportunities for interaction and customisation of virtual spaces.

It remains to be said that we conceived VNM as an enterprise intended to involve PhD students and postgraduates in Etruscology, a laboratory where young archaeologists have the opportunity to tackle the work of consulting online and printed catalogues from museums worldwide; to carry out bibliographical and archival research; to reconstruct the antiquarian and collecting history of the various complexes dismembered over time; to deal with the different systems of documenting artefacts and acquire the necessary skills to draw up new records according to the parameters set for VNM, but above all to acquire a special sensitivity towards the theme of dispersed and scattered heritage and the importance of reassembling and at least virtually returning it to the community.

The ever-increasing awareness and willingness, which we are experiencing with regard to Vulci, among managers and curators of foreign museum institutions to collaborate on this front, leads us to a cautiously optimistic attitude towards initiatives such as this one, which may be of interest for other great Etruscan cities, all of which have been more or less affected by similar diasporas and in need of similar recovery and recontextualisation operations.

In conclusion, we hope that all of these lines of research and action – in the archives, in the field and on virtual realm – will give the newly-established 'Ritorno a Vulci' project the opportunity to present the community with an unprecedented and up-to-date overview of the Vulci funerary landscape.

L.M.M.

Alessandro Conti, Laura Maria Michetti
Dipartimento di Scienze dell'Antichità
Sapienza Università di Roma
alessandro.conti@uniroma1.it, laura.michetti@uniroma1.it

Christian Mazet
Centre de recherches en Archéologie et Patrimoine (CReA-Patrimoine)
Université libre de Bruxelles
christian.mazet@ulb.be

REFERENCES

Bonadies M., Lippolis A.S., Michetti L.M., Zampaglione A. 2023, *Vulci nel Mondo. Un museo virtuale del patrimonio disperso*, «Mélanges de l'École française de Rome, Antiquité», 135, 2, 435-446.

Bonaparte L. 1829, *Muséum étrusque de Lucien Bonaparte, prince de Canino. Fouilles de 1828 à 1829. Vases peints avec inscriptions*, Viterbe.

Bubenheimer-Erhart F. 2010, *Die 'ägyptische Grotte' von Vulci: Zum Beginn der Archäologie als wissenschaftliche Disziplin*, Wiesbaden, Reichert Verlag.

Bubenheimer-Erhart F. 2012, *Das Isisgrab von Vulci: Eine Fundgruppe der Orientalisierenden Periode Etruriens*, Wien, Österreichische Akademie der Wissenschaften.

Buranelli F. 1995, *Gli scavi a Vulci (1828-1854) di Luciano ed Alexandrine Bonaparte Principi di Canino*, in M. Natoli (ed.), *Luciano Bonaparte. Le sue collezioni d'arte, le sue residenze a Roma, nel Lazio, in Italia (1804-1840)*, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato, 81-218.

Briquel D., Mazet C., Pelletier-Hornby P. 2023, *Un scarabée étrusque retrouvé au Petit Palais dans la Collection Dutuit*, «Monuments Piot», 101, 17-81.

Canina L. 1846-1851, *L'antica Etruria marittima: compresa nella dizione pontificia descritta ed illustrata con i monumenti*, Roma, Camera Apostolica.

Cannavò A., Fadin L. 2016, *Du croquis de fouille au Web SIG: le Système d'Information Géographique d'Amathonte*, «Nouvelles de l'Archéologie», 145, 28-32.

Carosi S., Casi C., Regoli C. 2022 (eds.), *Vulci. Work in progress*, *Atti del I incontro internazionale (Vulci 2021)*, Quaderni vulcenti, 2, Acquapendente, Antiqua Res edizioni.

Conti A. 2019, *Il Pittore delle Rondini. Due recuperi del Comando Carabinieri Tutela Patrimonio Culturale*, «Mediterranea», 16, 103-134.

Conti A. 2021, *Dall'Italia agli Stati Uniti: appunti vulcenti*, in M.C. Biella, J. Tabolli (eds.), *Lo strano caso di Francesco Mancinelli Scotti. Documenti e approfondimenti dal workshop internazionale "The Strange Case of Francesco Mancinelli Scotti. Merchant of Antiquities and Terracottas from Excavation" (Atti Roma 2018)*, Monza, Fondazione Luigi Rovati, 410-455.

Conti A., Mazet C. forthcoming, *Vulci: vecchi scavi, nuove prospettive. Un progetto condiviso*, in S. Carosi, C. Casi, C. Regoli (eds.), *Vulci in progress 2, Atti del II incontro Internazionale (Vulci 2023)*.

Conti A., Mazet C., Michetti L.M. (eds.) 2023a, *Chroniques vulciennes, 1. De l'âge d'or des fouilles à la création du service de tutelle des monuments*, Dossier des Mélanges de l'École française de Rome, Antiquité, 135, 1, 1-148.

Conti A., Mazet C., Michetti L.M. (eds.) 2023b, *Chroniques vulciennes 2. Histoire des fouilles, dispersions patrimoniales et horizons numériques*, Dossier des Mélanges de l'École française de Rome, Antiquité, 135, 2, 237-446.

Davidde Petriaggi B., Carosi S. (eds.) 2016, *Tesori per l'aldilà. La Tomba degli Ori di Vulci. Dal sequestro al restauro,* Roma, Gangemi Editore.

Delpino F. 1995, *Gli scavi di Stéphane Gsell a Vulci (1889). La politica culturale dell'amministrazione per le antichità tra aperture internazionalistiche e autarchismo archeologico*, «Bullettino di Paletnologia italiana», 86, nuova serie IV, 429-468.

De Puma R.D. 1986, *Etruscan Tomb Groups. Ancient Pottery and Bronzes in Chicago'S Field Museum of Natural History,* Mainz, Philip von Zabern Verlag.

Dohan E.H. 1942, *Italic Tomb-groups in the University Museum*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press.

Franceschini M., Pasieka P.P. 2021, *«Da niuna cura accompagnato fuori che quella di scoprire antiche cose». Nuovi dati sugli scavi Campanari a Vulci (rapporti di scavo inediti, 09.11.1835-28.05.1836)*, «Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung», 127, 322-374.

Gsell S. 1891, *Fouilles dans la nécropole de Vulci exécutées et publiées aux frais de S. E. le prince Torlonia*, Rome, École française de Rome.

Haumesser L. 2015, *Les débuts des études étrusques à l'École française de Rome. Auguste Geffroy et Vulci*, in M. Gras, O. Poncet (eds.), *Construire l'institution. L'École française de Rome, 1873-1895*, Rome, École française de Rome, 435-478.

Knapp G. 1832, *Osservazioni generali su i monumenti sepolcrali di Vulcia e su alcuni altri della medesima specie*, «Annali dell'Instituto di Corrispondenza Archeologica», 4, 279-284.

Massabò B. 1979, *Vulci e il suo territorio in età etrusca e romana*, «L'Universo», 59, 137-184, 369-400, 489-512.

Massabò B. 1985, *Contributo alla conoscenza topografica di Vulci: le aree sacre di Fontanile di Legnisina e di Polledrara*, «Bollettino d'Arte», 29, 17-28.

Massabò B., Ricciardi L. 1988-1989, *Canino (VT). Il Santuario etrusco di Fontanile di Legnisina a Vulci*, «Notizie degli Scavi di Antichità», 42-43, 103-209.

Mazet C. 2022, *La mémoire des idoles démembrées. Sur la piste des simulacres funéraires et des contextes orientalisants des fouilles Bonaparte à Vulci*, «Mélanges de l'École française de Rome, Antiquité», 134, 1, 161-192.

Mazet C. 2023, *Scavi di Canino: les premières campagnes des fouilles Bonaparte dans le Catalogo generale des archives Faina de Pérouse (1828-1833)*, «Mélanges de l'École française de Rome, Antiquité», 135, 1, 19-42.

Moretti Sgubini A.M. 2004, *Vulci. La Tomba del Guerriero della Polledrara*, in A.M. Moretti Sgubini (ed.), *Scavo nello scavo. Gli Etruschi non visti. Ricerche e riscoperte nei depositi dei musei archeologici dell'Etruria meridionale*, Catalogo della mostra, Viterbo, Ministero per i beni e le attività culturali, Soprintendenza per i beni archeologici dell'Etruria meridionale, 150-165.

Moretti Sgubini A.M. 2012, *Vulci*, in G. Nenci, G. Vallet (eds.), *Bibliografia Topografica della Colonizzazione Greca in Italia e nelle Isole tirreniche*, 21, 1082-1154.

Moretti Sgubini A.M. 2013-2014, *Ancora scoperte nei depositi per l'Orientalizzante di Vulci*, «Rendiconti della Pontificia Accademia di Archeologia Cristiana», 86, 145-198.

Moretti Sgubini A.M. 2015, *Tumuli a Vulci, tumuli a Tuscania*, in G.M. Della Fina (ed.), *La delimitazione dello spazio funerario in Italia dalla protostoria all'Età arcaica: recinti, circoli, tumuli, Atti del XXIII Convegno Internazionale di Studi sulla Storia e l'Archeologia dell'Etruria (Orvieto 2014)*, Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 23, 597-636.

Moretti Sgubini A.M. 2021, *Gli scavi di Francesco Mancinelli Scotti a Vulci: 1894-1895*, in M.C. Biella, J. Tabolli (eds.), *Lo strano caso di Francesco Mancinelli Scotti. Documenti e approfondimenti dal workshop internazionale "The Strange Case of Francesco Mancinelli Scotti. Merchant of Antiquities and Terracottas from Excavation"(Atti Roma 2018)*, Monza, Fondazione Luigi Rovati, 371-407.

Pocobelli G.F. 2007, *Il territorio suburbano di Vulci attraverso le evidenze aerofotografiche. Viabilità e necropoli*, «Archeologia Aerea», 2, 167-186.

Pocobelli G.F. 2010-2011, *Vulci ed il suo territorio: area urbana, necropoli e viabilità. Applicazioni di cartografia archeologica e fotogrammetria finalizzata*, in «Archeologia Aerea», 4-5, 117-126.

Ricciardi L. 1989, *La necropoli settentrionale di Vulci. Resoconto di un'indagine bibliografica e d'archivio*, «Bollettino d'Arte», 58, 27-52.

Sgubini Moretti A.M. 1994, *Ricerche archeologiche a Vulci (1985-1990)*, in M. Martelli (ed.), *Tyrrhenoi philotechnoi. Atti della giornata di studio organizzata dalla Facoltà di Conservazione dei Beni Culturali dell'Università degli Studi della Tuscia in occasione della mostra Il mondo degli Etruschi. Testimonianze dai Musei di Berlino e dell'Europa orientale (Viterbo 1990)*, Roma, Gruppo editoriale internazionale, 9-49.

ABSTRACT

The project 'Ritorno a Vulci' focuses on specific sectors of the south-eastern necropolis of Vulci, where excavations have been conducted since the 1800s. One of the primary objectives of this project is to create a dedicated WebGIS that will generate and manage new topographical documentation of the area. This will serve as a collaborative digital research platform, making document consultation more accessible and contributing to their preservation. Another significant digital project is 'Vulci nel Mondo' (VNM), which is conceived as a

Virtual Museum. The Authors illustrate this highly versatile tool as an online space to bring together a permanent collection on Vulci. The standard virtual tour model is built on two key aspects: navigation, providing access to the collections and other information on the museum's website, and interaction, simulating a physical space with which visitors can engage.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 81-98
doi 10.19282/ac.35.1.2024.07

PER UNA RICOSTRUZIONE DEI PAESAGGI FUNERARI IN ETRURIA SETTENTRIONALE: I CASI DI PISA E VOLTERRA

1. Pisa

1.1 *Introduzione*

La ricostruzione del paesaggio funerario di Pisa etrusca rappresenta una sfida di notevole complessità: da un lato, i resti di questo passato sono nella quasi totalità non più visibili e, dall'altro, il tema in generale non è stato finora affrontato in maniera metodica. L'occasione del workshop ha pertanto stimolato una ricerca sistematica, basata tuttavia su dati frammentari e informazioni non organizzate, spesso relegate a note a piè di pagina. Nonostante ciò, grazie alle potenzialità offerte dalla cartografia digitale, possiamo adesso osservare un quadro più organico e dettagliato di questa realtà.

Pur non potendo approfondire la storia degli studi, è tuttavia opportuno ricordare che i rinvenimenti principali si sono concentrati tra gli ultimi due decenni del secolo scorso e l'inizio del nuovo Millennio (Bruni, Severini 1997; Bruni 1998; Maggiani 2018a; Minozzi, Paribeni, Rizzitelli 2023). A questi si somma una produzione scientifica che ha progressivamente rivelato il ruolo di Pisa nello sfruttamento del marmo apuano e nell'introduzione di peculiari monumenti funerari (Ciampoltrini 1981; Bonamici 1985, 1990, 1991). Rilevanti ricerche hanno inoltre evidenziato l'apporto in loco di artigiani della Grecia continentale e insulare nella diffusione di modelli stilistici che qui si sono ibridati tra loro e con elementi locali, nonché la rielaborazione in loco di tali modelli (Bonamici 1991; Bruni 2004a; Maggiani 2004, 2018a), che proprio nella scultura funeraria tardo arcaica hanno raggiunto elevate manifestazioni artistiche.

Grazie a tutti questi contributi è oggi possibile apprezzare in un'ottica più ampia e inclusiva il paesaggio funerario di Pisa etrusca, nelle sue forme, nella sua evoluzione, nelle sue espressioni materiali, e da qui anche nei suoi aspetti più intangibili, simbolici e culturali.

1.2 *Obiettivi*

Gli obiettivi che intendevamo raggiungere attraverso la creazione di un GIS si riassumono nella volontà di centralizzare in un'unica piattaforma le testimonianze del paesaggio funerario di Pisa etrusca e collegarle a una tabella di attributi, e da qui determinare l'estensione delle aree necropolari, consentendo una visualizzazione chiara dei contesti funerari; valutare l'uso delle aree necropolari nella diacronia; identificare fenomeni di espansione o contrazione delle aree necropolari nella diacronia; verificare l'esistenza di spazi comuni organizzati in aree appositamente delimitate oppure in nuclei

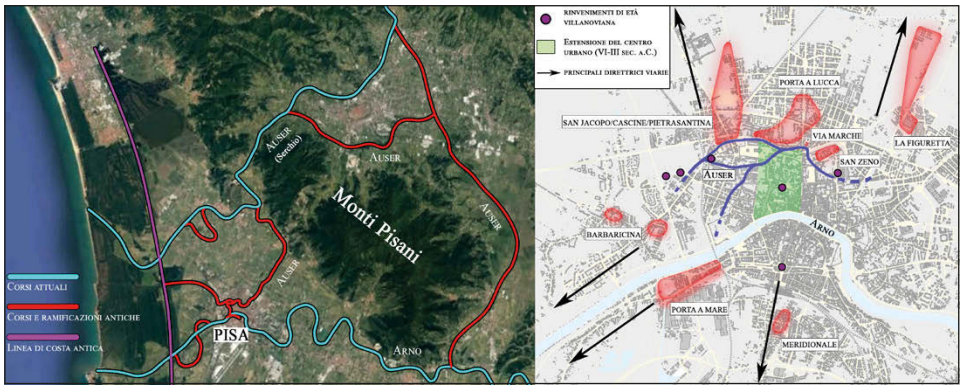


Fig. 1 – Il contesto geomorfologico e idrografico del territorio pisano in età etrusca; a destra, le aree necropolari di Pisa.

distinti di deposizioni legati a singole comunità o a gruppi familiari; censire le modalità di sepoltura.

In base ai dati raccolti, è possibile circoscrivere le aree necropolari nella porzione di territorio evidenziata nella Fig. 1. La proiezione sulla cartografia del corso dell'Auser, fiume oggi scomparso (Taccola 2022), permette di constatare chiaramente come le aree prescelte per le sepolture, sin da quelle più antiche, siano prevalentemente localizzate a N di questo corso o a S dell'Arno, i quali, ricordiamo, costituivano i limiti della città antica. La loro distribuzione sembra inoltre riflettere le direttrici principali che collegavano l'insediamento a N con la Versilia e la Garfagnana, a O con il litorale, mentre a S con i centri costieri dell'alto Tirreno e gli itinerari diretti ancora più a meridione.

1.3 *I monumenti funerari e le aree necropolari*

L'elemento che a Pisa costituisce un valido indicatore della presenza di una sepoltura etrusca è il cippo in marmo apuano o calcare locale, realizzato in varie forme tra la fine del VII e il II sec. a.C. (Ciampoltrini 1980, 1981; Bruni 1998). Esistono, inoltre, tipologie di *semata* più rare, come le statue funerarie (Bonamici 1985), o gli esemplari di maggiore impegno monumentale e artistico dell'ultimo trentennio del VI sec. a.C., ovvero i grandi cippi con leoni rampanti angolari (Maggiani 2004, 2014, 2018a) e i crateri marmorei (Maggiani 1993; Bonamici 2023).

Oltre a questi, le sepolture identificate e i resti di corredo pertinenti a tombe disfatte offrono informazioni tipologiche, cronologiche e spaziali di fondamentale importanza per la ricostruzione del paesaggio funerario di Pisa. Ripercorriamo brevemente queste evidenze in ordine cronologico.

Il sito villanoviano di via Marche (fine IX-inizi VII sec. a.C.) è una delle due

necropoli scavata in estensione. L'indagine stratigrafica ha rivelato l'esistenza di circa 40 sepolture a incinerazione in biconico o dolio collocate all'interno di pozzetti foderati di pietre, verosimilmente da riferire a una comunità insediata nelle vicinanze (Minozzi, Paribeni, Rizzitelli 2023). Singoli rinvenimenti sono inoltre segnalati nell'area nord-occidentale (Bruni 1998).

Le testimonianze di età orientalizzante si concentrano nel settore nord-occidentale, dove rimangono ancora oggi visibili le spoglie del c.d. tumulo principesco di San Jacopo, il secondo sito scavato in estensione. Il monumento, eretto tra fine VIII e il primo quarto del VII sec. a.C., non conteneva una sepoltura, ma i resti di un sacrificio in memoria del capostipite di un gruppo familiare. Al di sopra e intorno al tumulo sono distribuite incinerazioni maschili e femminili datate nel corso del VII sec. a.C. (Bruni 2006, 2009).

Resti di singole sepolture sono state individuate in via Gandhi e in via di Gello (Bruni 1998, 2009).

Nel passaggio tra l'età orientalizzante e la prima età arcaica si attivano nuovi spazi per le sepolture a La Figuretta, a N-E della città, e all'interno dell'area necropolare di Porta a Lucca, ovvero via Giovanni Pisano, Arena Anconetani e ancora via di Gello (Bruni, Severini 1997; Bruni 1998; Maggiani 2018a). Si registra anche una prima frequentazione del settore denominato convenzionalmente "meridionale", a S dell'Arno, che corrisponde approssimativamente a via Sant'Agostino (Bruni 1993; Bruni, Severini 1997). In questi casi, la presenza di deposizioni è suggerita dal rinvenimento di cippi globulari.

L'età arcaica e tardo-arcaica, quando il processo di formazione urbana è ormai concluso, offre il maggior numero di dati relativi alla frequentazione di aree necropolari. I nuclei principali sono sempre quelli ubicati a N dell'Auser (Bruni, Severini 1997; Bruni 2006; Maggiani 2018a). Ancora nella zona settentrionale, si attiva il sito di via San Zeno e l'area compresa tra la via e la chiesa di Santo Stefano, la chiesa di San Lazzaro vecchia e la chiesa di San Lazzaro nuova. Inoltre, si includono altre aree già interessate da sepolture di epoca villanoviana, ovvero via delle Cascine e via Pietrasantina, dove forse sorgeva un piccolo edificio destinato a culti ctoni (Bruni 1998). A O prende avvio la necropoli di Barbaricina-chiesa dell'Apollinare, il cui uso sembra interrompersi entro la metà del V sec. a.C. (Bruni 1997), analogamente al sito di via Sant'Agostino e di via San Jacopo, sigillato da un evento alluvionale intorno alla metà del secolo (Bruni 2006). In molti casi, la presenza di sepolture è indiziata dal rinvenimento di gruppi di cippi e di altri monumenti funerari rimossi in età romana (Maggiani 2018a), nonché da monumenti funerari reimpiegati (Ciampoltrini 1981, 1984; Bruni 1997, 2014).

Anche nel corso del V sec. a.C. si registrano numerose testimonianze, principalmente nella fascia settentrionale, ancora una volta sotto forma di gruppi di cippi e di altri monumenti funerari, oppure di resti di sepolture disfatte (Bruni, Severini 1997; Bruni 1998, 2004b; Maggiani 2018a).

Alla prima metà del IV sec. a.C. risalgono alcune sepolture e resti di corredi rinvenuti in un'area non chiaramente definita fuori dalla Porta a Mare (Bruni 2003). In età ellenistica le evidenze sono sempre maggiormente distribuite nel settore settentrionale (Bruni 2006). A questa si aggiunge un piccolo lotto di sepolture nel sito finora non frequentato di via Pancaldi a Barbaricina (Bruni 1997).

1.4 *Risultati*

I dati disponibili sono stati organizzati in una tabella strutturata secondo specifici attributi, per un totale di 250 record. Il campo principale, denominato "tipologia", identifica ogni singola evidenza archeologica e le assegna un ID univoco. Un campo specifico, nominato "LINK MOD", include, quando disponibile, il link a un WebGIS (https://digitallib.unipi.it/it/archivio/MOD-Mappa-Open-Data-archive/), da cui è possibile consultare in modalità open-access i dataset relativi a numerosi interventi archeologici nel contesto urbano di Pisa. Come risultato preliminare, quindi, tutte le testimonianze del paesaggio funerario della città sono state integrate nel sistema informativo relazionato con la tabella.

La difficoltà più significativa concerne il posizionamento puntuale dei record, poiché molte informazioni necessarie per ottenere una georeferenziazione adeguata si sono rivelate insufficienti. Pertanto, al fine di garantire risultati più attendibili possibili, si è optato per una classificazione in due livelli dell'affidabilità di posizionamento. Il primo livello ('*sì*') comprende tutte le evidenze *in situ* o comunque all'interno delle aree necropolari per le quali disponiamo di informazioni di prima mano, spesso incrociabili tra loro: relazioni degli scavatori con relativa documentazione grafica, indicazioni dei civici o dei perimetri specifici delle aree di rinvenimento (cantieri edilizi o di infrastrutture, etc.), fonti letterarie, cartografia storica, etc. Nel secondo livello ('*no*') rientrano gli oggetti conservati nei musei o nei depositi privi di indicazione certa di provenienza, e i singoli monumenti reimpiegati al di fuori delle aree di necropoli (Fig. 2a).

Data la natura di questi presupposti e di altre limitazioni già segnalate, rispondere alle domande successive potrebbe comportare risultati parziali o incompleti. Tuttavia, con i dati a disposizione è stato possibile determinare l'estensione delle aree necropolari con ragionevole precisione. Da qui, una volta georeferenziati e filtrati i record in base all'affidabilità di posizionamento, le analisi condotte hanno generato una mappa di concentrazione sincronica (Fig. 2b), dalla quale, applicando ulteriori filtri, è stato possibile simulare l'evoluzione del paesaggio funerario nella diacronia (Fig. 2c; https://www.youtube.com/watch?v=T_k9qjcWTXE).

In sintesi, la necropoli di via Marche è attiva esclusivamente in età villanoviana, momento in cui si sviluppa anche il settore nord-occidentale. Tra la

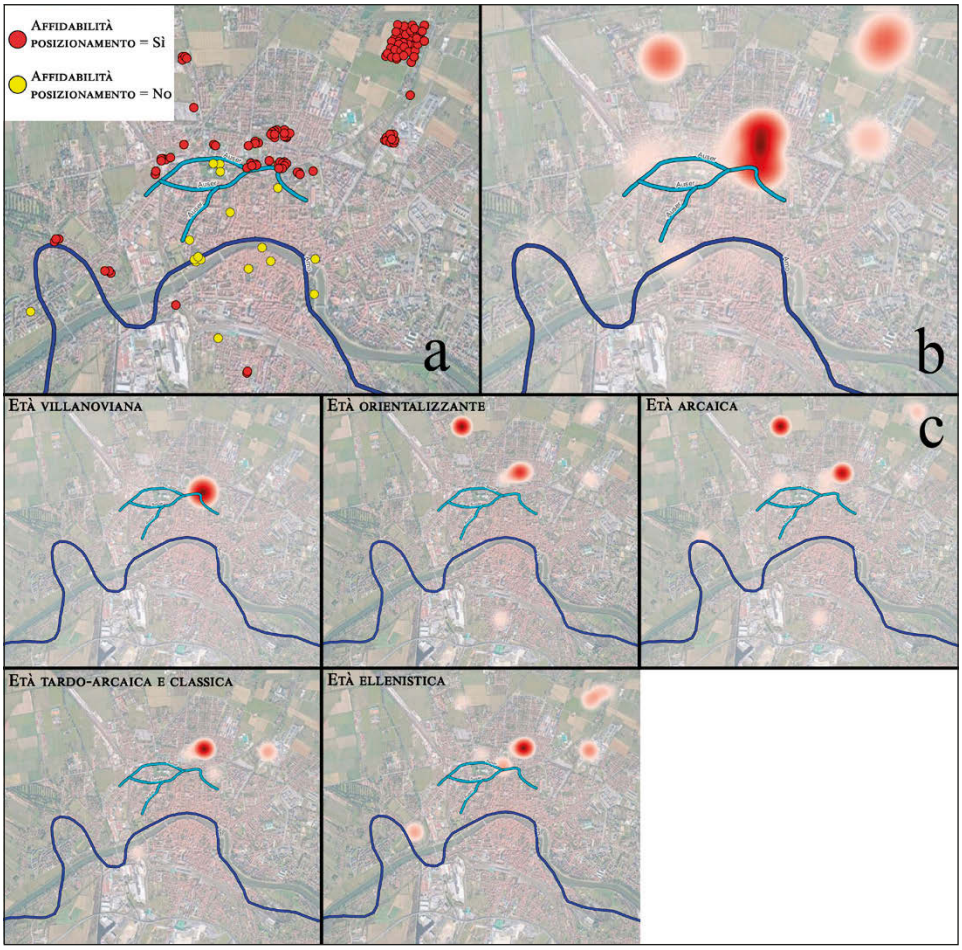


Fig. 2 – a) Localizzazione delle evidenze del paesaggio funerario di Pisa etrusca. b) Mappa di concentrazione sincronica delle evidenze del paesaggio funerario di Pisa etrusca. c) Mappa di concentrazione diacronica delle evidenze del paesaggio funerario di Pisa etrusca.

fine dell'Orientalizzante e l'inizio dell'età arcaica, si registra l'uso funerario delle aree di Porta a Lucca, La Figuretta e Meridionale, seguito poco dopo da San Zeno e Barbaricina. In età tardo-classica è attestata la frequentazione di Porta a Mare.

Dal grafico (Fig. 3a) emerge chiaramente come le principali aree sepolcrali settentrionali siano ininterrottamente utilizzate per tutta l'epoca etrusca. Altre, dopo periodi più o meno prolungati di abbandono come luogo di sepoltura, sono nuovamente, ma più sporadicamente, rioccupate in età ellenistica.

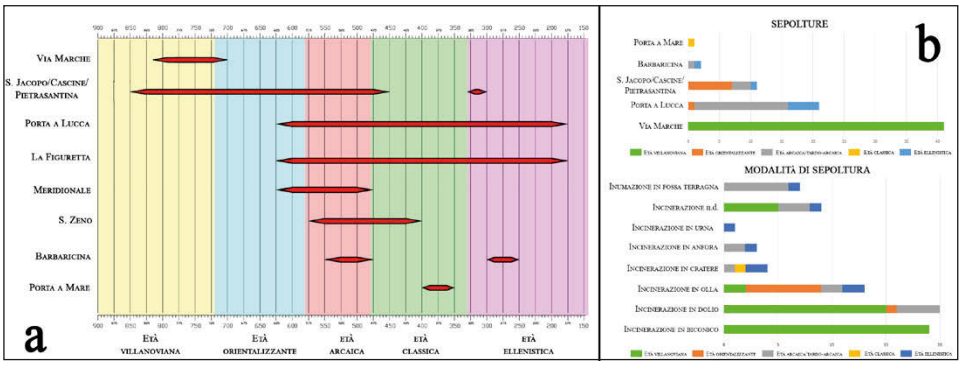


Fig. 3 – a) Grafico illustrativo della frequentazione delle aree necropolari nella diacronia. b) Grafico a barre con distribuzione delle sepolture rinvenute (in alto) e delle modalità di sepoltura (in basso) nella diacronia.

Osservando sempre il grafico si evince che alcuni settori, ovvero S. Jacopo/Cascine/Pietrasantina, quello Meridionale e Barbaricina, si disattivano quasi contemporaneamente nei decenni iniziali del V sec. a.C., forse a seguito di un evento alluvionale o esondativo riscontrato archeologicamente in più zone della città (Bruni 1998; Corretti, Vaggioli 2003; Maggiani 2018b; Taccola 2019; Minozzi, Paribeni, Rizzitelli 2023): l'assenza di testimonianze in questo periodo anche nella fascia lungo l'Auser della zona di Porta a Lucca sembra supportare questa ipotesi.

Dare risposta alle domande successive, ovvero identificare fenomeni di espansione o contrazione nella diacronia e stabilire l'esistenza di spazi comuni organizzati, è ancora più complicato. Come precedentemente menzionato, nella maggior parte dei casi si tratta di interventi di emergenza e di recuperi occasionali. Di conseguenza, la presenza o l'assenza di evidenze non è necessariamente correlata a fenomeni di espansione o contrazione. Ad esempio, nel caso di Porta a Lucca non è possibile parlare con certezza di una compiuta organizzazione dello spazio a causa dei danni inflitti da un'incontrollata opera di urbanizzazione che ha compromesso i depositi archeologici. Tuttavia, in base alle impressioni dirette degli scavatori, sembra talvolta possibile intravedere come lo spazio funerario fosse stato occupato da gruppi familiari che, in alcuni casi, dovevano delimitare anche fisicamente sul terreno la propria area cimiteriale (Bruni 1998). Per quanto riguarda la necropoli villanoviana di via Marche, è plausibile che servisse come luogo di sepoltura per una piccola comunità, ed è verosimile che alcune di queste deposizioni siano riconducibili a singoli nuclei familiari (Minozzi, Paribeni, Rizzitelli 2023). Anche le sepolture gravitanti sopra e intorno al tumulo orientalizzante di San Jacopo sono probabilmente da riferire ai membri di una stessa *gens*.

Relativamente più agevole è quantificare le modalità di sepoltura adottate

nella diacronia (Fig. 3b). Nella maggior parte si tratta di cremazioni entro pozzetto o sotto a piccolo tumulo di terra. A seconda dei periodi, come contenitore si utilizza il biconico, l'olla o il dolio. Il cinerario talvolta è protetto da un dolio e – in qualche caso – coperto da bacini di importazione ceretana (Bruni 2004b).

In alcune circostanze è attestata la sepoltura entro cratere di impasto locale (Bruni 1998; Maggiani 2018a) o entro vaso figurato di importazione (Bruni 1997); in due occorrenze di età arcaica è documentata la sepoltura entro anfora commerciale (Bruni 1997), ma non è da escludere che tale pratica possa continuare fino a età ellenistica (Bruni 2004b), mentre in un solo caso è nota una deposizione bisoma entro urna di calcare liscia tardo ellenistica (Bruni, Severini 1997). Conosciamo anche inumazioni in fossa terragna di età arcaica, concentrate nel sito di via di Gello (Bruni, Severini 1997).

In genere, i corredi, laddove rinvenuti, sono costituiti da vasellame e da pochi oggetti di ornamento personale.

Tra le sepolture note, tredici sono associate a segnacoli funerari: la più antica è un'incinerazione in dolio tardo-orientalizzante, coronata da una statua funeraria (Bruni 1998). In età arcaica e classica sono attestate sei deposizioni associate a cippi a clava di tipo B1 (Bruni, Severini 1997; Maggiani 2018a); un cippo a bulbo a una sepoltura a incinerazione (Bruni, Severini 1997); un cippo non specificato associato a incinerazione in olla e un cippo che imita la forma del tronco secco di due alberi a una sepoltura in dolio (Bruni, Severini 1997; Bruni 1998). All'età ellenistica si datano tre sepolture associate a cippi a clava di tipo B2 (Bruni 1997), tra qui quello più noto di *Thana Vipina* (Bruni 1998).

1.5 *Conclusioni*

Come più volte segnalato, nel realizzare questo progetto sono state affrontate numerose criticità, che hanno spesso condizionato il recupero dei dati. A ciò si somma la perdita di manufatti, ovvero la perdita dei dettagli di rinvenimento di manufatti disponibili ed esposti nei musei, o la duplicazione di informazioni. Nonostante tutto, l'impianto generale mantiene una propria validità e le tendenze intraviste sembrano adeguatamente supportate. Gli strumenti GIS hanno ricoperto un ruolo cruciale in termini di visualizzazione e analisi, contribuendo così a delineare un quadro difficile da osservare altrimenti.

In questo scenario a prima vista scoraggiante, è importante segnalare due novità emerse proprio da questa ricerca (Fig. 4a-b). La prima e più importante ha consentito di risolvere l'ambiguità riscontrabile nella letteratura archeologica sull'esatta ubicazione della chiesa di San Lazzaro vecchia, distrutta nel '600 per far spazio all'omonimo bastione oltre le mura a N del Camposanto monumentale (Noferi 2002), dalla costruzione del quale vennero alla luce sepolture in anfora e cippi traslati successivamente nella chiesa di San Lazzaro nuova (Grava 2016). La seconda concerne un'integrazione

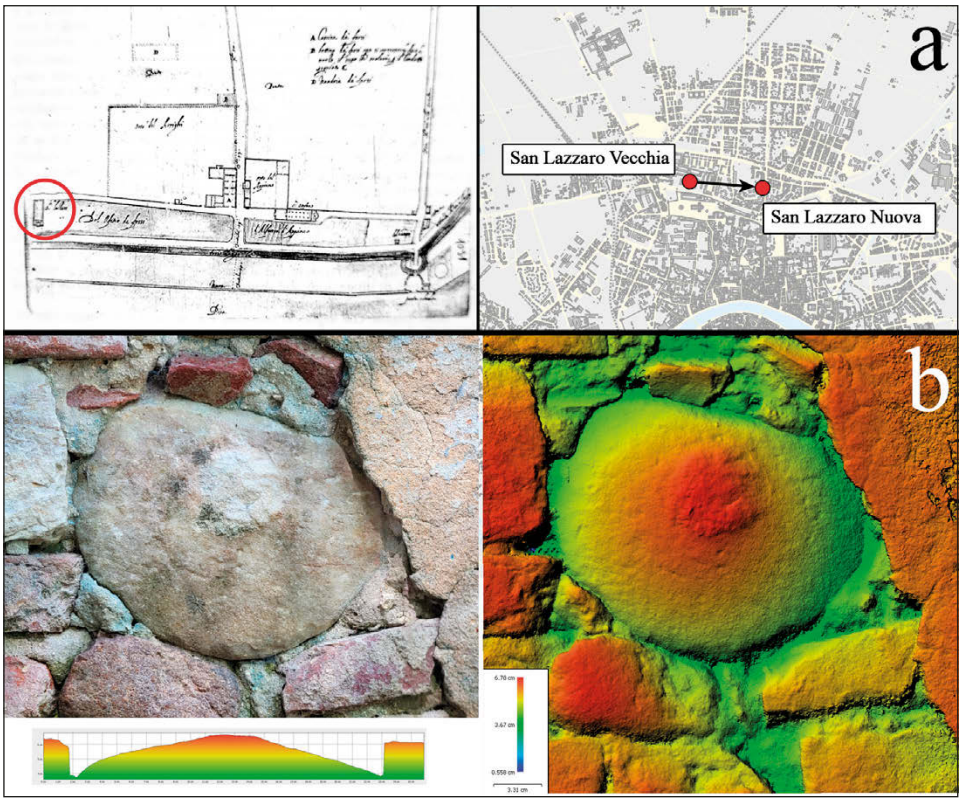


Fig. 4 – a) Ubicazione della chiesa di San Lazzaro Vecchia (ASP, *Fiumi e Fossi*, 80, c. 1091, da Noferi 2002). b) Il cippo a clava tipo B1 reimpiegato nel muro di cinta dell'Orto Botanico (ortofoto, sezione e DEM).

al censimento dei cippi, con l'identificazione di un nuovo esemplare a clava B1 reimpiegato nel muro di cinta dell'Orto Botanico.

E.T.

2. Volterra

2.1 *Introduzione*

Rispetto al panorama ancora in parte discontinuo offerto dalle testimonianze funerarie dell'insediamento pisano, la ricostruzione del paesaggio funerario di Volterra etrusca offre un quadro decisamente consolidato e ricco di informazioni. A partire dai decenni centrali del Settecento le frenetiche attività di scavo condotte nel suburbio della città hanno portato ad acquisire, pur

con modalità ed attendibilità alquanto diverse a seconda delle circostanze di rinvenimento, un numero significativo di dati relativi alle strutture tombali e ai materiali archeologici ad esse associati (Fiumi 1961, 1977; Bonamici, Cateni, Rosselli 2012), ai quali si sono aggiunti progressivamente i risultati delle ricerche più recenti. Già nel 1976 E. Fiumi, raccogliendo l'insieme dei rinvenimenti susseguitisi fino ai suoi tempi, compilò una prima carta archeologica nella quale localizzò e tentò di inquadrare cronologicamente le aree funerarie di epoca etrusca che circondano il centro abitato (Fiumi 1976). Anni dopo, tale carta è stata aggiornata e ulteriormente scandita per fasi da A. Maggiani in occasione del Convegno di Studi Etruschi del 1995 e in essa confluirono sia i risultati della revisione degli scavi noti sia i nuovi rinvenimenti, relativi prevalentemente al periodo etrusco più antico fino all'età arcaica (Maggiani 1997). L'insieme delle acquisizioni ha consentito di affinare la conoscenza dell'estensione cronotopografica delle grandi aree necropolari volterrane (Portone, Badia-Guerruccia, Le Ripaie, Ulimeto-Poggio alle Croci), con l'aggiunta di numerosi nuclei isolati, esterni ai distretti funerari di maggiore ampiezza. Inoltre, tra il 2003 e il 2005 la Provincia di Pisa, il Museo Guarnacci e l'allora Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana hanno promosso una campagna di ricognizioni mirate al censimento delle strutture funerarie ancora visibili. Tale raccolta di dati sul campo, insieme all'analisi dettagliata della bibliografia esistente, ha fornito un notevole apporto alla redazione della Carta Archeologica di Volterra, attualmente in fase di completamento ad opera della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Pisa e Livorno (Sorge 2021).

2.2 *Obiettivi e strumenti*

L'occasione di questo incontro di studio ha offerto l'opportunità di riunire l'intero complesso di dati finora noti sulle necropoli volterrane, così da giungere ad una perimetrazione il più possibile esatta dell'estensione delle aree con presenza di sepolture, e di costruire una piattaforma aggiornata di informazioni sulle strutture tombali attraverso l'elaborazione GIS. Le tabelle relazionali, suddivise per necropoli, sono state compilate considerando tutte le occorrenze edite o rilevate e inserendo i dati relativi alla tipologia tombale, al rituale funerario, al numero di sepolture, oltre alla cronologia e bibliografia. Un primo risultato del lavoro è una mappa, distinta per fasi, elaborata da M. Grava, che fornisce una visualizzazione combinata dell'ubicazione e della cronologia delle strutture, con possibilità di interrogare la piattaforma con apposite query sugli aspetti tafonomici e sull'entità delle sepolture e dei materiali associati. Nel corso dell'inserimento dei dati si è rilevato che il parametro che condiziona maggiormente la qualità dell'elaborazione GIS delle necropoli riguarda la possibilità di posizionare più o meno puntualmente il record, ossia il grado di attendibilità dell'ubicazione delle strutture. Da questo punto di vista, infatti, le strutture tombali note a Volterra sono classificabili in almeno

tre diversi gradi di affidabilità, che differenziano le possibilità di utilizzazione dei dati inseriti all'interno del GIS. Il livello più alto riguarda le occorrenze ad oggi ancora visibili oppure scavate di recente, ma non più visibili, registrate in maniera puntuale, o con un grado di approssimazione minimo, che forniscono una georeferenziazione esatta. Ci sono poi strutture note da fonti bibliografiche, posizionabili sulla carta con un ampio grado di certezza anche se ormai non più identificabili sul terreno, perché situate presso edifici, strade o elementi geomorfologici ben riconoscibili. Altre numerose occorrenze, citate in bibliografia in maniera piuttosto vaga, sono localizzabili in una zona più o meno circoscritta ma a livello approssimativo, risultando meno utili per uno studio analitico della topografia della necropoli. Pur con un differente livello di affidabilità, segnalato nelle tabelle relazionali, tutte le strutture che rientrano in questi parametri sono state inserite singolarmente nel database, con simboli diversi a seconda delle fasi cronologiche. Inoltre, una notevole messe di dati è costituita dai rinvenimenti effettuati prevalentemente durante il Settecento e l'Ottocento, spesso fruttuosi ma privi di informazioni utili ad una loro localizzazione, indicati generalmente con il nome della località, del podere o del suo proprietario. Appartengono a questa categoria, ad esempio, i resoconti dei rinvenimenti pubblicati dal 1740 nelle *Novelle Letterarie* curate da Giovanni Lami, le notizie riportate nel «Bullettino dell'Instituto di Corrispondenza Archeologica» degli anni 1829-1833 (scavi di Giusto Cinci) e degli anni 1857-1874 (scavi del Museo Guarnacci e di privati) o la sequenza dei materiali inseriti nel *Registro dei donativi e acquisti di antiquaria* compilato dai conservatori del Museo Guarnacci tra il 1731 e il 1899, tutti ricchi di dettagli relativi ai reperti acquisiti nelle collezioni civiche, ma assai laconici riguardo all'ubicazione delle aree di scavo. Al momento, essi sono stati inseriti nelle mappe di fase mediante aree circolari sfumate centrate sui toponimi indicati come luoghi di rinvenimento, così da renderli evidenti e poterli considerare in maniera consapevole a fianco dei record indicati puntualmente.

2.3 *Risultati*

Il database così costruito consente di seguire l'organizzazione del paesaggio funerario volterrano, segnalando le aree che presentano diversi gradi di densità e continuità/discontinuità di occupazione durante i secoli.

Agli esordi dell'età del Ferro (Villanoviano I) le sepolture assommano ad un numero complessivamente esiguo, concentrate nella parte più alta del colle o sui pendii immediatamente sottostanti (Fig. 5a, triangolo giallo). La totalità delle occorrenze è localizzata nella necropoli delle Ripaie (Fig. 5b), sul versante meridionale, ed il rito esclusivo è quello incineratorio (Cateni 1981), ad eccezione del recente rinvenimento di una sepoltura a fossa isolata presso la Piazzetta dei Fornelli (Fig. 5c), datata nella seconda metà del IX sec. a.C. (Pacciani 2021).

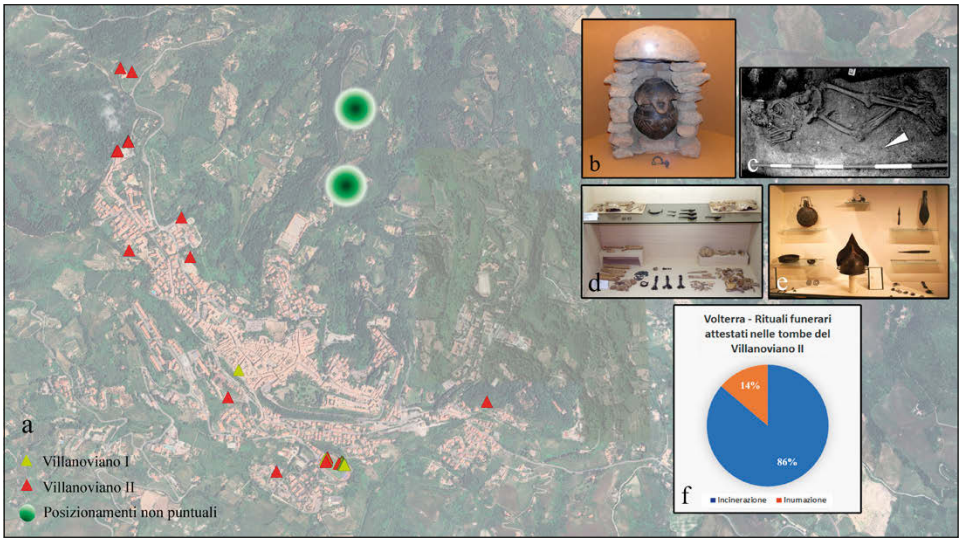


Fig. 5 – a) Volterra. Tombe del Villanoviano I e II. b) Tomba di IX sec. a.C. delle Ripaie (foto dell'Autore). c) Tomba della Piazzetta dei Fornelli (da Pacciani 2021). d) Tombe ad inumazione della Guerruccia (foto dell'Autore). e) Tomba del Guerriero di Poggio alle Croci (foto dell'Autore). f) Grafico dei rituali funerari nel Villanoviano II.

Con il passaggio alla II fase del Villanoviano (Fig. 5a, triangolo rosso) le sepolture mantengono i caratteri tipologici del periodo precedente (Rosselli 2021) con la prevalenza del rituale incineratorio (Fig. 5f), ma con un aumento progressivo dell'uso della tomba a fossa (Fig. 5d), documentato essenzialmente nella necropoli nord-occidentale della Guerruccia (Nascimbene 2012). La distribuzione delle tombe di questo periodo rivela l'attivazione di nuovi nuclei sepolcrali in zone periferiche frequentate in precedenza solo sporadicamente e mostra l'inizio dell'occupazione diffusa dell'intero pianoro volterrano, che appare ora controllato da nuovi nuclei emergenti, come testimoniano le tombe a cremazione isolate, con corredi di altissimo livello, che ne circondano i margini: la tomba Manetti e quella di Badia all'estremità nord-occidentale, la tomba del Guerriero di Poggio alle Croci (Cateni 1998) sul versante orientale (Fig. 5e), la tomba dell'Ortino su quello meridionale.

La medesima ampia dislocazione delle sepolture singole e l'uso promiscuo di inumazione e incinerazione si mantengono senza sostanziali mutamenti durante la successiva età orientalizzante (Fig. 6a, rombo arancione), fino all'avanzata seconda metà del VII sec., quando si assiste all'introduzione delle tombe a camera (Fig. 6a, rombo giallo), costruite o scavate nella roccia con soluzioni architettoniche di diverso impegno (Fig. 6b), che si evolvono rapidamente fino alla manifestazione delle tombe a tumulo (Fig. 6c), fenomeno

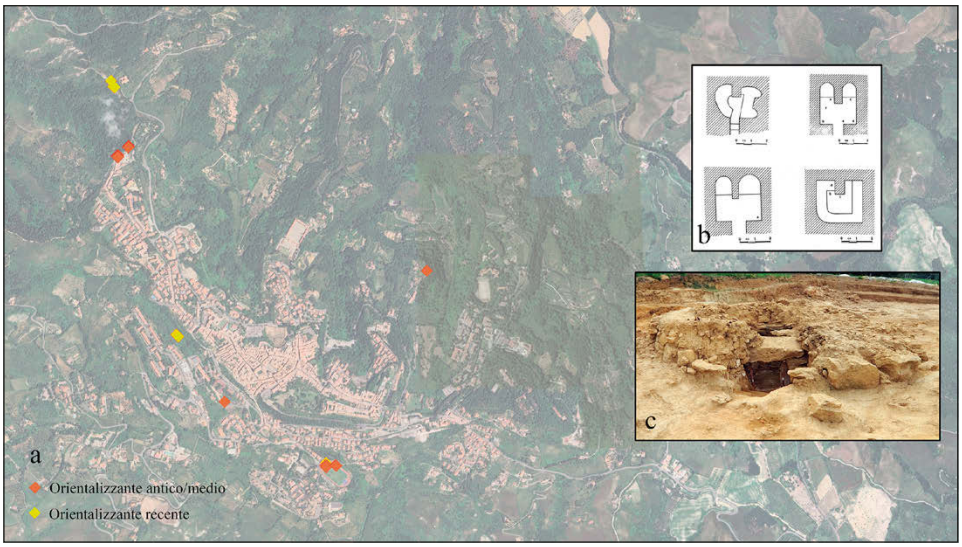


Fig. 6 – a) Volterra. Tombe dell'Orientalizzante antico/medio e recente. b) Tombe a camera della Badia (da Fiumi 1972). c) Tumulo 1 delle Colombaie (da Rosselli, De Mizio, Riccomini 2023).

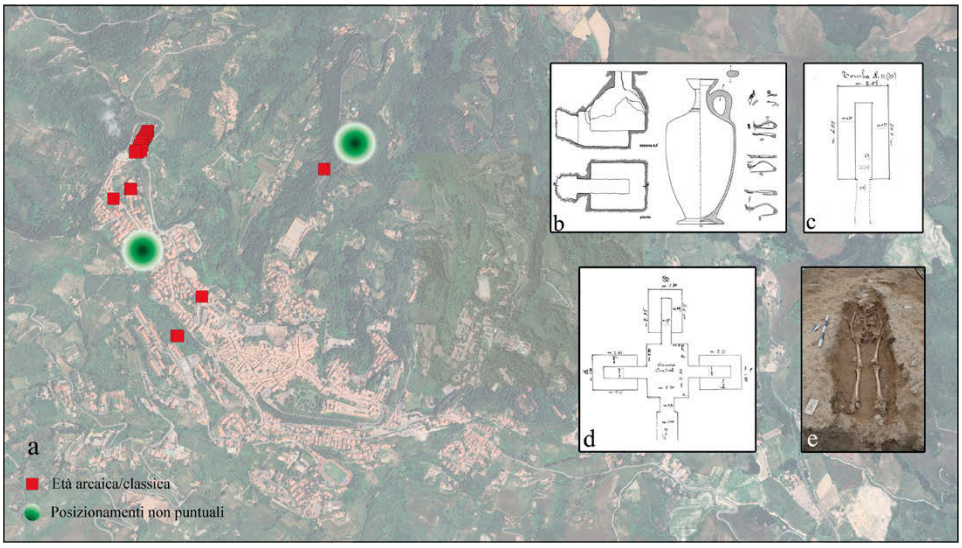


Fig. 7 – a) Volterra. Tombe di età arcaica/classica. b) Tomba a camera Bruci (da Cateni 2007). c) Tomba a camera della Guerruccia (da Rosselli 2010). d) Tomba a camera multipla della Guerruccia (da Rosselli 2010). e) Tomba a fossa delle Colombaie (foto dell'Autore).

che evidenzia la definitiva affermazione delle élites familiari come elemento fondante del corpo sociale, riflessa anche nelle nuove scelte monumentali in ambito funerario (Rosselli, De Mizio, Riccomini 2023).

Tra l'età arcaica e classica (Fig. 7a, quadrato rosso) la tomba a camera è ormai la forma di sepoltura quasi esclusiva e diffusa su tutto il pianoro ed ospita più membri di gruppi familiari, per quanto le occorrenze documentate non offrano in nessun caso contesti integri e non sia possibile fare una stima affidabile del numero delle deposizioni al loro interno. L'ubicazione delle tombe di questo periodo rende ad ogni modo evidente la loro distribuzione in un'ampia area esterna all'abitato e al circuito delle mura arcaiche, che cingono l'area urbana dalla metà del VI sec. La formula costruttiva prevede ipogei dotati di una sola camera circondata da banchine (Fig. 7b-c) oppure di una pianta articolata con atrio e camere multiple, fino ad un numero di 4 (Fig. 7d). Due sepolture ad inumazione in fossa sono ancora attestate nella necropoli delle Colombaie, ubicate nelle immediate adiacenze delle tombe a tumulo (Fig. 7e).

Il numero delle strutture tombali ascrivibili all'età ellenistica è senza dubbio il più consistente ed è chiaro indizio del periodo di forte rigoglio della città sotto l'aspetto economico, demografico e edilizio. Le necropoli individuano adesso aree ben circoscritte e si allungano sui pendii calcarei dei versanti periferici della città, mentre appaiono decisamente rare le tombe isolate (Fig. 8a, cerchio azzurro). Le soluzioni costruttive adottate con maggiore frequenza sono la camera circolare con pilastro centrale (ad es. Cateni 2007) e la camera quadrangolare

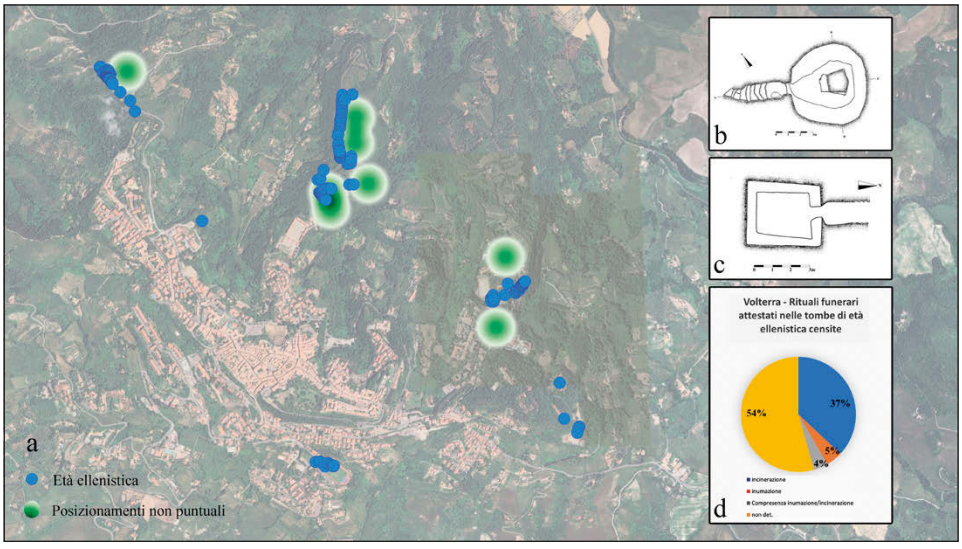


Fig. 8 – a) Volterra. Tombe di età ellenistica. b) Tomba Inghirami (da Cateni 2007). c) Tomba a camera di Badia (da Fiumi 1972). d) Grafico dei rituali funerari in età ellenistica.

(ad es. Fiumi 1972; Cristofani 1973), nelle quali trovano posto numerosi membri familiari appartenenti anche a più generazioni (Fig. 8b-c); altrettanto numerose sono le semplici tombe a nicchiotto, che accolgono generalmente un nucleo familiare ristretto o un singolo individuo (Rosselli 2018). Riguardo alla scelta del rituale funerario (Fig. 8d), il dato non è definito per oltre la metà delle occorrenze registrate; nei casi accertati, il rito prevede per la maggior parte sepolture a cremazione, mentre sono minori le attestazioni esclusive di inumazioni o di rituali misti all'interno della stessa struttura tombale.

Inoltre, l'elaborazione della carta di distribuzione degli ipogei di epoca ellenistica consente, relativamente ad alcune aree sepolcrali come quelle del Portone e di Ulimeto, di ricavare informazioni, ancorché preliminari, sulla pianificazione topografica delle necropoli. La struttura geomorfologica del settore nord-orientale del colle volterrano presenta crinali tendenzialmente ampi e allungati, ai cui lati si aprono versanti scoscesi che scendono verso le sottostanti vallate. In entrambe le aree in esame i nuclei principali del sepolcreto si conformano con una certa regolarità a queste propaggini collinari e si distribuiscono in una sequenza di tombe che seguono l'andamento dei loro margini laterali. Gli ipogei di maggiori dimensioni e più articolati, verosimilmente appartenenti alle *gentes* più facoltose, sono invece scavati nei terrazzi pianeggianti che regolarizzano la sommità di questi declivi, seguendo le variazioni del pendio e suggerendo l'impressione di una organizzazione spaziale pianificata.

2.4 *Prospettive*

Per ottemperare ad uno degli aspetti del workshop, che prevede un confronto sull'ideazione di applicazioni funzionali allo studio delle evidenze funerarie, si richiama un'esperienza di ricostruzione 3D in ambiente virtuale immersivo di alcuni ipogei di Volterra, realizzata nel 2019 allo scopo di affiancare ai tradizionali strumenti di analisi l'apporto delle nuove tecnologie di rappresentazione e visualizzazione. La ricostruzione di sei tombe a camera di epoca arcaica-classica ed ellenistica, tra le più rappresentative ed accessibili delle aree funerarie di Volterra, dislocate nelle necropoli di San Giusto, Portone ed Ulimeto, è il risultato della collaborazione instaurata tra il Laboratorio di Disegno e Restauro del Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere e il Laboratorio DreamsLab della Scuola Normale Superiore. La ricerca si proponeva di creare un sistema di visualizzazione in ambiente virtuale facilmente fruibile per un ampio numero di utenti, usando dispositivi mobili economici e di immediato utilizzo (per l'illustrazione dettagliata della procedura operativa utilizzata, delle funzioni dell'applicazione e delle possibilità di fruizione dei risultati, si rimanda a Taccola *et al.* 2021 e al link: https://www.youtube.com/watch?v=Zpq-HKuI4RU).

Il funzionamento dell'applicazione prevede che l'utente possa selezionare a propria scelta le tombe caricate sulla mappa e possa muoversi liberamente

all'interno dei vani acquisendo ulteriori dati quali misure, distanze, coordinate, e ottenendo la possibilità di riprodurre la sequenza di scavo rimuovendo o accumulando le unità stratigrafiche identificate durante l'indagine archeologica e di ricavare approfondimenti tematici sui reperti rinvenuti all'interno della tomba.

L.R.

3. Nota metodologica

L'impiego della cartografia digitale prodotta dalle pubbliche amministrazioni è stato, ai fini di questa ricerca, indispensabile per tre ordini di motivi. In primo luogo, questi dati amministrativi sono stati utilizzati come basemap di riferimento per la vettorializzazione delle fonti archeologiche derivanti dalle indagini eseguite, secondariamente, per incrociare i dati raccolti nel nostro geodatabase con quelli odierni, e infine, per la realizzazione di output pubblicati su supporti cartacei e come metafonti da poter pubblicare in forma di WebGIS (piattaforma Lizmap: https://www.lizmap.com/en/). Possiamo pertanto affermare che la cartografia numerica prodotta dalle amministrazioni che abbiamo utilizzato sia la rappresentazione delle informazioni – elementi geografici e fisici – che costituiscono il mondo reale. Un layer amministrativo è quindi, di fatto, il risultato della scomposizione di una porzione del territorio in un elemento geografico puntuale, lineare o poligonale.

La normativa INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community), istituita il 25 aprile 2007 (L. 108), oltre a disciplinare i modi di produzione dell'informazione geografica delle Pubbliche Amministrazioni della UE, ha sancito, di fatto, con quali regole i soggetti pubblici costruttori d'informazione debbano mettere a disposizione della comunità i propri dati. Queste norme europee sono ancor'oggi in via d'esecuzione in taluni Stati membri; quel che però vale la pena qui evidenziare è che, mentre per ciò che riguarda la standardizzazione dei modi di produzione dell'informazione geografica, pur con difficoltà ed elevati costi, le operazioni si stanno portando avanti, molto più complesso pare l'aspetto che si riferisce alla diffusione dei dati.

Dato questo quadro generale e al netto della produzione dei geodatabase che abbiamo creato in cui sono stati raccolti i dati di scavo e bibliografici, vale la pena riflettere sul fatto che questi nostri prodotti debbano essere di necessità corredati di metadati che siano utili, in un ideale futuribile, a poter consentire un dialogo con quelli prodotti in altre aree geografiche, pur se organizzati in forme e modi differenti. Se infatti l'impiego dei GIS è oramai abbondantemente uniformato sul come costruire i geodata, quello che appare evidente è la mancanza di standard comuni nei modi coi quali popolare le banche dati. Una necessità impellente che non può più essere elusa da parte di chi impiega questi applicativi per finalità che non siano meramente quelle di rappresentazione, ma che piuttosto guardino a questi geodatabase geografici quali strumenti

da interrogare per risolvere interrogativi o leggere nuove informazioni. Ecco allora che per far dialogare tra loro questi dati regionali, che ovviamente non possono essere ricostruiti ex novo secondo un qualsivoglia modello (sarebbe troppo costoso in termini di tempo mettere mano a ciò che già esiste), diventa necessario individuare fattori di standardizzazione che dovranno essere immessi in banche dati già esistenti e che comprendano, oltre ai dati originari, dei dati di standardizzazione e dei metadati (file di lettura di questi DBT).

Per quanto concerne il presente lavoro, operando su due aree geografiche distanti tra loro e disponendo di informazioni a grande scala, si è optato per la costruzione di due distinte banche dati geografiche, una per Pisa, l'altra per Volterra. Alla vettorializzazione dei dati attraverso l'uso di primitive geometriche puntuali effettuata con l'applicativo Quantum GIS - per tale scopo abbiamo impiegato i dati di base distribuiti dal servizio cartografico della Regione Toscana - sono seguite le più classiche operazioni di join tabellare per poter collegare le serie informative elaborate in fase di rilievo e studio archeologico con quelle di attributi del nostro geodatabase. A questa fase, nella quale per Pisa sono stati recuperati anche i rilievi lineari riguardanti gli antichi percorsi dei fiumi Arno e Auser, è seguita la fase di export di cartogrammi e soprattutto la predisposizione di un WebGIS, elaborato grazie al plugin Lizmap di QGIS, col quale si sono pubblicate, in forma dinamica, le due banche dati geografiche.

M.G.

Emanuele Taccola, Lisa Rosselli, Massimiliano Grava
Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere
Università di Pisa
emanuele.taccola@unipi.it, lisa.rosselli@unipi.it, massimiliano.grava@unipi.it

BIBLIOGRAFIA

Bonamici M. 1985, *L'uso del marmo nell'Etruria settentrionale. Le statue funerarie*, in A. Maggiani (ed.), *Artigianato artistico in Etruria: l'Etruria settentrionale interna in età ellenistica*, Catalogo della mostra, Milano, Electa, 123-137.

Bonamici M. 1990, *Il marmo lunense in epoca preromana*, in E. Dolci (ed.), *Il marmo nella civiltà romana. La produzione e il commercio. Atti del Seminario (Carrara 1989)*, Lucca, Internazionale marmi e macchine, 84-101.

Bonamici M. 1991, *Nuovi monumenti di marmo dall'Etruria settentrionale*, «Archeologia Classica», 43, 795-817.

Bonamici M. 2023, *Cratere etrusco di marmo*, in P. Desantis, E. Govi, V. Nizzo, G. Sassatelli, T. Trocchi (eds.), *Spina Etrusca. Un grande porto nel Mediterraneo*, Catalogo della mostra, Monteriggioni, ARA, 122.

Bonamici M., Cateni G., Rosselli L. 2012, *Volterra*, in *Bibliografia topografica della colonizzazione greca in Italia e nelle isole tirreniche, 21*, Pisa-Roma-Napoli, 1023-1070.

Bonamici M., Sorge E. 2021 (eds.), *Velathri Volaterrae. La città etrusca e il municipio romano*, *Atti del Convegno di Studi (Volterra 2017)*, Roma, Giorgio Bretschneider Editore.

Bruni S. 1993, *Prolegomena a Pisa etrusca*, in S. Bruni (ed.), *Pisa. Piazza Dante: uno spaccato della storia pisana. La campagna di scavo 1991*, Pisa, Cassa di Risparmio, 23-94.

Bruni S. 1997, *Materiali per Pisa etrusca. 2. Resti di corredi di età tardo classica ed ellenistica dalla necropoli occidentale*, Contributi alla scuola di Specializzazione in Archeologia dell'Università degli Studi di Pisa, 1, 109-130.

Bruni S. 1998, *Pisa etrusca. Anatomia di una città scomparsa*, Cinisello Balsamo, Longanesi.

Bruni S. 2003, *L'età classica*, in Tangheroni 2003, 364-367.

Bruni S. 2004a, *Presenze greche a Pisa*, Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 11, 227-269.

Bruni S. 2004b, *Nuovi materiali per Pisa etrusca*, in S. Bruni, T. Caruso, M. Massa (eds.), Archæologica Pisana, *Scritti per Orlanda Pancrazzi*, Pisa, Giardini Editori e Stampatori, 39-49.

Bruni S. 2006, *Il complesso monumentale di via San Jacopo*, in P. Floriani, S. Bruni (eds.), *La tomba del Principe. Il tumulo etrusco di via San Jacopo*, Mirabilia pisana, 18, Pisa, ETS, 11-48.

Bruni S. 2009, *Rituals and ideology of the orientalizing aristocracies: Pisa and the origins of the* funus imaginarium, in J. Swaddling, P. Perkins (eds.), *Etruscan by Definition. Proceedings of the Colloquium in Honor to Sybille Haynes (London 2006)*, London, British Museum Press, 74-78.

Bruni S. 2014, *La domus nobilium de Balneo e la* pera *di San Lorenzo de Kinthica. Una nota sul reimpiego di materiali etruschi a Pisa*, in S. Bruni (ed.), Concordi lumine maior. *Scritti per Ottavio Banti*, Pisa, ETS, 13-43.

Bruni S., Severini F. 1997, *Problemi sulle presenze etrusche nella Toscana nordoccidentale: i dati delle necropoli di Pisa*, in *Aspetti della cultura di Volterra etrusca fra l'età del Ferro e l'età ellenistica, Atti del XIX Convegno di Studi Etruschi ed Italici (Volterra 1995)*, Firenze, Leo S. Olschki Editore, 559-596.

Cateni G. 1981, *La necropoli villanoviana delle Ripaie a Volterra*, in *L'Etruria mineraria, Atti del XII Convegno di Studi Etruschi e Italici (Firenze 1979)*, Firenze, Leo S. Olschki Editore, 193-198.

Cateni G. 1998, *Volterra. La Tomba del Guerriero di Poggio alle Croci*, Firenze, Edizioni IFI.

Cateni G. (ed.) 2007, *Etruschi di Volterra. Capolavori da grandi musei europei*, Catalogo della mostra, Milano, Federico Motta Editore.

Ciampoltrini G. 1980, *I cippi funerari della bassa e media Valdera*, «Prospettiva», 21, 74-82.

Ciampoltrini G. 1981, *Segnacoli funerari tardoarcaici di Pisa*, «Studi Etruschi», 49, 31-39.

Ciampoltrini G. 1984, *Materiali etruschi*, in S. Settis (ed.), *Camposanto Monumentale di Pisa. Le Antichità*, II, Modena, Edizioni Panini, 63-67.

Corretti A., Vaggioli M.A. 2003, *Pisa, via Sant'Apollonia: secoli di contatti mediterranei*, in Tangheroni 2003, 57-63.

Cristofani M. 1973, *Tombe ellenistiche nella necropoli del Portone (scavi 1970)*, «Notizie degli Scavi di Antichità», Suppl., 246-272.

Fiumi E. 1961, *La «facies» arcaica del territorio volterrano*, «Studi Etruschi», 25, 253-292.

Fiumi E. 1972, *Volterra. Gli scavi degli anni 1960-1965 nell'area della necropoli di Badia*, «Notizie degli Scavi di Antichità», 52-136.

Fiumi E. 1976, *Volterra etrusca e romana*, Pisa, Pacini Editore.

Fiumi E. 1977, *La collezione di urne del Museo Guarnacci nel XVIII e XIX secolo*, in *Corpus delle Urne Volterrane 2.1*, Firenze, Centro Di, 11-24.

Grava M. 2016, *Iacopo Arrosti. Croniche di Pisa*, Pisa, Pacini Editore.

Maggiani A. 1993, *Cinerari arcaici di marmo da Pisa*, «Rassegna di Archeologia», 17, 34-41.

Maggiani A. 1997, *Volterra dalla prima età del Ferro al V secolo a.C. Appunti di topografia urbana II. Dal Villanoviano II all'età tardo arcaica*, in *Aspetti della cultura di Volterra etrusca fra l'età del Ferro e l'età ellenistica, Atti del XIX Convegno di Studi Etruschi ed Italici (Volterra 1995)*, Firenze, Leo S. Olschki Editore, 57-92.

Maggiani A. 2004, *I Greci nell'Etruria più settentrionale*, Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 11, 149-180.

Maggiani A. 2014, *Semata marmorei con leoni da Pisa*, «Rassegna di Archeologia», 38, 34-41.

Maggiani A. 2018a, *Cippi pisani*, in S. Steingräber (ed.), *Cippi, stele, statue-stele e semata. Testimonianze in Etruria, nel mondo italico e in Magna Grecia dalla prima Età del Ferro fino all'Ellenismo. Atti del Convegno Internazionale (Sutri 2015)*, Pisa, ETS, 81-97.

Maggiani A. 2018b, *Un emporikòs oikos a Pisa*, Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 25, 451-473.

Minozzi S., Paribeni E., Rizzitelli C. (eds.) 2023, *Pisa villanoviana. La necropoli di via Marche*, Pisa, Pisa University Press.

Nascimbene A. 2012, *La necropoli della Guerruccia a Volterra nel quadro dell'età del Ferro dell'Etruria settentrionale*, Roma, Fabrizio Serra Editore.

Noferi M. 2002, *Due disegni del secolo XVII relativi a zone della città di Pisa*, «Bollettino Storico Pisano», 71, 205-215.

Pacciani E. 2021, *La tomba ad inumazione dallo scavo di Piazzetta dei Fornelli a Volterra*, in Bonamici, Sorge 2021, 93-103.

Rosselli L. 2010, *Ezio Solaini e lo scavo delle tombe a camera della Guerruccia a Volterra*, «Quaderni del Laboratorio Universitario Volterrano», 13, 247-257.

Rosselli L. 2018, *La necropoli delle Ripaie di Volterra. Le tombe di età ellenistica e romana*, Pisa, Pisa University Press.

Rosselli L. 2021, *Volterra tra il periodo tardo-villanoviano e l'Orientalizzante: testimonianze dalla necropoli delle Ripaie*, in Bonamici, Sorge 2021, 105-134.

Rosselli L., De Mizio C., Riccomini M.V. 2023, *Abitare e seppellire a Volterra tra il periodo tardo-villanoviano e l'Orientalizzante*, in F. Fabiani, S. Genovesi, F. Ghizzani Marcìa (eds.), *Costruire gli spazi dell'aggregazione. Le dinamiche del confronto dall'antichità al medioevo*, Pisa, Pisa University Press, 39-59.

Sorge E. 2021, *Materiali per la Carta Archeologica della città di Volterra*, in Bonamici, Sorge 2021, 419-435.

Taccola E. 2019, *Uno sguardo su Pisa ellenistica da piazza del Duomo. Lo scavo del saggio D 1985-1988*, Oxford, Archaeopress.

Taccola E. 2022, *Pisa, Piazza del Duomo. The Hellenistic pottery as commercial and economic indicator of the northern coastal Etruria*, in L. Rembart, A. Waldner (eds.), *Manufacturers and Markets: The Contributions of Hellenistic Pottery to Economies Large and Small. IARPotHP 2019, Proceedings of the 4th Conference (Athens 2019)*, Wien, Phoibos Verlag, 667-682.

Taccola E., Rosselli L., Albertini N., Martino M. 2021, *Etruscan hypogea in 3D: A proposal for an immersive and interactive visualization of Volterra's funerary contexts*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 135-152 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.12).

Tangheroni M. (ed.) 2003, *Pisa e il Mediterraneo. Uomini, merci, idee dagli Etruschi ai Medici*, Catalogo della mostra, Milano, Skira.

ABSTRACT

The contribution aims to illustrate the potential of digital cartography in reconstructing the funerary landscape of Pisa and Volterra. These study cases represent different scenarios, albeit within the Northern-Etruscan context. While in Pisa, the visible remains are almost non-existent, and the documentation is sparse and fragmented, the available information for Volterra is more complete and accurate. The research has resulted in two different databases integrating archaeological and cartographic information within a geographic information system produced by public administration. The two freely accessible GIS platforms offer an overview of the collected data and enable filtering, querying, and analyzing records to meet specific objectives. The article concludes with a methodological note on the importance of information systems in analyzing archaeological data and the requirement to create standard protocols for collecting and disseminating geographic data.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 99-116
doi 10.19282/ac.35.1.2024.08

ARCHAEOLOGICAL DATA MANAGEMENT AND SPATIAL ANALYSIS TOOLS IN THE STUDY OF NECROPOLISES: CASE STUDIES FROM BOLOGNA AND SPINA (6TH-3RD CENT. BC)

1. Introduction

The preponderant funerary nature of archaeological documentation of the Po Valley Etruria is well-known. Between the late 6th and 3rd centuries BC, vast and articulated funerary areas developed in the cities of Bologna, Spina and Adria, as well as other minor centres in the territory. In later periods, only Adria continued its lifestyle in a completely altered historical context. Over the last several years, the Chair of Etruscology of Bologna has been carrying out research that has employed the most effective methodologies for data management and funerary landscape reconstruction. The research first looked at several sectors of Bologna's western necropolis from the Certosa phase (see *infra* § 2), and then the necropolis of Valle Trebba in Spina (see *infra* § 3) and other minor locations in the Bologna area (Kainua-Marzabotto: Pizzirani 2023a, 2023b; Castelvetro: Pizzirani 2009b), and finally in Adria (Gaucci 2021a; Antoniazzi, Cappello, Serra in press) (Fig. 1).

The excavations of these necropolises mostly took place between the second half of the 19th century and the first decades of the 20th century. Scarce graphic and photographic documentation remains, often with inaccurate topographical references. In some cases, however, the excavation journals are rich in data, useful for the philological reconstruction of grave goods and sometimes even the funerary landscape. Although each context requires a detailed analysis and has its own particularities, recurring challenges[1] have led us to develop a consolidated line of research on funerary rituals involving the recovery and management of data for each tomb and its grave goods, and a general view focused on the reconstruction of funerary plans on the city scale. The subsequent step of the analysis is the georeferencing of these plans, in order to formulate hypotheses regarding the geomorphology of these locations and consequently of the funerary landscape. The funerary landscape is crucial in understanding the strategies of occupation of necropolises, as well as the social relations and representation that took form through the exploitation and modification of an environment that has

[1] The reflections developed at the 2008 Conference in Fisciano (*Tra Etruria, Lazio e Magna Grecia: indagini sulle necropoli*) on the problems of management and use of archival data on necropolises excavated in the past remain fundamental (Bonaudo, Cerchiai, Pellegrino 2009); see also Rondini, Zamboni 2016.

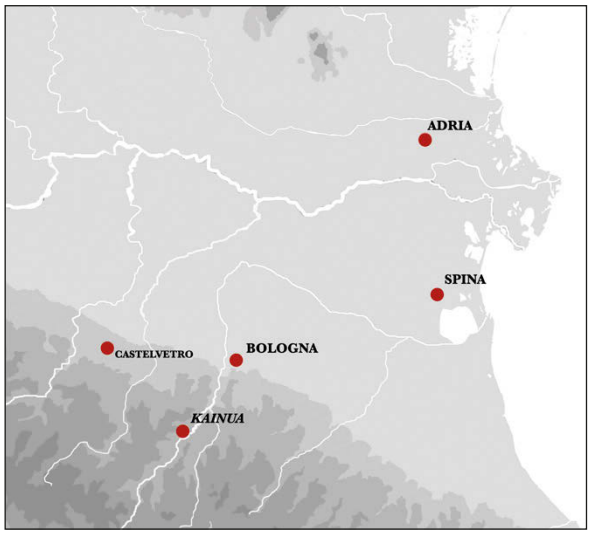


Fig. 1 – The sites of the Po Valley Etruria mentioned in the paper.

contributed over time to the construction of a collective memory shared by the community that buried their dead there (Assmann 1997).

The two selected case studies of Bologna and Spina are not only the most complex sites, but they also represent two distinct phases of research: the first started in the 1990s, when Information Technology was confidently applied to archaeology, leading to the first computerised data management systems used in experimental analyses of large funerary sites in Italy (Gottarelli 1997, 2009; D'Andrea 1999; Cuozzo, D'Andrea, Pellegrino 2004); the second, launched in 2008, was able to take advantage of a different and decidedly more advanced theoretical framework thanks to many years of methodological reflection. One of the most challenging problems to be faced today is updating previously used systems and creating a dialogue between these older systems and the newer ones. For example, an initial pioneering attempt to support research on large funerary complexes was developed by A. Gottarelli in the 1990s as part of a joint project between the Archaeological Museum of Bologna and the Chair of Etruscology of the University of Bologna centred on the study of the Benacci and Certosa necropolises in Bologna. A software named 'Necropolis' was developed for the project, and it offered researchers the possibility of correlating the dataset of each tomb, filled up in a database based on FileMaker, with the general plans of the relative funerary area. The subsequent and rapid development of Geographic Information System

convinced researchers to abandon *Necropolis*. Nonetheless, this software strongly conditioned initial methods of recording data, constraining all the information of each tomb to a unique record of the database and to specific codes for the different classes of materials.

The study of these funerary contexts, following an approach driven by abovementioned objectives and issues is still ongoing, but the analysis and some of the research outcomes have been discussed for some years now. In 2008, the presentation and analysis of the general planimetry of the western necropolis of Bologna (ca. 800 tombs) became possible thanks to the unexpected discovery of the plan of the De Luca funerary area in the archives of the Archaeological Museum in Bologna (Govi 2009; Morpurgo 2018). The plan, however, still lacked a geomorphological characterisation, which was later achieved thanks to the publication of the Bologna Geological Cartography (see *infra* § 2). This research saw renewed momentum thanks to the virtual reconstruction of the Etruscan Bologna, of which the Certosa funerary area was an important part[2].

An even more significant effort was made in reconstructing the funerary landscape of Spina (see *infra* § 3), of which only a partial plan of the Valle Trebba necropolis with no references to tomb numbers was edited (Berti, Guzzo 1993). The reconstruction of the necropolis required the long and careful recovery of topographic (Romagnoli 2017) and altimetric data (Gaucci, Mancuso 2016). We now have a plan, completed between 2015 and 2017, that offers extraordinary points for investigation, as we will discuss in the following sections.

Alongside the issues of producing accurate and reliable cartographies, we have also had to deal with the complexity of funerary rituals that presuppose large quantities of heterogeneous data (see *infra* § 3.1). The informative value of these data does not rely solely on the class and/or function of the objects found, but also on various other important aspects such as iconography, whose hermeneutic potential in the social, political and cultural reconstruction of communities is now well known (see *infra* § 3.2). Another pivotal issue, in addition to the philological reconstruction of the funerary assemblages, often altered in the passages between the excavation and their final destination (deposit or display), is the problem of recording and managing a large amount of data from both a quantitative and qualitative point of view.

Apart from the selection of the system and software used, the choices made have led to the decision of not making use of statistical and computational analyses, which were carried out in the past on a specific category of tombs in Valle Trebba di Spina, but with negligible results (Berti, Bisi,

[2] A virtual model of the necropolis was created in collaboration with CINECA (https://www.cineca.it/progetti/museo-virtuale-della-certosa-ricostruzione-del-paesaggio-della-necropoli-etrusca), then merged into the 3D animation produced in 2013 for the Museum of the History of Bologna.

Camerin 1993). Indeed, it is rather difficult to categorize the data of grave goods into a univocal, repeatable and effective coding system, given the countless variables in terms of classes and forms, iconography, position etc.

E.G.

2. The western 'Certosa phase' necropolis of Bologna

The topographical organisation of the western necropolises of Bologna during the so-called 'Certosa Phase' (late 6th-early 4th cent. BC) was first addressed at the beginning of the 20th century (see Ducati 1928). Afterwards, a more scientific approach to this problem was adopted by G. Sassatelli (1988; Sassatelli, Donati 2005, 235- 257) and E. Govi (*ibid*., 264-281, 282-290; Govi 2009).

The excavation documentation of the funerary areas was uneven, old and at times unedited (Morpurgo 2018, 8), therefore making the reconstruction of the topography of the western necropolises a rigorous task. The georeferencing of the funerary areas and the recovery of the topographical and dimensional data of the individual burials – about 765 – was necessary in obtaining a precise spatial distribution using modern cartography (Vanzini 2014-2015).

The first step was resolving the topographical issues related to the available documentation, namely the georeferencing of the excavation plans with urban planning documentation and establishing the spatial relationships among the graves.

Georeferencing involves dealing with Bologna's nineteenth-century cartography, and the Certosa necropolis is a prime example of the maps from this period. The excavation plans drawn up by A. Zannoni used the plan of the Certosa cemetery of that time as a cartographic basis (Zannoni 1876), which has undergone numerous structural changes over the past 150 years. Therefore, it was necessary to superimpose post-unification cartography on the modern one in order to georeference the original excavation plans. For other contexts, as in the case of the Aureli necropolis, the excavation plans did not have cartographic data providing insight about their positioning. Fortunately, the distance of the trenches from known points in the urban context of Bologna at the time was documented, allowing us to georeference the graves starting from the nineteenth-century cartography.

Regarding the distribution of the individual graves, the nodal points used in the reconstruction are geometric, i.e. based on the accuracy of the dimensions of each grave, and spatial, i.e. based on the accuracy of the positioning of the graves relative to one another. The first aspect is closely related to the quality of the excavation plans, which are rarely homogeneous, even within the same documentation. For example, as far as the necropolises of Certosa, Aureli and De Luca are concerned, the drawings by Zannoni are often considerably

Necropolis	No of tombs	Scaled tombs	Scaled tombs (%)	Georeferenced tombs	Georeferenced tombs (%)
Certosa	418	206	49.4	161	38.6
Aureli/Balli	41	33	80.5	41	100
Battistini	19	3	15.8	9	47.3
De Luca	111	27	24.3	108	97.3
Arnoaldi	166	84	50.6	75	48.4
Polisportivo	9	2	22.2	9	100
Total	765	356	46.5	404	52.9

Tab. 1 – Scaled and georeferenced tombs of the western necropolises of Bologna.

larger than the documented size of the graves. The comparison between the cartographic and documented metric data has allowed us to redraw each grave at the correct scale, keeping the centroid of the excavation plan as a reference. In general, 46.5% of the 765 graves of the western necropolises of Bologna were able to be traced according to their correct dimensions (Tab. 1).

The second aspect, i.e. the accuracy of the relative positioning of the graves, is strongly affected by the quality of the documentation. In the case of Certosa, where only 40% of the burials were correctly positioned, the graves with a higher degree of accuracy are those that partially overlap with the modern plan of the cemetery's structures. In other cases, such as for Aureli and De Luca, other data collected during excavations, particularly the distances between the corners of the graves and those between those corners and the limits of the trenches, allowed us to accurately place a higher number of graves (97%). Overall, 53% of the graves in the western necropolises have been correctly repositioned (Tab. 1).

Despite the heterogeneous documentation, it has been possible to quite accurately relocate all the funerary areas on the city's contemporary topography using nineteenth-century planimetric and descriptive data. The accuracy of the georeferencing and scaling of each grave was less successful, with around 50% of the total number of graves being accurately repositioned. The results of this work can provide a solid basis for integrating the developed maps with other data, from grave goods and anthropological information at the grave scale, to geomorphological elements at the scale of the funerary landscape. Indeed, the superimposition of the Bologna Geological Cartography (Pignone 2013) has allowed us to observe that the palaeo-channels flowed differently from the present ones. For example, the Meloncello canal, previously thought to have divided the Arnoaldi and the De Luca areas, must have flowed much further W (Fig. 2), between the De Luca and Certosa funerary areas. This partly explains why the westernmost graves of the Arnoaldi area are so close to the easternmost De Luca graves, as they must have formed a single burial complex.

R.V.

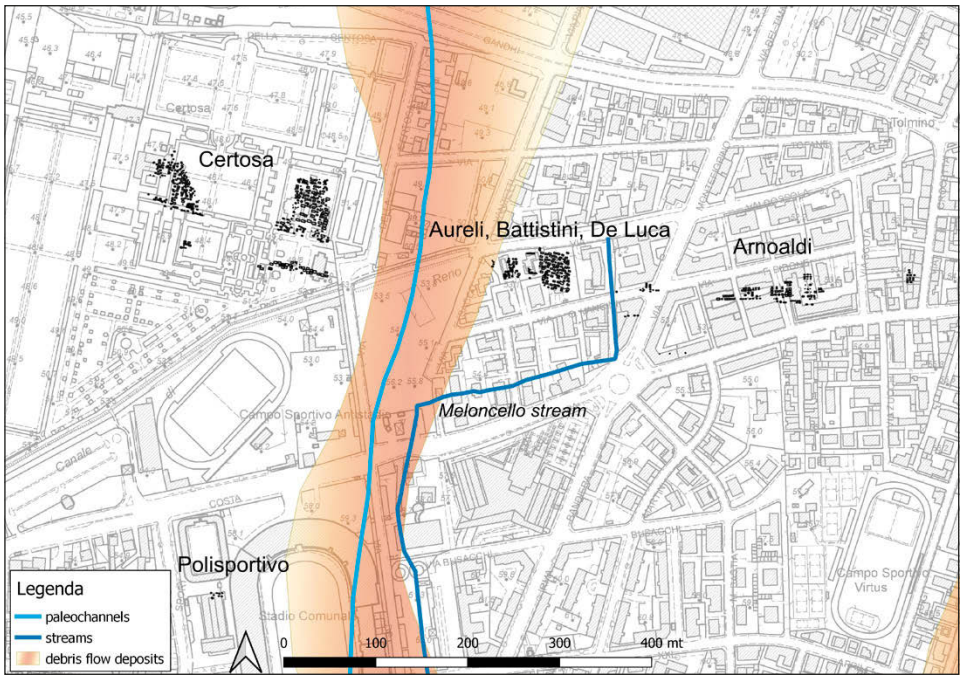


Fig. 2 – Superimposition of the Geoarchaeological Map of Bologna (after Pignone 2013) and the western necropolises of Bologna.

3. Valle Trebba in Spina

3.1 *Data management*

The Valle Trebba necropolis (end of the 6th-3rd cent. BC; on the study project, see Govi 2017), was excavated from 1922 to 1935 leading to the discovery of 1,215 graves. The recently completed analysis of this context has posed the problem of data management, requiring the development of a system to study the entire complex in its evolution. In this regard, it was necessary to identify a single solution allowing for the collection of different typologies of data (i.e. descriptions, archival documents, photographs, grave sketches, object information and anthropological data), with varying degrees of completeness and accuracy.

The preliminary step was the development of a Relational Database (RDB). FileMaker, already used by the Bologna team, was chosen as the Relational Database Management System (RDBMS). The availability of intuitive and user-friendly masks for consulting made it possible to structure a system that was easy to use within a large team, and also speed up data entry. The use of a unique RDBMS for several projects introduced the possibility of connecting all

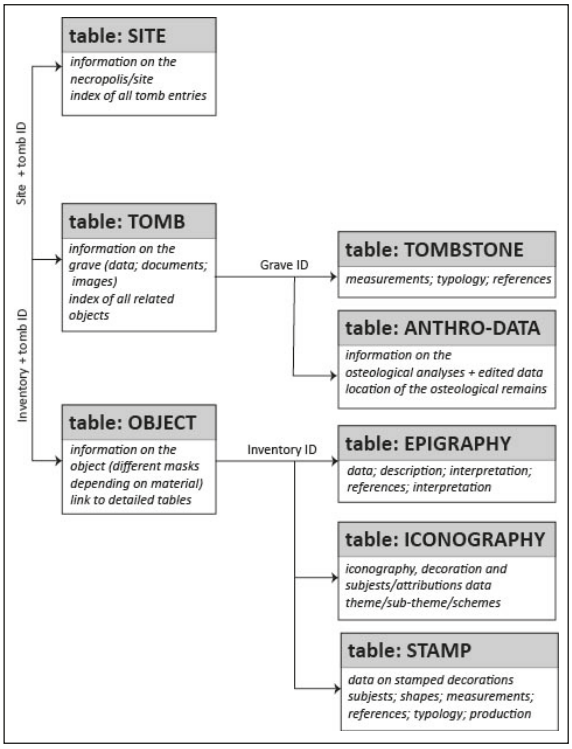


Fig. 3 – Structure of the RDB used in the analysis of Valle Trebba.

the data and making the RDB structure replicable; the system was thus designed, as much as possible, for the sharing and interpolation of data from different contexts, a necessary requisite for the analysis of funerary rituals in the region.

The database has been progressively implemented (Fig. 3). The main structure hinges on the 'tomb table', designed to collect information on each tomb context, and the 'object table', which contains the object data (more than twelve thousand items to date). Information was then organised in different fields, fostering a structure employing trees that broke the data down into primary elements and well-established codes (e.g. types and shapes) and providing implementable lists of values to reduce errors and limit variability (Madsen 1999, 126-127; more recently Mancinelli 2015). The two tables are related to each other through the grave number, while the inventory number of each object is the key linking it to secondary tables, which delve into more detailed aspects.

A.S.

3.2 *The qualitative issue in data management: Iconography*

An 'iconography and decoration table' was created to facilitate the mapping of the iconography of the Attic vases found in the funerary contexts. This table was divided into five sections (Fig. 4): the first two present the general data of the tomb and the object, necessary for the correlation of the tables and the framing of the object itself; the last three are focused on iconography, decoration and the subjects/attributes represented. We decided to break the data on the iconographic subjects and accessory decoration down into different fields according to their position on the vase and the subject/motif depicted. In

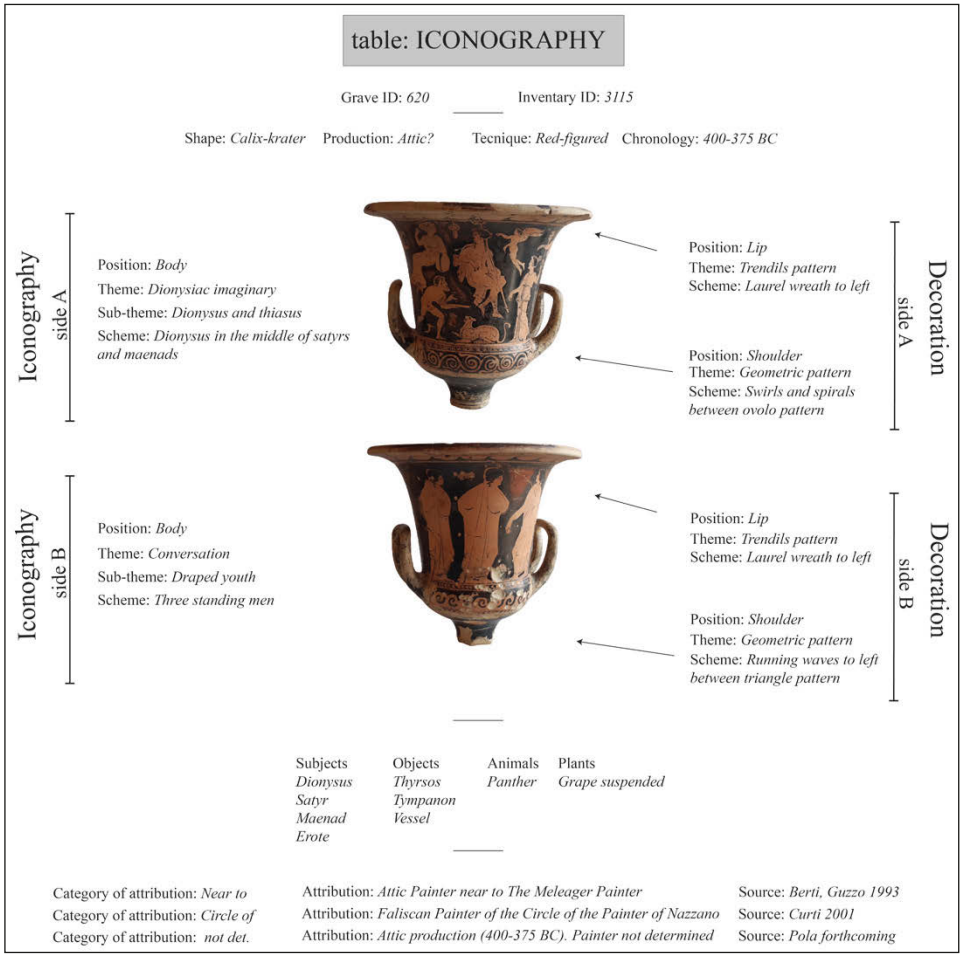


Fig. 4 – Structure of the Iconography table of the RDB used in the analysis of Valle Trebba necropolis.

particular, the main iconographic elements are structured into three groups, 'theme', 'sub-theme' and 'scheme', allowing recurring elements or specificities in the scheme of certain iconographic themes to emerge during the study phase, following the approach adopted by C. Pizzirani as a starting point (Gaucci, Govi, Pizzirani 2020, 176-180). The iconographic fields were duplicated in order to observe if the subjects depicted were distributed on both sides of the vascular support (side A and side B). Finally, special lists were drawn up and the subjects depicted on the vases were sorted into categories identified in the literature (Giudice 1999; Batino 2002; for mythological subjects, Mugione 2000, with evidence from the Spina necropolises).

The section addressed to workshops is also structured in three parts: the first allows us to specify who produced the iconography (Painter, Group, Circle, Workshop); the second to enter the name of the artist (e.g. Meleager Painter; Fat Boy Group); the third concerns the bibliographic source of the attribution. Each field has been duplicated because, although somewhat rare (around 20 cases), some vases contain iconography attributed to different artists whose style has been distinguished by scholars (e.g. Curti 2001, for the workshop of the Meleager Painter).

C.T.

Together with the analysis of funeral rituals, the iconographic analysis of the object within the tomb context is certainly one of the most challenging aspects of data management. The table elaborated and refined over the years attempts to cover all possible identifications of an image in terms of schemes, themes, identities, attributes, accessory decorations and painters. However, it is often the slightest variation within a well-established tradition – or of the ceramographers' workshop itself – that constitutes the interpretative key to the semantic value of the scene, and consequently the entire object and its vascular form and, by extension, the iconographic associations made between various objects within a single tomb context, and sometimes within a necropolis sector. The study of iconography within the spatial organisation of necropolises has, moreover, revealed its great hermeneutic value in terms of social groups and family traditions, both in Bologna and Spina (Govi 2009; Pizzirani 2009a; Govi, Pizzirani in press).

This process, well known in theoretical terms since Warburg's lesson (Mastroianni 2000; Cieri Via 2018, 33, 116), proved to be pivotal during the study of the Bologna and Spina contexts on several occasions, particularly in tomb contexts of the highest rank, and it also had a considerable impact on the spatial organisation of the necropolis. For instance, one thinks of the well-known kraters of tombs 128 and 311 of Valle Trebba, included in every handbook dedicated to Attic pottery and difficult to schematise in terms of theme or identity. Indeed, they have extremely powerful images from a

visual point of view, capable of evoking – once adequately contextualised from every possible perspective – multiple meanings (Isler-Kerényi 2002, 2003; Pizzirani 2017).

By and large, the 'iconography and decoration table' is a starting point for more in-depth research that keeps a watchful eye on the analysis of each tomb and the funerary ritual reflected in the grave goods. This is certainly a challenging aim, but this approach has already yielded significant results and can hopefully also be applied to other funerary contexts in which images play a prominent role, as they do in Po Valley Etruria.

C.P.

3.3 *GIS, spatial analysis and the ancient landscape*

Due to the complexity of the studied areas, it became necessary to create a platform capable of correlating the spatial data relative to each grave with the data contained in an articulated database such as the one designed for Valle Trebba.

The choice of software for dealing with the planimetric component would naturally fall in a well-established one such as QGIS. However, the management of a database structured on multiple tables in a GIS environment is quite problematic. Specifically, in order to conduct a large-scale spatial analysis (e.g. to investigate the distribution of specific classes of materials or particularities of the ritual), it is necessary to establish not only a 'one-to-one' relationship between the vectorised tomb geometries and the records in the funerary structures table, but also a 'one-to-many' relationship between the geometry of the tomb and the records created for each object belonging to it.

An experiment was started in 2015 within the study of the Valle Trebba necropolis in Spina using the vectorial plan elaborated by S. Romagnoli, easily georeferenced using the existing drainage canals in the area (Romagnoli 2017). At the time, the RDB created in FileMaker was already very rich in data. Although we were aware of the difficulties in integrating it with QGIS, changing a software that has proved to be decidedly effective in previous studies was deemed impractical. This is also true because the software is more functional compared to GIS for many analyses (e.g. typological studies, or the management of images or long texts), as well as being more user-friendly overall.

Therefore, we chose the open-source software PostgreSQL, implemented with the PostGIS spatial extension, because the program allows users to convert tables from the original database into a new PostgreSQL database through automated processes, meaning it was possible to continue using FileMaker as a frontend (Fig. 5). Once the software is calibrated, it is possible to relate tables to each other and query them directly in the GIS environment through specific SQL queries that can be launched via special plug-ins. The

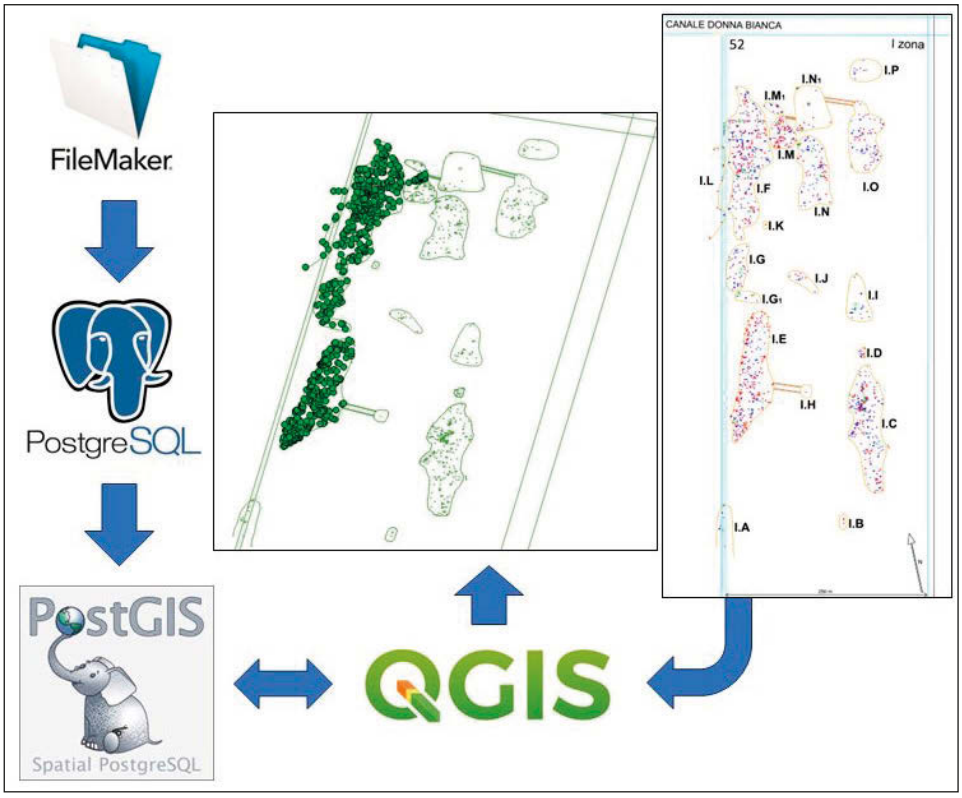


Fig. 5 – Workflow diagram implemented for the Valle Trebba GIS platform.

results of such queries can be visualised in real time through the automated creation of new layers. Thus, it is possible to quickly visualise, for instance, the occurrence of specific pottery productions in the graves of the necropolis and to analyse them in spatial and diachronic perspectives (i.e. verifying the distribution of a ceramic class in the funerary area and easily identifying clusters, then categorising the layer based on the graves' chronology).

This structure is also highly functional for consulting data: the dynamic connection created between the tables allows us to make hypotheses about the plan directly in the GIS environment and to view (and possibly even modify) all the elements relevant to each grave. This functionality is even more useful in the presence of detailed plans for each grave, which was unfortunately not possible for Valle Trebba (the sketches in the excavation journals, however detailed and well executed, were not suitable for georeferencing). This procedure has been implemented in a similar study project of the University of

Bologna (the Picenian necropolis Quagliotti-Davanzali in Sirolo/Numana: Baldoni 2021, 17-62): in the presence of a correctly georeferenced scaled plan, it is possible to consult all the information related to the grave structure and ritual in a single display (Zampieri 2021).

This system, based on the PostgreSQL/PostGIS binomial, has its limitations, above all in the complexity of configuring PostgreSQL, a software that requires somewhat advanced computer skills. However, it is worth emphasising how once the database has been configured, its use can be significantly facilitated through a more common database as a frontend. However, the adoption of other applications that in recent years have proven to be increasingly functional in the management of archaeological data, such as pyArchInit, is still a definite possibility for future studies.

The final line of this research is the digital reconstruction of the funerary landscape, which is not at all accessible today for both of the cases studied. Scholars have dealt with this issue for decades (see Sassatelli 1988 for Bologna, and, more recently, Gaucci 2021b for a discussion on Virtual Archaeology). Even for the Spina site it has been hypothesised that the graves

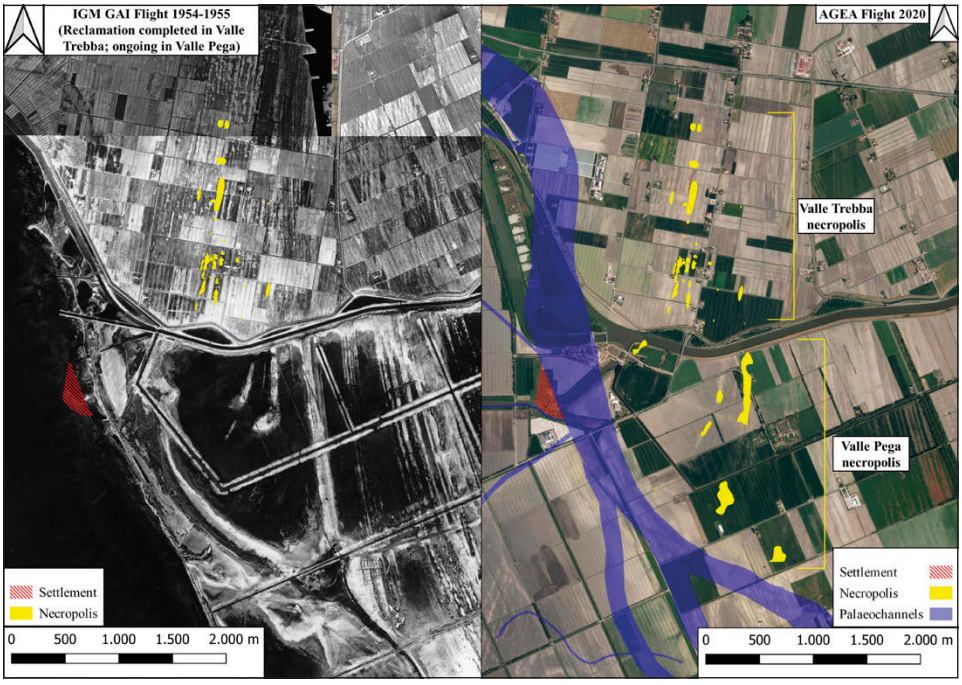


Fig. 6 – Localisation of Valle Trebba and Valle Pega necropolises on orthophotos from the 1950s (left) and in the contemporary landscape (right).

took advantage of the natural morphology of the beach ridges in order to give greater visibility to particular funerary plots (Romagnoli 2017, 118). While the interpretation of the ancient landscape of Bologna's western necropolis is complicated by progressive urbanisation (see *supra* § 2), the territory of Spina has undergone extraordinary modifications, both natural – due to the well-known phenomenon of deltaic progradation (Bondesan 2001) – and artificial – due to the reclamation of the deltaic lagoon environment during the 20th century (Visser Travagli, Vighi 1989).

Therefore, the reconstruction of the ancient geomorphology must necessarily pass through the documentation produced before or during land reclamation: for example, using the bathymetries carried out by the *Genio Civile* before the land reclamation of Valle Trebba or the aerial photographs taken before or during land reclamation processes (Gaucci, Mancuso 2016; Mancuso, Zampieri in press). These documents are certainly valuable today, useful for detailed geomorphological studies, as was already seen for some sectors of the Valle Trebba necropolis, yet not decisive for a large-scale reading of the landscape. Indeed, it is evident that the necropolises, which occupied a very large area nearby the settlement, must have been an integral part and constituent element of the ancient landscape (Fig. 6). This leads us to the consequent paradox that even refined reconstructions of the funerary areas hardly fit into an effective interpretation of the ancient lagoon environment. This issue goes beyond the thematic boundaries of this contribution and yet this is an aspect that must be considered in the study of these contexts and even more so in the reconstructions for dissemination. While a detailed analysis offers significant results from a purely archaeological point of view, the reconstructions that have been attempted on a larger scale, even very recently, show how the interpretation of the funerary landscape and its problematic aspects is subordinate to the understanding of the broader ancient landscape, particularly in a wet environment such as that where the city of Spina thrived.

E.Z.

4. Conclusion

Spatial analysis has a long tradition in archaeology (Gillings, Hacigüzeller, Lock 2020) and in this field of research GIS is still at the core of its practical applications (Verhagen 2017). As pointed out by P. Moscati in 1998 discussing a survey focused on GIS application in Italian archaeological research, at that time there was only one project dedicated to funerary contexts (Moscati 1998, 200 and 226-227, no. 23, Pontecagnano; see also Cuozzo, D'Andrea, Pellegrino 2004). If the use of GIS at the intra-site scale presents problems related to the representation of the

third dimension of the archaeological context (Harris, Lock 1995, 356; Dell'Unto, Landeschi 2022), necropolises tend to be less subject to this problem (see *supra* § 3.3). Thus, this absence is rather surprising, as Moscati herself points out.

It is precisely the unpublished *Necropolis* project, mentioned above by E. Govi, that demonstrates the need to develop tools that are not simply forms of spatial representation, but «also and above all issues related – from a technical point of view – to the integration of data and systems, and – from an archaeological point of view – to the interpretation of archaeological processes» (Moscati 1998, 191). In this regard, it is worth recalling the observations of M. Goodchild (1996, 245-246), who emphasised that spatial analysis is «primarily analysis of form, whereas understanding requires analysis of process», i.e. «it is probably better to see spatial analysis as a source of possible hypotheses about cause rather than as a means of confirmation».

In large Iron Age funerary complexes, e.g. Pontecagnano or the Certosa necropolis in Bologna (certainly more contained but no less articulated in terms of data management), such an approach is only possible if all the data can be collected for each available grave. Given that the level of topographic data is not always satisfactory for an accurate georeferencing, the development of an RDB, primarily for the management of data (see Cristofani, Francovich 1990 for reflections on Italian research), is necessary to govern the quantitative and qualitative complexity of the data of these necropolises.

Therefore, the first challenge concerns the development of an RDB (D'Andrea 2000 for Pontecagnano), which usually becomes sclerotic in information implementation processes that may last years or decades. The most recent case of Valle Trebba is illustrative: an articulated relational archiving system based on the proprietary software FileMaker has allowed us to not only collect the entirety of the information available for 1,215 tombs and over twelve thousand objects, but also the possibility of implementing its architecture. Over the years, we have created new related tables and further thematic insights that could not have been foreseen at the beginning of the project, but at the same time it has amplified the information and increased the complexity of the architecture of a system that is increasingly binding as a result.

The solutions adopted for overcoming the management approach and moving towards the use of data for spatial analysis in a GIS environment are not currently satisfactory since they do not respond to the principles of accessibility of such tools, nor to Open Data Standards. The hope is that future tools will be more suited to the needs expressed in the field of research focused on Iron Age necropolises, which is relatively limited in terms of case studies and could perhaps be adequately addressed through a collective project. In

a geographical and diachronic landscape characterised by a strong cultural and ritual heterogeneity, such as that of the Iron Age of the Italian peninsula, such an objective would be challenging not only in providing adequate tools for spatial analysis, but also because it could be the stimulus to address the issues related to the processes of interpretation and the objectives that these tools should support.

A.G.

Elisabetta Govi, Andrea Gaucci, Chiara Pizzirani, Anna Serra, Carlotta Trevisanello, Riccardo Vanzini, Enrico Zampieri

Dipartimento di Storia Culture Civiltà
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna
elisabetta.govi@unibo.it, andrea.gaucci3@unibo.it, chiara.pizzirani@unibo.it
anna.serra5@unibo.it, carlott.trevisanell2@unibo.it riccardo.vanzini2@unibo.it
enrico.zampieri4@unibo.it

REFERENCES

Antoniazzi E., Cappello M., Serra A. in press, *La necropoli di Ca' Cima ad Adria (Rovigo). Ricostruzione della planimetria e del paesaggio*, in *Gli Etruschi nella Valle del Po, XXX Convegno di Studi Etruschi e Italici (Bologna 2022)*, Roma, Giorgio Bretschneider.

Assmann J. 1997, *La memoria culturale. Scrittura, ricordo e identità politica nelle grandi civiltà antiche*, Torino, Einaudi.

Baldoni V. (ed.) 2021, *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021).

Batino S. 2002, *Lo skyphos attico. Dall'iconografia alla funzione*, Napoli, Loffredo.

Berti F., Bisi F., Camerin N. 1993, *Revisione critica della necropoli di Valle Trebba: le cremazioni*, in *Studi sulla necropoli di Spina*, *Atti del Convegno (Ferrara 1992)*, Ferrara, Accademia delle Scienze, 7-54.

Berti F., Guzzo P.G. (eds.) 1993, *Spina. Storia di una città tra Greci ed Etruschi*, Catalogo della mostra, Ferrara, Comitato Ferrara Arte.

Bonaudo R., Cerchiai L., Pellegrino C. 2009, *Tra Etruria, Lazio e Magna Grecia: indagini sulle necropoli, Atti dell'Incontro di Studio (Fisciano 2009)*, Paestum, Pandemos.

Bondesan M. 2001, *L'evoluzione idrografica e ambientale della pianura ferrarese negli ultimi 3000 anni*, in *Storia di Ferrara, 1.Territorio e preistoria*, Ferrara, Gabriele Corbo Editore, 227-263.

Cieri Via C. 2018, *Nei dettagli nascosto. Per una storia del pensiero iconologico*, Roma, Carocci.

Cristofani M., Francovich R. 1990, *Editoriale*, «Archeologia e Calcolatori», 1, 7-8.

Cuozzo M.A., D'Andrea A., Pellegrino C. 2004, *The use of space in the Etruscan cemeteries of Pontecagnano (Salerno – Italy) in the Orientalising period (8th-7th century BC)*, in L. Šmejda, J. Turek (eds.), *Spatial Analysis of Funerary Areas*, Plzen, Jaroslav Samek, 142-147.

Curti F. 2001, *La Bottega del Pittore di Meleagro*, «Rivista di Archeologia», Suppl. 25, Roma, L'Erma di Bretschneider.

D'Andrea A. 1999, *Il GIS nella produzione delle carte dell'impatto archeologico: l'esempio di Pontecagnano*, «Archeologia e Calcolatori», 10, 227-237 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF10/10_16_D'Andrea.pdf).

D'Andrea A. 2000, *Modelli GIS nel Cultural Resource Management*, in A. D'Andrea, F. Niccolucci (eds.), *Atti del I Workshop Nazionale di Archeologia Computazionale (Napoli-Firenze 1999)*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 153-170 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF11/1.10%20Dandrea.pdf).

Dell'Unto N., Landeschi G. 2022, *Archaeological 3D GIS*, London-New York, Routledge (https://doi.org/10.4324/9781003034131).

Ducati P. 1928, *Storia di Bologna. I tempi antichi*, Bologna, Comune di Bologna.

Gaucci A. 2021a, *Iscrizioni della città etrusca di Adria. Testi e contesti tra Arcaismo ed Ellenismo*, Bologna, Bononia University Press (https://doi.org/10.30682/disciarche28).

Gaucci A. 2021b, *Virtual Archaeology and the study of necropolises as a system: Methodology and practice in the case study of Numana (AN), Italy*, in Baldoni 2021.

Gaucci A., Govi E., Pizzirani C. 2020, *Fenomeni di interazione culturale nella città etrusca di Spina*, in M.P. Castiglioni, M. Curcio, R. Dubbini (eds.), *Incontrarsi al Limite. Ibridazioni mediterranee nell'Italia preromana, Atti del Convegno Internazionale (Ferrara 2019)*, Roma-Bristol, L'Erma di Bretschneider, 159-188.

Gaucci A., Mancuso G. 2016, *Archeologia in area etrusco-padana tra XIX e XX secolo: il caso della necropoli di Valle Trebba a Spina (FE)*, in Rondini, Zamboni 2016, 41-49.

Gillings M., Hacigüzeller P., Lock G. 2020, *Archaeological Spatial Analysis*, Oxon, Routledge (https://doi.org/10.4324/9781351243858).

Giudice F. 1999, *Il viaggio delle immagini dall'Attica verso l'Occidente ed il fenomeno del rapporto tra «prodigi» e «fortuna iconografica»*, in F.-H. Massa-Pairrault (ed.), *Le mythe grec dans l'Italie antique. Fonction et image, Actes du Colloque International (Rome 1996)*, Roma, École Française de Rome, 267-327.

Goodchild M.F. 1996, *Geographic Information Systems and Spatial Analysis in the Social Sciences*, in M. Aldebderfer, H.D.G. Maschner (eds.), *Anthropology, Space and Geographic Information Systems*, Oxford, Oxford University Press, 241-250.

Gottarelli A. (ed.) 1997, *Sistemi informativi e reti geografiche in archeologia: GIS-INTERNET, Atti del VII Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano 1995)*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Gottarelli A. 2009, *1984-2009. Da Te.m.p.l.a. al Centro di Ricerca per le Tecnologie Multimediali Applicate all'Archeologia. Un caso di studio nella storia delle applicazioni multimediali in archeologia*, in P. Moscati (ed.), *La nascita dell'informatica archeologica. Atti del Convegno Internazionale (Roma 2008)*, «Archeologia e Calcolatori», 20, 189-204 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF20/16_Gottarelli.pdf).

Govi E. 2005, *Le necropoli, La struttura sociale e politica*, in Sassatelli, Donati 2005, 264-281; 282-290.

Govi E. 2009, *L'archeologia della morte a Bologna: spunti di riflessione e prospettive di ricerca*, in Bonaudo *et al*. 2009, 21-35.

Govi E. 2017, *Il progetto di ricerca sulla necropoli di Valle Trebba. Qualche spunto di riflessione*, in Reusser 2017, 99-108.

Govi E. 2023, *Kainua (Marzabotto)*, Austin, University of Texas Press (https://doi.org/10.7560/326626).

Govi E., Pizzirani C. in press, *Rituali e immagini della cremazione a Bologna tra VI e IV secolo a.C.*, in *Dal Tirreno al Mare Sardo. Studi per Marco Rendeli, Atti del Convegno (Roma 2023)*.

Harris T.M., Lock G.R. 1995, *Toward an evaluation of GIS in European archaeology: The past, present and future of theory and applications*, in G.R. Lock, Z. Stančič (eds.), *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*, London, Taylor and Francis, 349-365.

Isler-Kerényi C. 2002, *Un cratere polignoteo fra Atene e Spina*, «Numismatica e Antichità Classiche. Quaderni Ticinesi», 31, 69-88.

Isler-Kerényi C. 2003, *Images grecques au banquet funéraire étrusque*, «Pallas», 61, 39-55.

Madsen T. 1999, *Coping with complexity. Towards a formalised methodology of contextual archaeology*, «Archeologia e Calcolatori», 10, 125-144 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF10/10_10_Madsen.pdf).

Mancinelli M.L. 2015, *Nota introduttiva alle normative per la catalogazione dei beni archeologici*, Roma, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione – Servizio Beni Archeologici, MiBACT.

Mancuso G., Zampieri E. in press, *Problemi e prospettive di ricerca aerotopografica nella città etrusca di Spina (FE)*, in *3° Convegno Internazionale di Archeologia Aerea (Lecce 2022)*, «Archeologia Aerea».

Mastroianni G. 2000, *Il buon Dio di Aby Warburg*, «Belfagor», 55, 4, 413-442.

Morpurgo G. 2018, *I sepolcreti etruschi di Bologna nei terreni De Luca e Battistini (fine VI-inizio IV sec. a.C.)*, Bologna, Bononia University Press.

Moscati P. 1998, *GIS applications in Italian archaeology*, in P. Moscati (ed.), *Methodological Trends and Future Perspectives in the Application of GIS in Archaeology*, «Archeologia e Calcolatori», 9, 191-236 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF9/09_10_Moscati.pdf).

Mugione E. 2000, *Miti della ceramica attica in Occidente, problemi di trasmissione iconografica nelle produzioni italiote*, Taranto, Scorpione Editore.

Pignone R. 2013, *Bologna sotto Bologna. Carta geoarcheologica*, Firenze, S.E.L.C.A.

Pizzirani C. 2009a, *Iconografia dionisiaca e contesti tombali tra Felsina e Spina*, in Bonaudo *et al.* 2009, 37-49.

Pizzirani 2009b, *Il sepolcreto etrusco della Galassina di Castelvetro (Modena)*, Bologna, Ante Quem.

Pizzirani C. 2017, *Note in margine ad un cratere del Pittore di Altamura da una tomba di Spina*, «Studi Etruschi», 79, 105-126.

Pizzirani C. 2023a, *Funerary practices*, in Govi 2023, 165-174.

Pizzirani C. 2023b, *The necropoleis: Tomb structures*, in Govi 2023, 175-182.

Pola A. in press, *La più antica produzione ceramica falisca a figure rosse*, Roma, Giorgio Bretschneider.

Reusser C. (ed.) 2017, *Spina. Neue Perspektiven der archäologischen Erforschung, Tagung an der Universität (Zürich 2012)*, Rahden, Verlag Marie Leidorf.

Romagnoli S. 2017, *Topografia e articolazione planimetrica della necropoli di Valle Trebba*, in Reusser 2017, 109-120.

Rondini P., Zamboni L. (eds.) 2016, *Digging up excavations. Processi di ricontestualizzazione di "vecchi" scavi archeologici: esperienze, problemi, prospettive, Atti del Seminario (Pavia 2015)*, Roma, Edizioni Quasar.

Sassatelli G. 1988, *Topografia e "sistemazione monumentale" delle necropoli felsinee*, in *La formazione della città preromana in Emilia-Romagna, Atti del Convegno di Studi (Bologna-Marzabotto 1995)*, Bologna, Istituto per la Storia di Bologna, 197-156.

Sassatelli G., Donati A. (eds.) 2005, *Storia di Bologna,*1. *Bologna nell'antichità*, Bologna, Bononia University Press.

Vanzini R. 2014-2015, *Ricostruzione topografica dei sepolcreti etruschi di area occidentale di Bologna (VI-IV sec. a.C.)*, Tesi di Laurea Magistrale, Università di Bologna.

Verhagen P. 2017, *Spatial analysis in archaeology: Moving into new territories*, in C. Siart, M. Forbriger, O. Bubenzer (eds.), *Geoarchaeology. New Techniques for Interdisciplinary Human-Environmental Research*, Cham, Springer, 11-25 (https://doi.org/10.1007/978-3-319-25316-9_2).

Visser Travagli A.M., Vighi G. (eds.) 1989, *Terre ed Acqua. Le bonifiche ferraresi nel Delta del Po*, Ferrara, Gabriele Corbo Editore.

Zampieri E. 2021, *The Davanzali Necropolis of Numana (AN): From the archaeological context to the virtual environment*, in Baldoni 2021.

Zannoni A. 1876, *Gli scavi della Certosa di Bologna*, Bologna, Regia tipografia.

ABSTRACT

This contribution deals with the use of relational databases (RDB) and GIS for the spatial analysis of Iron Age funerary contexts in the Italian peninsula through two projects by the Chair of Etruscology at the University of Bologna. The two selected case studies of Bologna's western necropolis and Spina's Valle Trebba necropolis represent distinct phases of research and discuss the challenges in updating historic systems and creating dialogue between systems adopted at different times. The Bologna case provides the opportunity to discuss the quality of data from old excavations in reconstructing funerary landscapes using GIS. The case of Valle Trebba exemplifies the difficulties in planning and managing information on 1.215 tombs and over twelve thousand objects through an articulated relational archiving system. The iconography of Attic pottery allows us to understand the management of qualitative data. As far as spatial analysis in a GIS environment is concerned, we reassessed the solutions adopted for the Valle Trebba project, which are currently unsatisfactory, as they do not meet the principles of accessibility of such tools, nor Open Data Standards.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 117-134
doi 10.19282/ac.35.1.2024.09

DATA MANAGEMENT AND RECONSTRUCTION OF FUNERARY LANDSCAPE IN PRE-ROMAN NECROPOLISES BETWEEN ESTE AND PADOVA

1. Introduction

This contribution arises from various needs in our research. Firstly, the need to systematize data from necropolises that differ in excavation methods, documentation, and current state of the art. Secondly, to delve into the theme of the landscape, the skyline of ancient cities starting from their necropolises, which represented a 'theatrical scenery' reflecting the urban political organization and its power dynamics.

For our research group, the reconstruction of funerary landscapes has been a sort of pioneering experience. The first projects date back to the late 1990s, at the end of the excavation of Casa di Ricovero in Este, when the first attempts to reconstruct burial mounds were made (Fig. 1a-b). These reconstructive hypotheses were used in 1998 for the exhibition …*"presso l'Adige ridente"…Recenti rinvenimenti da Montagnana e Este* dedicated to the preliminary results of the excavation (Bianchin Citton, Gambacurta, Ruta Serafini 1998, figg. 4 e 7; Gamba, Gambacurta, Ruta Serafini 2015, for a different view on funerary structures, see Leonardi, Cupitò 2011). These first experiments established a precedent for recent developments, applying more advanced technologies for more 'refined' and significant results in terms of informational contribution.

Este and Padova stand as the two central places of the Veneto region, governing both internal and international relations while maintaining strong Venetic characteristics. For several decades, our research group has been conducting investigations on two of the main necropolises of these cities. In Este, excavations resumed between 1983 and 1993 following earlier findings from 1882 to the mid-20th century (Chieco Bianchi, Calzavara Capuis 1985, 19-32; Bortolami 2023, 36-39), focusing on the Casa di Ricovero area (Fig. 2). In Padova, a sector of the eastern necropolis was investigated in 1990-1991, with entire burials extracted along with their stratigraphy for laboratory analysis (Gamba, Gambacurta, Ruta Serafini 2014) (Fig. 3). Throughout restoration, study, cataloguing, and editing activities, the opportunity of georeferencing and data systematization has recently emerged, albeit with a delay compared to other situations in Italy (see other chapters in this volume). It was made possible through the support from the Venice Centre for Digital and Public Humanities, which approved two consecutive projects: VIAN (Venetic Iron Age Necroplises: mounds and graves) I in 2021

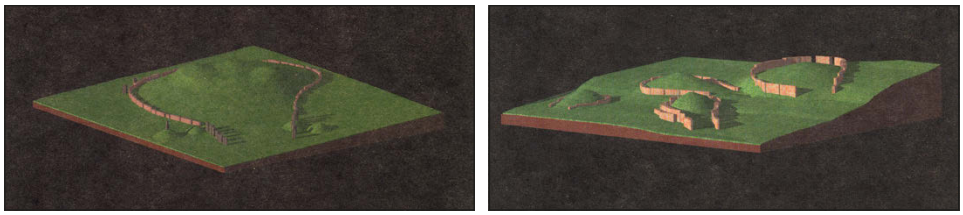
a  b

Fig. 1 – Este, Casa di Ricovero 1983-1993. a) 3D reconstructions of burial mounds from the 7th-6th c. BC. b) 3D reconstruction of a burial mound from the late 6th c. BC. (after Bianchin Citton, Gambacurta, Ruta Serafini 1998).

and VIAN II in 2022. The former focused on Padova, while the latter on Este. The goals of these projects were twofold: firstly, the development of a GIS with a relational database to address many ongoing questions diversified for the two necropolises, spanning chronologically from the second half of the 9th century BC to the early Roman period. Secondly, the creation of new hypothetical reconstructions of burial mounds based on new methodologies and tools to provide detailed information.

The work was therefore adapted to suit the specific characteristics of the two necropolises, and the different stages of their investigation. The excavation in the necropolis of Casa di Ricovero in Este provided a unique opportunity to explore a section of the city's northern necropolises using stratigraphic methodology, after the well-known findings of the late 19th and early 20th centuries, primarily conducted by Alfonso Alfonsi (Chieco Bianchi, Calzavara Capuis 1985, 19-32). Throughout the excavation campaigns, efforts were made to refine stratigraphic methods, which still relied heavily on paper documentation – systematic yet sometimes muddled. This was likely influenced by the peculiar stratigraphy of the necropolis, located on the slope of a hill and affected as much by flooding events from the S as by landslides from the N. Another layer of complexity arose from the ancient practice of reopening burial boxes, aimed at reunification over time of the deceased linked by family or proximity ties (Balista *et al.* 1988; Bortolami 2023). The intricate depositional situation led to the decision to maintain the oldest and most preserved phases *in situ* resulting in the establishment of an archaeological area. Following extensive restoration efforts and the installation of suitable protection structures (Gambacurta, Ruta Serafini, Sainati, in press), this area is now accessible.

The situation of the eastern necropolis of Padova differs significantly. In 1990, a large sector measuring 4100 m² was investigated in an area known since the early 20th century for several occasional findings (Ruta Serafini 1990, 15-18). The excavation was carried out with emergency procedures due to construction-related reasons. Following geomagnetic surveys confirming

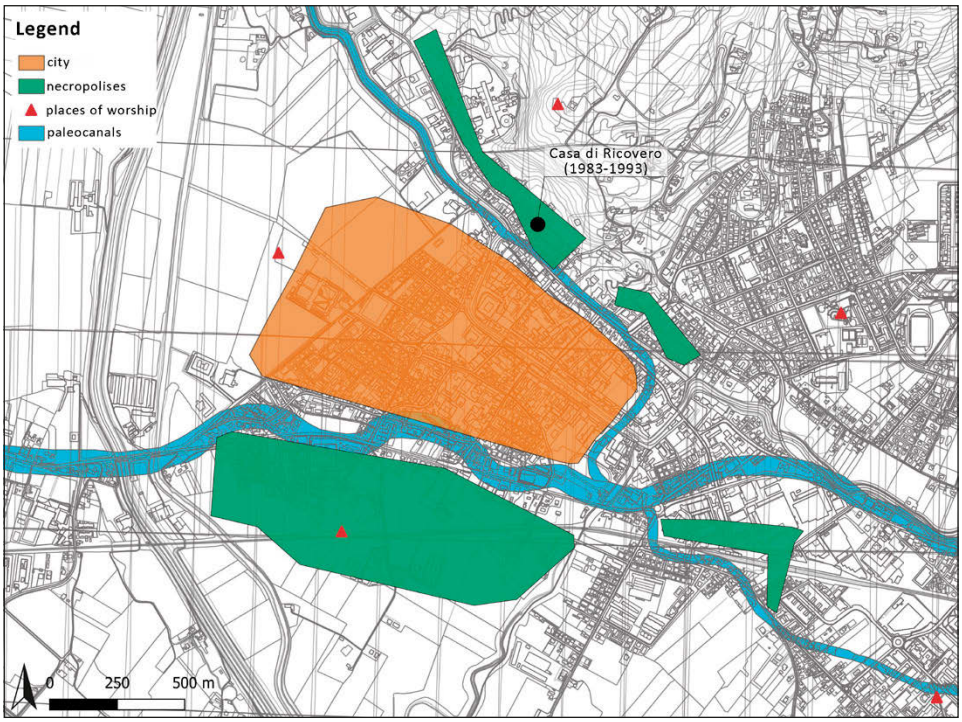


Fig. 2 – Location of the funerary area of Casa di Ricovero (1983-1993) in Iron Age Este (redrawn after Ruta Serafini 2002).

the hypothesis of a significant number of burials, a methodology was developed, which included:

1) identifying the main stratigraphic sequence;
2) documenting of all the burials and determining their chronological phase;
3) excavating some burials in the field (approximately two-thirds);
4) extracting a third of the tombs (about 120 out of 314) along with their stratigraphy in wooden boxes for laboratory investigation.

Following an interruption in funding, this investigation is still ongoing. With the support of the Municipality of Padova, the Superintendency conducted several laboratory excavation campaigns (1999, 2006, 2007, 2009). From 2017 to the present, investigations have resumed under a concession and then a convention with the Superintendency ABAP for the Metropolitan Area of Venice and the Provinces of Padova, Belluno, and Treviso, as part of the research funding of Ca' Foscari University of Venice. A total of 97 burials in 57 boxes were excavated, concurrently managing restorations,



Fig. 3 – Location of the funerary area between via Tiepolo and via S. Massimo (1990-1991) in Iron Age Padua (redrawn after De Min *et al.* 2005).

anthropological and anthracological analyses, and study and edition of some phases and groupings.

G.G., A.R.S.

2. A geodatabase for the Venetic necropolises

2.1 *Project overview: objectives and research questions*

Since the first applications in the early 1990s, Geographic Information Systems (GIS) have rapidly revolutionised archaeology, offering several advantages across various application fields (Moscati 1998; D'Andrea 2000; Bogdani 2009; Scianna, Villa 2011; Bogdani, De Mitri 2017; Howey, Brouwer Burg 2017; Dell'Unto, Landeschi 2022).

The application of GIS to the investigation of two funerary areas of the pre-Roman sites of Este and Padova has allowed to test this tool in contexts

that share similarities, but some differences too. Due to the primary need to archive, analyse, and consult excavation data easily for research purposes, a dedicated database was conceived, extending beyond the attribute tables provided by GIS software. While tailored to the specific needs of our case studies, this database could also be used in the future for mapping other necropolises.

A critical aspect during the building and population of the database was the condition of excavation documentation. Both areas were investigated between the 1980s and the early 1990s, a pivotal period for the development of the stratigraphic method aimed at identifying depositional and post-depositional processes, as well as the interaction between natural and anthropic factors. This also implies that the documentation is often inconsistent because it developed in response to ongoing experiments, and it was predominantly paper-based or stored in obsolete hardware supports (e.g., floppy disks).

As mentioned earlier, the database was designed to address the needs of the different stages of investigation. After the excavation, all the artefacts from the funerary area of Este underwent restoration, cataloguing, and illustration, alongside osteological analyses of cremated remains. Currently, all data are available, and this sector of the necropolis is at an advanced stage of study, with some burials and groupings already published (Chieco Bianchi 1987; Bianchin Citton, Gambacurta, Ruta Serafini 1998; Bortolami 2023, 73-94).

The necropolis sector of Padova shows a more disorganized scenario. Since 2017, annual laboratory excavations have been conducted, followed by restoration, illustration and study of grave goods, as well as analyses of the osteological material. The selection of burials for excavation is heavily influenced by logistic rather than scientific criteria, due to the challenge of moving bulky, heavy boxes, often in a state of partial degradation. Thus, the use of the database proves crucial for monitoring the progress of different work phases and for consciously guiding the allocation of economic resources and the operations of restoration and study. In this case as well, digging and analyses have been accompanied, whenever possible, by the simultaneous publication of significant phases or groupings of burials (Gambacurta 2009, 2011; Gamba, Gambacurta, Ruta Serafini 2014, 123-220; Moscardo 2018-2019; Millo 2021; Gambacurta *et al.* 2023; Bortolami 2023, 68-71).

F.Bo.

2.2 *Geodatabase structure, data entry, and preliminary results*

For the database building, SpatiaLite (a spatial extension of SQLite) and QGIS were selected. Both are open-source and well-integrated, with a not too steep learning curve. These qualities seemed suitable for the project's needs since data entry and querying will involve students at different education levels. Additionally, the choice of open-source software and formats guarantees long-term interoperability and data access.

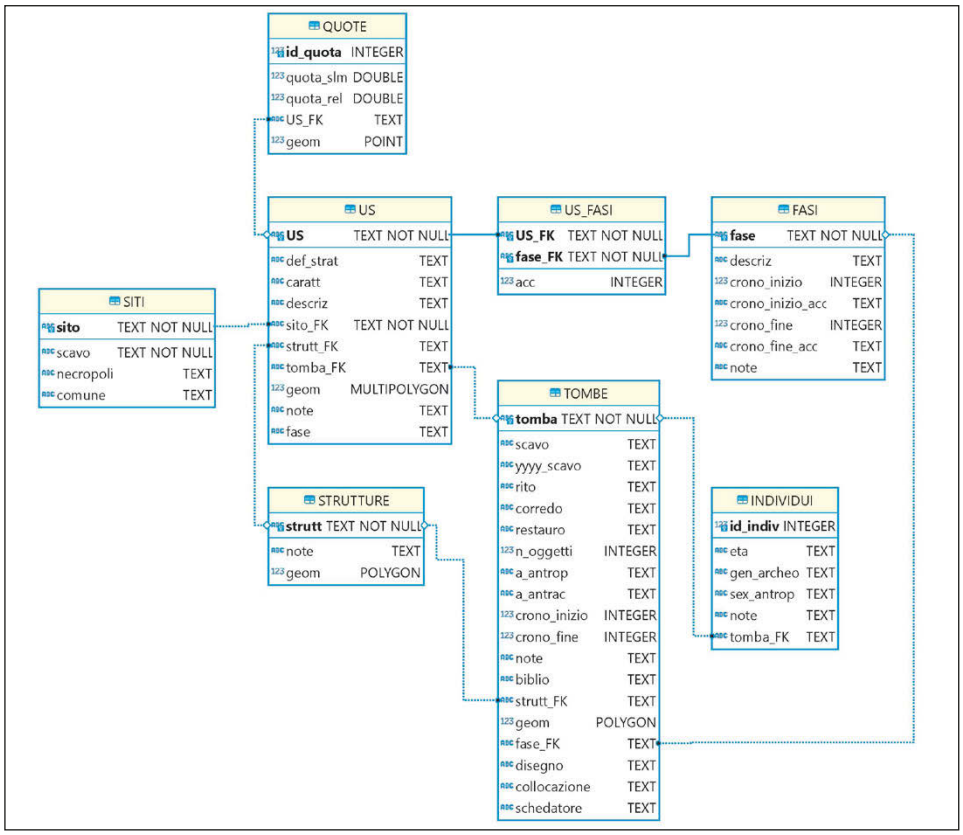
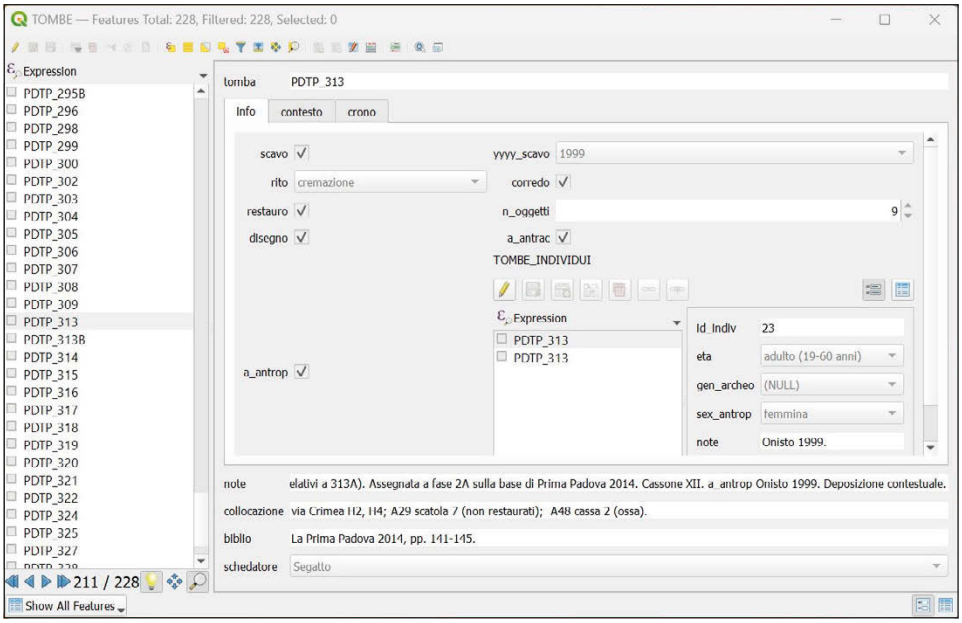
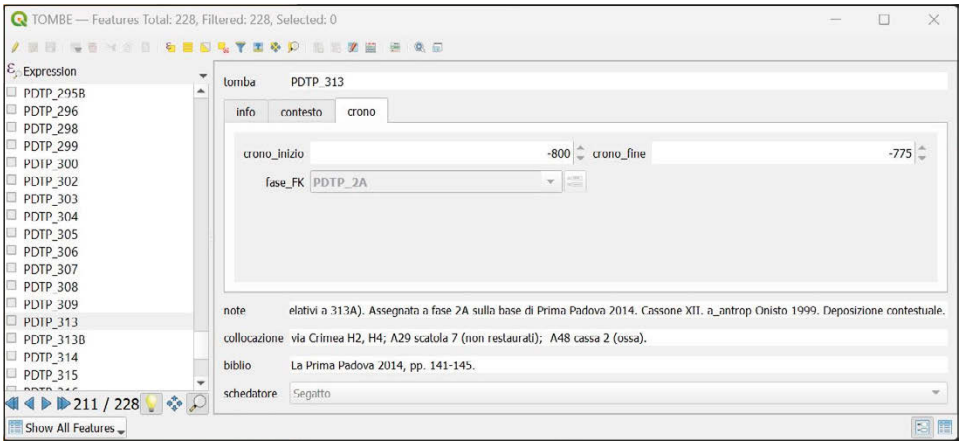


Fig. 4 – Diagram of the relational database.

A relational database consisting of seven tables was designed to gather data from the features that comprise the necropolis. Four geometric tables refer to elements with spatial extent: elevations ('QUOTE'), stratigraphic units ('US'), tombs ('TOMBE'), and funerary structures ('STRUTTURE'). Three non-geometric tables contain alphanumeric data without spatial extent: sites ('SITI'), individuals ('INDIVIDUI'), and chronological phases ('FASI'). Each table contains fields describing the attributes of each feature (Fig. 4). The tables are interconnected through various types of relationships, allowing the definition of association between different entities, such as the belonging of a tomb to a specific burial mound. Consequently, after data entry, it is possible to query the information structured in the database, ranging from simple to complex queries (e.g., which SUs are within Tumulus A?, but also, how many male individuals are buried into Tumulus A?) (Fig. 5a-b).



a



b

Fig. 5 – a-b) Data entry modules for the TOMBE table.

The data entry phase is currently underway, with different progress stages for the two case studies. The geodatabase was firstly applied to the eastern necropolis of Padova, where the excavation is still ongoing, urgently requiring efficient documentation management. To date, 57 out of 314 burials have been published; the majority (219 burials) have been excavated but not yet restored

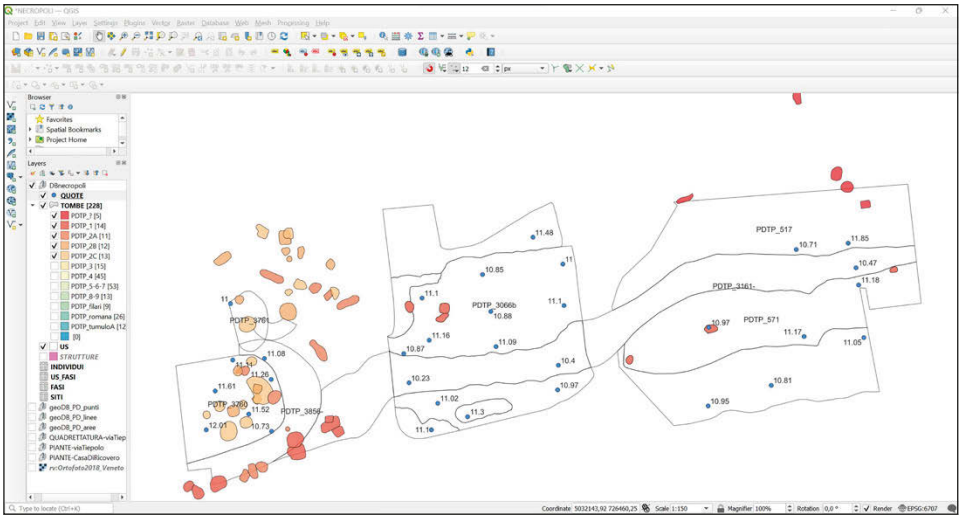


Fig. 6 – Preliminary plan of phases I and II of the excavation at via Tiepolo-via S. Massimo 1990-1991 (Padova).

and/or studied, while the remaining 38 are yet to be investigated. Given the characteristics of the archive documentation and the excavation workflow, data entry began with the tombs table. At present, all burials have been positioned and vectorized on the general plan, and information regarding the tombs from the earliest phases has been entered. This has resulted in a preliminary phase plan (Fig. 6), which may be modified in the future once excavation, restoration, and study of all burials are completed. Since the beginning, it has seemed fundamental to provide the database with a structure flexible enough not only to collect data but also to update and modify them over time. An example is the refinement of the burial's chronology, which can only be verified at the end of archaeological studies on stratigraphy and artefacts.

In the second phase of this work, the same system was applied to the sector of the Este necropolis. In this case, the same geodatabase serves solely for study purposes, as both excavation and restoration of all grave goods have been completed. For the Casa di Ricovero necropolis, the data entry phase is still in its early stages; however, among the main expected outcomes is the elaboration of chronological and distribution plans for an upcoming publication.

C.M.

2.3 *Database and legacy data: balancing flexibility and standardisation*

The geodatabase developed for the Iron Age necropolises of the Veneto region is a tool designed to collect, organise, and standardise archive data,

integrating them with the latest information from ongoing excavations and research. It addresses the well-known challenge of managing legacy data (Gattiglia 2015, 5-6; Buscemi *et al.* 2020, 189-201; Figuera 2020, 37-44, 97-106; D'Andrea 2022) and, more broadly, information coming from archive documentation.

Although the database architecture was designed based on both the characteristics of documentation and the research purposes, inconsistencies and gaps in the documentary record become more evident during the data entry process (e.g., plans lacking elements for accurate georeferencing, or difficulties in converting relative elevations into AMSL values after 30 years). These issues are addressed on a case-by-case basis through an analytical review of the documentation and, if necessary, the development of new fields within the tables. As expected, the data entry process proves to be demanding in terms of time and energy, but also shows the solidity of the system and provides an opportunity for continuous refinement of the geodatabase architecture.

The research needs played a crucial role during the design phase, balancing the standardisation of old data with their ongoing updating, and addressing practical-organizational imperatives alongside study purposes. To meet these needs, a compromise was necessary to develop a tool that is formalised enough to be functional, while still acknowledging the specificities of archaeological data and documentation. Since the geodatabase's architecture has been successfully applied to two of the most important Iron Age necropolis in Veneto, its potential for application to other funerary areas in the future cannot be overlooked. Furthermore, by allowing the collection of large quantities of standardised data, it will be possible to easily compare such information across different necropolises.

C.M.

3. Hypothetical reconstruction of burial mounds – BIM application

3.1 *BIM applications in archaeology: limits and perspectives*

Virtual archaeology primarily aims to simulate reconstructive hypotheses of lost contexts through processes of interpretation, acquisition, analysis, and processing of 3D digital data. It constitutes a powerful research tool whose purpose goes beyond mere three-dimensional reconstruction (Demetrescu 2018; Ferdani *et al.* 2020; Demetrescu, Ferdani 2021). In line with the principles emphasized by the London Charter and the seventh Principle of Seville (Gabellone 2012, 2015), research in this field focuses on the development of semantically enriched three-dimensional models, where each geometric element is accompanied by transparent and accessible information.

Among the most promising methods in the field of virtual archaeology stands out the 'Extended Matrix' (EM) initiative, developed by CNR-ISPC

in Rome. This methodology is based on extending the stratigraphic principle to virtual geometric units, implementing a standardized system capable of managing all phases of virtual reconstruction and integrating the sources used within it (Demetrescu 2018; Demetrescu, Ferdani 2021). Alongside EM, other approaches, such as adapting Building Information Modelling (BIM) to cultural heritage and archaeology, appear equally promising, aiming to achieve similar goals using different tools.

BIM is an integrated digital methodology originally developed for architectural design and the management of new constructions (Sacks *et al.* 2018), but it has subsequently been successfully employed to analyse historical buildings, assuming the designation of H-BIM (Heritage Building Information Modelling; Delpozzo 2023, 54-62). This approach is based on three-dimensional surveys of structures, from which a digital model founded on parametric elements is generated, usually created or adapted specifically for the buildings under study. However, a significant limitation of this approach is the need to produce and manage parametric elements that often fail to effectively capture the variability of historical or archaeological structures.

In the literature, there are still limited examples of BIM applications in largely incomplete archaeological contexts (Dell'Unto, Landeschi 2022, 31-32; Delpozzo 2023, 54-62), as in the case of the tumuli that were the subject of our project. The objective was to test the advantages and disadvantages of this approach in contexts characterised by limited and often incomplete data.

F.Be.

3.2 *BIM testing on the reconstruction of Este and Padova's burial mounds: problems and possible solutions*

The digitalisation of Este and Padova's burial mounds presented real challenges. The creation of the BIM model involves geometric-spatial digitisation but above all the insertion of information. The digitisation of funerary structures presupposes a different approach than that used for architectural design. In fact, a series of useful parameters have been introduced in order to define the archaeological and topographic character of the study.

In creating the informative model, it was fundamental to include geographic orientation, chronological phases, and the ground level with its elevation measures. The method of representation for both burial mounds is the same and its aim was to illustrate the structures at the moment of their greatest complexity. For Padova's Tumulus A, it was decided to reconstruct not only its later phase but also its previous three, so that we could show, in addition to its latest appearance, also its development over time.

The main digital elements included in the models are: topographical context, boundary structures (such as fences or slabs), and burials. Among the families of this digital system, the weaker one turned out to be 'topography',

which was unable to reproduce the appearance of the structures. The information that was necessary for modelling the ground was scarce in relation to the extension of the area. By using the few available elevation measures, it was possible to obtain a very basic and poorly defined geometric shape. This was especially the case of Padova's Tumulus A, which was huge and even more impressive if compared to Este's burial mound. Only for the surfaces, it was decided to use an intermediary software specific for 3D modelling, which allowed the representation of the funerary structures more accurately and quickly. Once the 3D model was complete, it was imported and developed in the BIM software.

Nonetheless, for Padova's Tumulus A it was necessary to add hypothetical elevation measures for two main reasons: lack of information (the scans of the structure were partial because the burial mound was partially not included in the excavation area), and the volumetric compression of the burials over time, which could have caused in some cases biased measurements. After the preliminary surfaces were created and imported, they were used as a 'cast' for modelling the final surfaces. For Tumulus A, it was also possible to divide the main surface into sub-elements and illustrate its stratigraphic units (Fig. 7a).

Using the tool 'topography', it was not possible to represent the ground in a realistic way, as a volumetric object with an irregular surface. Rather, it turned out to be a simple solid, resulting from the projection of the shape of the stratigraphic units. This necessarily caused problems, given that the many stratigraphic units that were identified, appeared to be correct in plan but not in section. Only after surfaces were created, embankments and burials, such as small pillars, walls, and generic models (burials), were digitalized using basic families of the BIM software (Fig. 7b).

The most interesting phase was data entry. Thanks to its documentation, it was possible to create a model of Padova's burial mound that was almost completely accurate, but this was not the same for Este's Tumulus L (Fig. 7c). Each element composing the surface was categorised based on information linked to its historical aspects and its modelling: identification, typology, appearance, and texture of the material, adjacent SUs, and state of preservation. A different category of parameters is the one related to modelling. To avoid a misleading reconstruction, it was necessary to distinguish between areas that were reconstructed by analogy (those lacking a precise cartographic documentation) and those produced from plans drawn during the excavation.

Burials have less linked information: identification, typology, characteristics, and dimensions.

After the data entry, the software was able to elaborate dimensional information, such as the areas of burial mounds (Fig. 8a-b). Even if these objects were created automatically, this was not the case of their volumetry. The only solution could have been using intermediary elements, such as

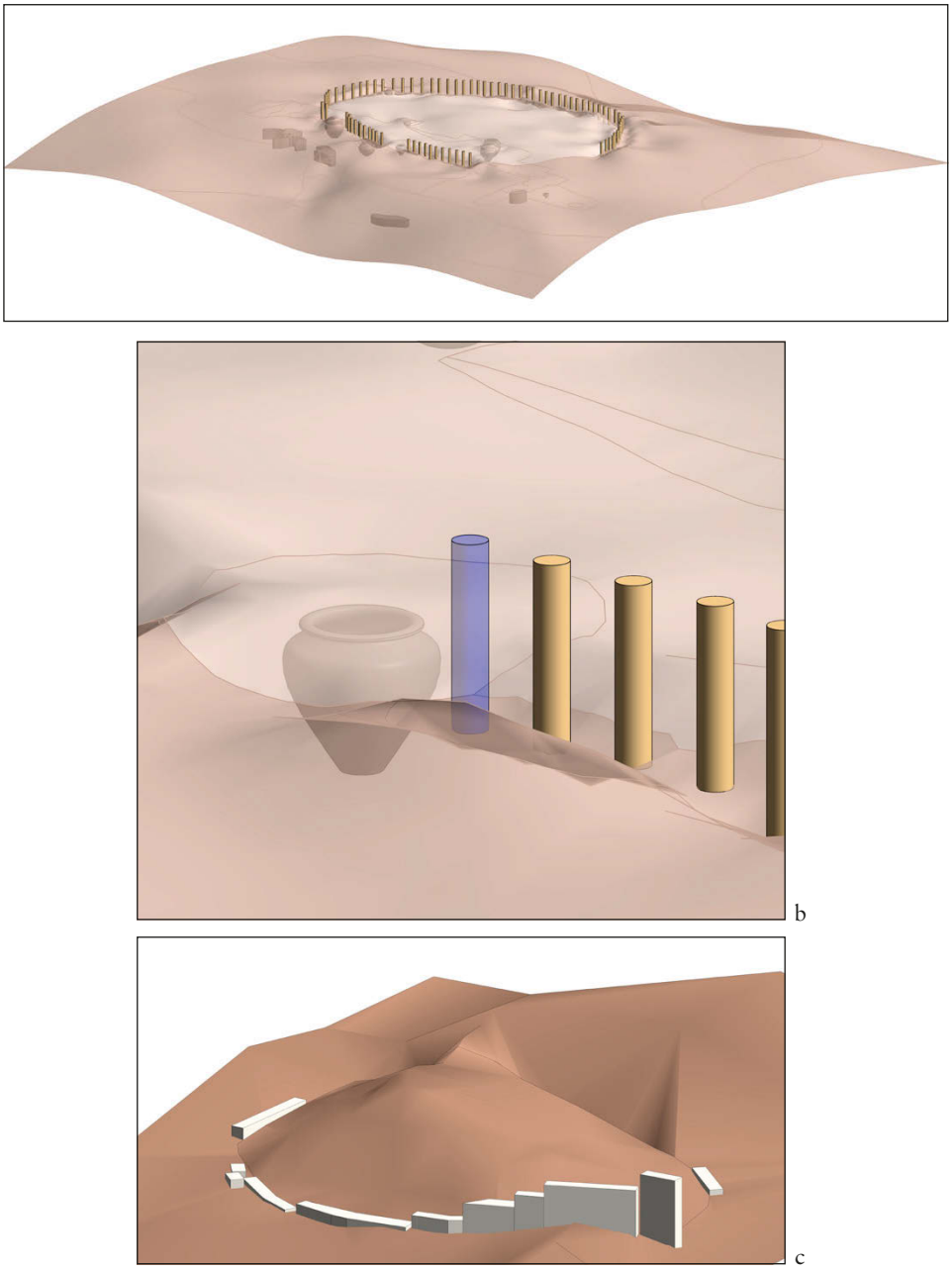


Fig. 7 – BIM reconstructions of burial mound. a-b) Tumulus A in Padova, via Tiepolo-via San Massimo 1990-1991, general and detail views. c) Tumulus L in Este, Casa di Ricovero 1983-1993.

<Superficie tumulo fase 5>

A	B	C
Fase	Area superficie	Posizione
Fase 5	0.87 m²	Esterno cordolo
Fase 5	1.41 m²	Esterno cordolo
Fase 5	1.49 m²	Esterno cordolo
Fase 5	1.22 m²	Esterno cordolo
Fase 5	1.88 m²	Esterno cordolo
Fase 5	20.24 m²	Esterno cordolo
Fase 5	551.02 m²	Esterno cordolo
Fase 5	7.88 m²	Esterno cordolo
Fase 5	5.18 m²	Esterno cordolo
Fase 5	6.09 m²	Esterno cordolo
Fase 5	0.66 m²	Esterno cordolo
Fase 5	2.13 m²	Esterno cordolo
Fase 5	2.71 m²	Esterno cordolo
Esterno cordolo: 13	602.78 m²	
Fase 5	13.35 m²	Interno cordolo
Fase 5	5.49 m²	Interno cordolo
Fase 5	65.79 m²	Interno cordolo
Fase 5	0.17 m²	Interno cordolo
Interno cordolo: 4	84.79 m²	
	687.57 m²	

a

<Superficie tumulo>

A	B	C
Fase di creazione	Area superficie	Posizione
Fase 1	15 m²	Esterno al perimetro
Fase 1	4 m²	Interno al perimetro

b

Fig. 8 – Surface areas of different phases and SUs of the reconstructed burial mounds. a) Phase 5 of Tumulus A at via Tiepolo-via San Massimo 1990-1991, Padova. b) Phase 1 of Tumulus L at Casa di Ricovero 1983-1993, Este.

masses, but these cannot be represented accurately and generate errors. This is the reason why this solution was temporarily left aside.

After the main phases of data entry and modelling were complete, it was possible to retrieve information through tables, so that the database could be easier to use.

What was clear at the end of these experiments, was the lack of tools appropriate for this kind of modelling. These attempts to recreate an

archaeological object, which often differs from standard parameters, posed a variety of problems; although it was possible to produce models that are sufficiently accurate and that can represent a starting point for future experiments.

M.V.F.

3.3 *Potential and challenges of BIM in burial mounds reconstruction: results and possible developments*

The application of BIM to the reconstruction of two funerary structures from the necropolises of Padova and Este represented an experiment to evaluate the usefulness of this method in a peculiar archaeological context, which is very different from the architectural field for which it was originally conceived (Garagnani *et al.* 2021; Mancuso 2023). The funerary structures were chosen for their similarities and differences: both were built mainly with geological sediments; in the case of Este the enclosure consisted of limestone slabs, while in Padova it was made of plastic sediments reinforced by a wooden fence. The state of preservation of this perishable construction materials was a critical variable in the reconstruction process.

The objectives of the experiment were twofold: the acquirement of a digital copy of the structure containing all information, and subsequently, the creation of a virtual reconstruction as a dissemination tool. The two selected structures have different levels of documentation detail, providing a good basis for comparing method's effectiveness. Tumulus A proved to be an optimal case study, with numerous detail plans, four general phase plans, and a cumulative section. Tumulus L, on the other hand, highlighted several problems due to limited documentation (only a multi-layered plan and a section). In the latter case, the absence of phase plans prevented the collection of some data related to SUs and the computation of analyses, such as about extension. Thus, the limitations of BIM application to contexts with poor documentation became evident.

The results demonstrate that, despite BIM allowed for the acquisition of new relevant dimensional information, such as the extension areas of the structures, satisfactory volumetric data could not be obtained in the processing of both models.

In conclusion, the application of Building Information Modelling to reconstruct the burial mounds of Padova and Este must be considered experimental. Results are limited to a visual product and a data collection function. This experience clearly shows the need for further studies to focus on refining models for these unusual field of application, characterised by perishable construction materials. Among the possible scenarios, particular focus should be placed on the analysis of compressed soil deposits to determine the original volumes, in order to estimate the quantity of material used in the construction of the tumuli and, consequently, assess the required labour.

F.Bo.

4. Conclusions

It seems useful to draw some conclusions from these experiments, which started with some delay and as part of a work in progress, strongly influenced by the advancement of ongoing studies and research. There are two main themes, seemingly autonomous but actually intertwined: the georeferencing of findings, within the relational database, and the development of informative 3D models of funerary structures. The first one constitutes the basis for managing a plethora of sometimes inconsistent data, useful only if inserted into an organic framework. In the case of the necropolis of Padova, the geodatabase is already offering effective results in the planning of new excavation campaigns. The second research topic – concerning the challenging attempt of reconstructing a portion of the necropolis landscape – has shown issues and limits arising from some choices. We were aware that the field documentation was incomplete in some respects, nevertheless we believe that our study was useful to test the strengths and pitfalls of BIM. Indeed, this software proved to be effective given the quality of data. Anyway, a wider and deeper consideration may be necessary for selecting the right software and tools suited for the available documentary record, in order not to waste precious energies.

Overall, it can be considered a positive experience, as it has allowed us to lay the foundations for a comparison with other, more advanced realities in the Italic Archaeology, working towards the same direction and common goals.

G.G.

Giovanna Gambacurta, Fiorenza Bortolami, Cecilia Moscardo
Dipartimento di Studi Umanistici
Università Ca' Foscari di Venezia
giovanna.gambacurta@unive.it, fiorenza.bortolami@unive.it, moscardo.cecilia@gmail.com

Federico Bernardini
Dipartimento di Studi Umanistici, VeDPH
Università Ca' Foscari di Venezia
federico.bernardini@unive.it

Martina Vanessa Filannino
martinafilannino95@gmail.com

Angela Ruta Serafini
già Soprintendenza Archeologia del Veneto
angela.fausta.ruta@gmail.com

Acknowledgements

We would like to express our gratitude to the entire Venice Centre for Digital and Public Humanities (VeDPH) at Ca' Foscari University, especially Eleonora Delpozzo and Daniele Fusi, whose advice and expertise were priceless in guiding the research.

REFERENCES

Balista C., Drusini A., Rippa Bonati M., Ruta Serafini A. 1988, *I resti umani cremati della necropoli Ricovero di Este: metodi di studio e prospettive*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 4, 267-286.

Bianchin Citton E., Gambacurta G., Ruta Serafini A. (eds.) 1998, *…"presso l'Adige ridente"…Recenti rinvenimenti da Este a Montagnana*, Catalogo della mostra, Padova, ADLE Edizioni.

Bogdani J. 2009, *GIS in archeologia*, in E. Giorgi (ed.), *Groma 2. In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, Bologna, BraDypUS, 421-438.

Bogdani J., De Mitri E. 2017, *A Bibliography on the Application of GIS in Archaeology and Cultural Heritage*, «Groma», 2, 1-13 (https://doi.org/10.12977/groma12).

Bortolami F. 2023, *Aria di famiglia. Identità e società nel Veneto preromano*, Mantova, SAP.

Buscemi F., Militello P.M., Santagati C., Figuera M., D'Agostino G., Aiello D.A.A. 2020, *Use and reuse of spatial and quantitative data in archaeology: From 3D survey to serious game at Phaistos (Crete)*, «Archeologia e Calcolatori», 31.1, 189-212 (https://doi.org/10.19282/ac.31.1.2020.09).

Chieco Bianchi A.M. 1987, *Dati preliminari su nuove tombe di III secolo da Este,* in D. Vitali (ed.), *Celti ed Etruschi nell'Italia centro-settentrionale dal V sec. a.C. alla romanizzazione*, *Atti del Colloquio Internazionale (Bologna 1985)*, Imola, Edizioni Santerno, 191-236.

Chieco Bianchi A.M., Calzavara Capuis L. 1985, *Este I. Le necropoli Casa di Ricovero, Casa Muletti Prosdocimi, Casa Alfonsi*, Monumenti Antichi dell'Accademia Nazionale dei Lincei, 2 (LI serie generale), Roma, Giorgio Bretschneider.

D'Andrea A. 2000, *Modelli GIS nel Cultural Resource Management*, in A. D'Andrea, F. Niccolucci (eds.), *Atti del I Workshop Nazionale di Archeologia Computazionale (Napoli-Firenze 1999)*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 153-170 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF11/1.10%20Dandrea.pdf).

D'Andrea A. 2022, *From CAD to GIS: Critical issues in the reuse of legacy archaeological data*, «Archeologie tra Oriente e Occidente», 1, 35-47 (https://doi.org/10.6093/archeologie/9838).

Dell'Unto N., Landeschi G. 2022, *Archaeological 3D GIS*, London, Taylor & Francis (https://doi.org/10.4324/9781003034131).

De Min M., Gamba M., Gambacurta G., Ruta Serafini A. (eds.) 2005, *La città invisibile. Padova preromana. Trent'anni di scavi e ricerche,* Bologna, Tipoarte.

Delpozzo E. 2023, *Urbanistica e architettura ad Altino in età romana: un approccio integrato GIS-BIM*, Tesi di Dottorato, Università Ca' Foscari Venezia.

Demetrescu E. 2018, *Virtual reconstruction as a scientific tool: The Extended Matrix and source-based modelling approach*, in S. Münster, K. Friedrichs, F. Niebling, A. Seidel-Grzesińska (eds.), *Digital Research and Education in Architectural Heritage*, *5th Conference, DECH 2017, and 1st Workshop, UHDL 2017 (Dresden 2017)*, Revised Selected Papers, Communications in Computer and Information Science, vol. 817, Cham, Springer, 102-116 (https://doi.org/10.1007/978-3-319-76992-9_7).

Demetrescu E., Ferdani D. 2021, *From field archaeology to virtual reconstruction: A five steps method using the Extended Matrix*, «Applied Sciences», 11, 11, 5206 (https://doi.org/10.3390/app11115206).

Ferdani D., Demetrescu E., Cavalieri M., Pace G., Lenzi S. 2020, *3D modelling and visualization in field archaeology. From survey to interpretation of the past using digital technologies*, «Groma», 4, 1-21.

Figuera M. 2020, *Un sistema per la gestione dell'affidabilità e dell'interpretazione dei dati archeologici. Percezione e potenzialità degli small finds: il caso studio di Festòs e Haghia Triada*, Oxford, Archaeopress.

Gabellone F. 2012, *La trasparenza scientifica in archeologia virtuale: una lettura critica al principio N.7 della Carta di Siviglia*, «SCIRES-IT - SCIentific RESearch and Information Technology», 2, 2, 99-124 (http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v2n2p99).

Gabellone F. 2015, *The scientific transparency in Virtual Archaeology: New guidelines proposed by the Seville Charter*, in F. Chen, F. Gabellone, R. Lasaponara, G. Leucci, N. Masini, R. Yang (eds.), *Remote Sensing and ICT for Cultural Heritage: From European and Chinese Perspectives*, CNR IBAM – IMAA, CAS, 77-112.

Gamba M., Gambacurta G., Ruta Serafini A. (eds.) 2014, *La Prima Padova. Le necropoli di Palazzo Emo Capodilista-Tabacchi e di via Tiepolo–via San Massimo tra il IX e l'VIII secolo a.C.*, Venezia, Regione del Veneto - Dipartimento Cultura.

Gamba M., Gambacurta G., Ruta Serafini A. 2015, *Paesaggi e architetture delle necropoli venete*, in G.M. Della Fina (ed.), *La delimitazione dello spazio funerario in Italia dalla Protostoria all'età arcaica. Recinti, circoli, tumuli*, Annali della Fondazione per il Museo «Claudio Faina», 22, 87-112.

Gambacurta G. 2009, *La romanizzazione di Padova attraverso le sepolture: un esempio di scavo in laboratorio*, in F. Veronese 2009 (ed.), *Via Annia. Adria, Padova, Altino, Concordia, Aquileia. Progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*, *Atti della giornata di studio (Padova 2007)*, Padova, Il Poligrafo, 19-29.

Gambacurta G. 2011, *La necropoli tra via Tiepolo e via San Massimo a Padova dalla protostoria alla romanizzazione: nuovi dati*, in F. Veronese 2011 (ed.), *Via Annia II. Adria, Padova, Altino, Concordia, Aquileia. Progetto di recupero e valorizzazione di un'antica strada romana*, *Atti della giornata di studio (Padova 2009)*, Padova, Il Poligrafo, 125-169.

Gambacurta G., Moscardo C., Pettenò E., Prosdocimi B., Ruta Serafini A., Santinon F. 2023, *Collaborazione istituzionale e sperimentazione di restauro: lo scavo delle tombe dalla necropoli tra via Tiepolo e via San Massimo a Padova*, in G. Carraro, A. Zara (eds.), *Sinergie. Tutela, Ricerca e Valorizzazione*, *Atti della Giornata di Studi in onore di Anna Maria Chieco Bianchi (Padova 2022)*, «R.I.S.A.», 1, Padova, SAV, pp. 63-73.

Gambacurta G., Ruta Serafini A., Sainati C. in press, *Un angolo magico di Este (PD): l'area archeologica della Casa di Ricovero*, in *Studi in onore di Luigi Malnati*.

Garagnani S., Gaucci A., Moscati P., Gaiani M. 2021, *ArchaeoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bologna, Bononia University Press.

Gattiglia G. 2015, *Think big about data: Archaeology and the Big Data challenge*, «Archäologische Informationen», 38, 1-12 (http://dx.doi.org/10.11588/ai.2015.1.26155).

Howey M.C.L., Brouwer Burg M. (eds.) 2017, *Archaeological GIS today: Persistent challenges, pushing old boundaries, and exploring new horizons*, «Journal of Archaeological Science», 84, 1-136 (https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-archaeological-science/vol/84/suppl/C).

Leonardi G., Cupitò M. 2011, *Necropoli "a tumuli" e "ad accumuli stratificati" nella preistoria e protostoria del Veneto*, in A. Naso (ed.), *Tumuli e sepolture monumentali nella protostoria europea*, *Atti del Convegno internazionale (Celano 2000)*, Mainz, RGZM Tagungen, Band 5, 13- 49.

Mancuso G. 2023, *ArchaeoBIM ed Extended Matrix. Analisi e potenzialità di due processi per l'elaborazione di modelli informativi*, «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 123-142 (https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.07).

Millo L. 2021, *Le sepolture della fase III (675-625/600 a.C.) del settore nord-ovest della necropoli patavina di via Tiepolo-via San Massimo*, in M. Gamba, G. Gambacurta, F. Gonzato, E. Pettenò, F. Veronese (eds.), *Metalli, creta, una piuma d'uccello… Studi di archeologia per Angela Ruta Serafini*, Mantova, SAP, 105-116.

Moscardo C. 2018-2019, *La ritualità funeraria a Padova nel VI secolo a.C. Le tombe del tumulo A della necropoli di via Tiepolo – via San Massimo*, Tesi di Laurea Magistrale, Università Ca' Foscari di Venezia.

Moscati P. 1998, *GIS applications in Italian archaeology*, in P. Moscati (ed.), *Methodological Trends and Future Perspectives in the Application of GIS in Archaeology*, «Archeologia e Calcolatori», 9, 191-236 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF9/09_10_Moscati.pdf).

Ruta Serafini A. (ed.) 1990, *La necropoli paleoveneta di via Tiepolo a Padova. Un intervento archeologico nella città*, Catalogo della mostra, Padova, Libreria Editrice Zielo.

Ruta Serafini A. (ed.) 2002, *Este preromana: una città e i suoi santuari*, Treviso, Canova.

Sacks R., Eastman C.M., Lee G., Teicholz P. 2018, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers*, Hoboken, John Wiley and Sons.

Scianna A., Villa B. 2011, *GIS applications in archaeology*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 337-363 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=600).

ABSTRACT

The results of two distinct projects on two pre-Roman funerary areas are presented: the eastern necropolis of Padova between via Tiepolo and via S. Massimo (excavations 1990-1991), and the northern necropolis of Este in the area of Casa di Ricovero (excavations 1983-1993). The first project focused on building of a geodatabase to manage and archive documentation data, as well as to consciously plan resources allocation and research steps. The second project, on the other hand, focused on 3D reconstructions of two burial mounds in a BIM environment, with both research and dissemination aims. Therefore, it was possible to experiment with the limits, potential, and effectiveness of this method in an unusual archaeological context, characterised by monuments built mainly with perishable materials and lacking architectural structures.

IMAGES ANTIQUES ET HUMANITÉS NUMÉRIQUES: SECTION SPÉCIALE ÉDITÉE PAR LE PROGRAMME ARCHEONUM

sous la direction de
Virginie Fromageot-Laniepce, Anne-Violaine Szabados

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 137-138
doi 10.19282/ac.35.1.2024.10

IMAGES ANTIQUES ET HUMANITÉS NUMÉRIQUES: UNE INTRODUCTION

Parallèlement à une collaboration de longue durée avec la revue «Archeologia e Calcolatori», les équipes d'ArScAn "Archéologie du monde grec et systèmes d'information" et "ESPRI-LIMC" – connue comme l'héritière de l'équipe française du *Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae*, ressource encyclopédique de référence pour l'étude de l'iconographie antique – se sont associées pour organiser les séminaires ArcheoNum. Au sein de notre laboratoire, l'UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn, CNRS – Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne – Université Paris Nanterre, Ministère de la Culture, Université Paris 8 Vincennes Saint-Denis, INRAP), plusieurs projets collectifs ont été créés par les membres du laboratoire pour développer des axes de recherche ouvrant de nouveaux champs de collaboration. ArcheoNum a été pensé pour offrir un espace d'échanges transverses sur les questions de l'archéologie et du patrimoine culturel dans les humanités numériques.

La revue «Archeologia e Calcolatori» a déjà répondu à notre souhait de parution des retours d'expériences, des équipes d'ArScAn d'une part, d'ArcheoNum d'autre part. Ainsi, a-t-elle publié dans son volume 33.2 de 2022 l'article d'Alain Arnaudiès, *Le temple de Karnak et les publications numériques*. Par ailleurs, ArcheoNum diffuse sur son blog les programmes des séminaires (https://archeonum.hypotheses.org/).

Les deux conférences d'ArcheoNum publiées dans cette section se sont déroulées le 14 décembre 2022 et le 2 février 2023 à Nanterre, à la Maison des Sciences de l'Homme Mondes (ex-Maison René-Ginouvès). Elles ont rassemblé les collègues invités qui ont présenté leurs expériences méthodologiques et leurs pratiques relatives à l'acquisition, au traitement, à l'interopérabilité, à la préservation et à la réutilisation des données de la recherche, des textes, des images, ainsi qu'à la modélisation des connaissances et à l'*open data*.

Le sujet des corpus d'images a été choisi comme axe central et une démarche comparative entre quatre communications (trois publiées ici) nous est apparue féconde aussi bien de connaissances archéologiques que d'échanges méthodologiques.

L'édition scientifique en ligne du *Digital Muret* et de la Collection Muret est présentée dans cette section par Cécile Colonna, spécialiste des objets et des collections de l'antiquité classique et conseillère scientifique à l'Institut national d'histoire de l'art pour le domaine de l'Histoire de l'art antique et de l'archéologie et par Federico Nurra, chef du Service numérique de cet institut.

La communication de Fabien Bièvre-Perrin, maître de conférences à l'Université de Lorraine et responsable du projet européen "Feminicon" qui

explore l'iconographie féminine en Grande-Grèce et en Illyrie du VIII^e^ au III^e^ siècle avant J.-C., avec le financement d'un programme Horizon 2020 – Marie Sklodowska-Curie, n'est pas incluse dans ce volume, mais sera à retrouver sur un autre support (Bièvre-Perrin F. à paraître, *Feminicon: Digitalizing collections and encoding Italiote iconography*, dans les actes du colloque *Contextualising South Italian Red-Figure Pottery – the case of Apulia*, édités par V. Nørskov, F. Silvestrelli, G. Shepherd, colloque organisé à Rome, à l'Accademia du Danimarca, 16-17 janvier 2023).

Stéphanie Derwael, maîtresse de conférences à l'Université de Liège, a valorisé son expérience d'une jeune chercheuse investie dans la constitution d'un nouveau corpus autour de la végétalisation de la figure humaine dans le monde romain, sur tous supports et de toutes régions de l'antiquité. Elle a mis en relief la richesse des contenus et des usages de cette base de données et d'images en favorisant la polyvalence de cette ressource numérique pour atteindre les publics les plus divers.

Natacha Lubtchansky, professeure à l'Université de Tours et spécialiste de l'archéologie funéraire étrusque et de la fortune de l'antiquité étrusque auprès des savants, collectionneurs, artistes et architectes rend compte d'un abondant corpus de décors étrusques; associée à Alban-Brice Pimpaud, infographiste professionnel, elle aborde la présentation de doubles virtuels de deux tombes de Tarquinia inaccessibles au public.

Avec la contribution d'Anne-Violaine Szabados, ingénieure de recherche au CNRS, le curseur se déplace vers le Traitement Automatique de la Langue abordé par un rapprochement pluridisciplinaire des linguistes et des historiens d'art, des archéologues autour de la reconnaissance automatique et de l'analyse des titres d'œuvres figurées antiques. Cet article qui témoigne d'une question innovante s'inscrit parfaitement dans le partenariat avec la revue.

Nous saluons la richesse de ces contributions et remercions chaleureusement nos collègues d'avoir nourri nos échanges. Nous sommes particulièrement reconnaissantes à Paola Moscati et à Alessandra Caravale de la publication de cette section dans «Archeologia e Calcolatori» et au laboratoire ArScAn pour le soutien financier qu'il a apporté aux deux conférences.

Virginie Fromageot-Laniepce, Anne-Violaine Szabados
CNRS, UMR ArScAn, Nanterre
virginie.fromageot@cnrs.fr, anne-violaine.szabados@cnrs.fr

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 139-156
doi 10.19282/ac.35.1.2024.11

LE *DIGITAL MURET*, UNE ÉDITION NUMÉRIQUE ENRICHIE D'UN RECUEIL DE DESSINS D'OBJETS ARCHÉOLOGIQUES DU XIX[E] SIÈCLE

1. Introduction

Au moment de la rationalisation progressive de l'archéologie au XIX[e] siècle, l'image joue un rôle prépondérant et souvent sous-estimé dans les bouleversements épistémologiques de l'approche des objets. Pour les archéologues et savants du temps, il est essentiel de bâtir une documentation solide qui puisse servir de base au développement de l'archéologie comme science à part entière. Reproduire et donner à voir la masse des œuvres qui sortent alors de terre, dans des fouilles dont la légalité n'est pas toujours établie, est un enjeu crucial. Le dessin, avant l'invention de la photographie et encore longtemps après, est le moyen privilégié pour documenter un état des vestiges archéologiques, diffuser leur connaissance, et bâtir des corpus d'étude.

Un recueil de dessins inédits de Jean-Baptiste Muret, conservé à la Bibliothèque nationale de France (Paris), permet d'appréhender cette construction du savoir à Paris entre les années 1830 et 1860. Sa récente édition numérique permet à la fois de participer à l'écriture de cette histoire de la discipline, et de donner l'occasion aux chercheurs d'aujourd'hui de s'emparer d'une riche documentation qui se révèle toujours utile aux études actuelles. Elle met aussi en lumière les modalités, les bénéfices et les perspectives de cette exposition numérique des données.

2. Une histoire de l'art antique inachevée

2.1 *Un dessinateur pour la collection archéologique du Cabinet des médailles (Paris)*

Au XIX[e] siècle, le Cabinet des médailles, aujourd'hui département des Monnaies, médailles et antiques de la Bibliothèque nationale de France, était un des principaux centres parisiens pour les sciences de l'antiquité; on y étudiait la numismatique, bien sûr, mais aussi l'histoire de l'art et l'archéologie (Sarmant 1994; Aghion 2009; Avisseau-Broustet, Colonna 2017). Les séries d'objets rassemblées à partir du noyau de la collection du comte Anne Claude Philippe de Caylus permettaient l'accès à un matériel abondant et varié, aussi bien anciennement connu qu'issu des fouilles récentes. La première chaire d'enseignement de l'archéologie en France est d'ailleurs créée, en 1795, au sein de la Bibliothèque. Elle est occupée par Aubin-Louis Millin, le garde du Cabinet, puis par Antoine Chrysostome Quatremère de Quincy et à partir de

1828 par Désiré Raoul-Rochette, conservateur du département jusqu'en 1848 (Gran-Aymerich, Lubtchansky 2010; Lubtchansky 2015). Ce dernier est un des plus éminents spécialistes de l'antiquité de son temps, membre de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres en 1816, secrétaire perpétuel de l'Académie des Beaux-Arts en 1838; il converse aussi avec les savants de toute l'Europe (Gran-Aymerich, Ungern-Sternberg 2012). Il décide, en 1830, de recruter un dessinateur pour le Cabinet des médailles, et son choix se porte sur Jean-Baptiste Muret, un dessinateur et lithographe de 35 ans qui a notamment participé au grand recueil de Vivant Denon, les *Monuments des arts du dessin chez les peuples tant anciens que modernes,* paru en 1829, puis aux *Monuments inédits,* le premier grand ouvrage de Raoul-Rochette paru en 1833 (Bodenstein, Colonna 2019).

On ne possède que peu d'archives permettant de comprendre les motivations de cette création de poste, qui reste une exception dans les musées français qui ont rarement employé à plein temps un dessinateur. La raison de son embauche laisse supposer la volonté d'établir une documentation systématique des œuvres qui arrivent alors régulièrement dans les collections, au gré des achats ou dons; Raoul-Rochette, dans les années 1830-1840, a une politique d'acquisition très soutenue, et il profite notamment d'un marché parisien en pleine expansion, avec l'établissement de marchands spécialisés et le développement des ventes aux enchères qui dispersent des collections dont les œuvres proviennent alors principalement d'Italie, comme le montrent les résultats du *Répertoire des ventes d'Antiques en France au XIXe siècle*, un programme de recherche mené par l'Institut national d'histoire de l'art et le musée du Louvre, consultable sur la plateforme AGORHA (https://agorha.inha.fr/database/47).

Cependant, Jean-Baptiste Muret est rapidement en charge d'autres tâches au Cabinet: la réalisation des moulages des monnaies ou pierres gravées nécessaires aux publications du Cabinet, comme le *Trésor de numismatique et de glyptique*, projet en vingt volumes dirigé par Paul Delaroche, Louis-Pierre Henriquel-Dupont et Charles Lenormant entre 1831 et 1850, et il continue toute sa vie à réaliser des gravures et des lithographies pour des publications scientifiques. Mais il acquiert aussi, peu à peu, un savoir sur les œuvres, ce qui lui vaut d'être chargé, à la fin des années 1840, de l'établissement des fiches d'inventaire de la collection archéologique, travail de grande ampleur puisqu'il s'agit de classer et de décrire tous les objets (hors numismatique et glyptique); près de 5000 fiches de sa main sont conservées. Ce savoir se nourrit aussi certainement de la fréquentation régulière du Cabinet par une quantité de savants et de collectionneurs: l'accueil des visiteurs venant étudier les collections archéologiques fait partie de ses attributions. Muret reste au Cabinet jusqu'à sa mort en 1866, et il a alors acquis un statut un peu hydride d'archéologue-dessinateur, reconnu par nombre de savants de l'époque.

2.2 *Un projet ambitieux et original*

Tout au long de sa carrière, Muret a dessiné nombre d'objets archéologiques, bien au-delà de la collection du Cabinet des médailles, en les organisant sur de grandes planches *in folio*. Ce volumineux ensemble a été acquis par le Cabinet des médailles à son fils Ernest en 1867 (Colonna, Haumesser 2019). Il s'agit de 1986 planches, qui sont arrivées en vingt portefeuilles à la BnF, et qui ont été réunies plus tard, en 1882, en onze volumes. Elles rassemblent les vues de près de huit mille objets (7762 exactement), principalement antiques; une large part provient des collections de la Bibliothèque, mais cela est loin de former la majorité. On retrouve les objets nouvellement acquis, mais aussi des objets des anciens fonds; on ne décèle aucun systématisme, ni dans les choix (tout n'est pas dessiné), ni dans la manière de dessiner (angles de vue, multiplicité des faces, etc.). Surtout, ces objets sont mis en séries avec de nombreux autres, vus dans des collections privées, des musées publics, ou recopiés dans des publications anciennes ou récentes. Les mentions de ces lieux de conservation témoignent de l'engouement des grands et petits collectionneurs de l'époque pour le petit patrimoine archéologique: plus de 160 amateurs, fameux ou oubliés, sont mentionnés dans le recueil, notamment de nombreux collectionneurs de province (Vauquelin 2018). Les planches de Muret montrent l'établissement d'une documentation tentant d'embrasser largement le savoir archéologique de son temps (Fig. 1a).

Les dessins sont presque tous mis en couleur, tracés à la mine de plomb et colorés à l'aquarelle; cette technique permet de rendre avec beaucoup d'attention non seulement la forme mais aussi l'aspect de surface, avec tous ses accidents, irrégularités, spécificités: chaque objet est ainsi enregistré comme un objet unique, porteur d'une histoire particulière et fabriqué dans des matériaux aux propriétés précises. Ce choix du dessin aquarellé, ici chez un dessinateur et archéologue de musée, se retrouve chez les "peintre-archéologues", selon l'expression de Serge Lewuillon, qui accompagnent la prise en charge du patrimoine archéologique en France à partir des années 1830, puis surtout sous le Second Empire (Lewuillon 2001, 2002). On assiste alors à l'invention d'un véritable dessin archéologique, conçu comme une méthode d'analyse spécifique des objets, qui introduit de la matière dans la reproduction des œuvres (Fig. 1b). Si le projet de J.-B. Muret n'est donc pas isolé, il se distingue par le cadre de son exécution (le musée et non le terrain) et par son ampleur: c'est toute l'antiquité, de l'Égypte à la Gaule mérovingienne, qui est embrassée (Fig. 2a). Les objets représentés sont de tous types et de toutes époques, même si on perçoit un tropisme pour l'archéologie classique, grecque et romaine, et les petits objets de bronze et de terre cuite.



Fig. 1 – a) Jean-Baptiste Muret, *Recueil des Monuments dessinés,* vol. 4, pl. 25, Paris, Bibliothèque nationale de France, département des Monnaies, médailles et antiques, RES-MS-70100-MUR-GF-(4) (source Gallica/BnF: https://digitalmuret.inha.fr/s/digital-muret/agorha/c623e9d7-6c8b-4222-9327-9f8f7bea507b). b) *Ibid.*, vol. 7, pl. 93, Paris, Bibliothèque nationale de France, département des Monnaies, médailles et antiques, RES-MS-70100-MUR-GF- (7) (source Gallica/BnF: https://digitalmuret.inha.fr/s/digital-muret/agorha/b8d83281-ea8b-4551-b3d6-6b852b14b933).

La plupart de ces objets sont incorporés dans des planches organisées autour d'un motif iconographique (Fig. 2b) ou d'une typologie formelle (Fig. 3), qui montre l'essai de mise en place d'une véritable méthode d'étude archéologique fondée exclusivement sur l'image et les confrontations qu'elle peut engendrer. En effet, si les dessins sont soignés, et homogènes dans leur facture et leur rendu, les légendes sont, elles, beaucoup plus fantasques. Une courte majorité des dessins en ont une, portée au dos de la planche, au crayon à papier. Ces notations renseignent sur la collection de l'objet, parfois son lieu et sa date de découverte, son iconographie, avec occasionnellement une référence bibliographique. On regrette évidemment leur parcimonie, qui nous prive de renseignements sur des objets dont une partie est, aujourd'hui, perdue. Les indications existantes montrent la grande attention portée aux



Fig. 2 – a) Jean-Baptiste Muret, *Recueil des Monuments dessinés,* vol. 2, pl. 141, Paris, Bibliothèque nationale de France, département des Monnaies, médailles et antiques, RES-MS-70100-MUR-GF-(2) (source Gallica/BnF: https://digitalmuret.inha.fr/s/digital-muret/agorha/c6ca1482-dfac-41c4-9a2c-849207948fa4). b) *Ibid.* vol. 7, pl. 1, Paris, Bibliothèque nationale de France, département des Monnaies, médailles et antiques, RES-MS-70100-MUR-GF- (3) (source Gallica/BnF: https://digitalmuret.inha.fr/s/digital-muret/agorha/ba93e35e-a142-460a-95a7-400f4e7f07f8).

découvertes contemporaines de J.-B. Muret, en France, en Italie, en Grèce ou en Orient, des années 1830 aux années 1850.

Le recueil de J.-B. Muret constitue donc une source précieuse pour l'histoire des collections antiques et pour l'histoire de l'archéologie. Son appréhension est rendue plus ardue par la reliure des planches, achetées en vingt portefeuilles, en onze volumes, sans plan, chapitre ni index. Si on retrouve des séries typologiques et iconographiques cohérentes, elles se suivent sans ordre, et des ensembles ont été séparés dans différents volumes. On ne sait d'ailleurs pas à qui est dû le classement, s'il témoigne des choix du dessinateur, de ceux de son fils ou s'il a été revu au moment de la reliure.

Les intérêts de publier et d'étudier ce recueil inédit sont donc multiples: ces dessins offrent d'abord une documentation pour de très nombreuses

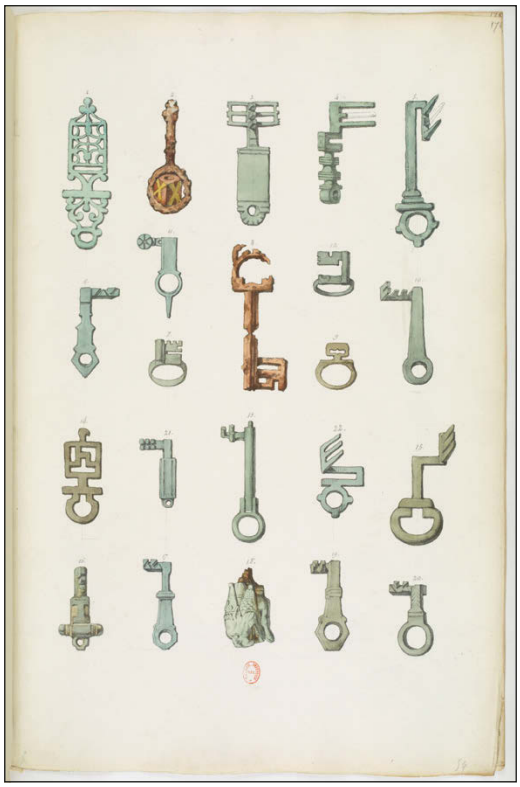


Fig. 3 – Jean-Baptiste Muret, *Recueil des Monuments dessinés,* vol. 10, pl. 176, Paris, Bibliothèque nationale de France, département des Monnaies, médailles et antiques, RES-MS-70100-MUR-GF- (10) (source Gallica/BnF: https://digitalmuret.inha.fr/s/digital-muret/agorha/1d66935c-2eb4-42f0-9532-5b3d90607b11).

œuvres, aujourd'hui conservées ou non, illustrant fidèlement un état ancien et permettant de reconstituer les historiques de collection en collection. Ils fournissent aussi un exemple de la documentation graphique qui accompagnait l'archéologie naissante, en rassemblant au maximum les différentes typologies d'objets parvenues de l'Antiquité. L'un des ensembles les plus conséquents est celui regroupé par l'archéologue allemand Eduard Gerhard (1795-1867), le *Gerhard'sche Apparat*, qui est principalement consacré à partir des années 1830 aux vases antiques mais aussi à d'autres séries, comme les miroirs étrusques (Kästner 2019). Cependant, originalité découlant du choix de recruter un dessinateur attaché à une institution, au Cabinet des médailles toutes ces reproductions sont dues au même artiste.



Fig. 4 – Capture d'écran de la page d'accueil du site *Digital Muret* (https://digitalmuret.inha.fr/).

2.3 *Le programme de recherche BnF/INHA (2017-2022)*

La première étape de la mise à disposition des recueils a été leur numérisation sur Gallica (https://gallica.bnf.fr/)[1].

Mais sans apparat critique, sans explication, cette première mise en ligne ne présentait pas beaucoup d'intérêt, et il restait difficile d'appréhender un ensemble volumineux sans aucune explication sur sa constitution et ses enjeux épistémologiques. Un programme de recherche a donc été mis en place par la Bibliothèque nationale de France et l'Institut national d'histoire de l'art et mené de 2017 à 2022. Intitulé *Une histoire de l'art antique inachevée: les dessins de Jean-Baptiste Muret (1795-1866)*, il a eu pour ambition de proposer une édition numérique du recueil qui permette de documenter les planches et les objets dessinés, et de proposer une éditorialisation de l'ensemble pour les mettre en perspective au sein de l'histoire de l'archéologie. Ce travail a été mené dès le départ et de manière collégiale par deux entités du département

[1] https://gallica.bnf.fr/services/engine/search/sru?operation=searchRetrieve&version=1.2&collapsing=disabled&query=dc.relation%20all%20%22cb421791809%22.

des études et de la recherche de l'INHA: le domaine histoire de l'art antique et de l'archéologie, regroupant des chercheurs en histoire de l'art, et la cellule d'ingénierie documentaire, devenue en 2019 le Service numérique de la recherche (SNR), regroupant des chargés de ressources documentaires et des ingénieurs spécialisés en humanités numériques.

Les recherches menées dans le cadre du programme ont également révélé que Jean-Baptiste Muret avait constitué une importante et véritable collection d'objets archéologiques, largement méconnue et oubliée, aujourd'hui principalement conservée au Musée cantonal d'archéologie et d'histoire de Lausanne, mais aussi au musée d'archéologie nationale à Saint-Germain-en-Laye et au Cabinet des médailles de la Bibliothèque nationale de France (plus de 500 objets identifiés). Ces données apparues au cours du travail de recherche ont dû être intégrées, et une partie du site est donc dédiée à cette collection, avec une sélection d'une cinquantaine de notices détaillées des objets de la collection, et des articles permettant de révéler la personnalité du collectionneur. On renverra donc à cette publication numérique et aux nombreux articles qui accompagnent la base des œuvres pour les résultats scientifiques de ce programme (https://digitalmuret.inha.fr) (Fig. 4).

3. Une édition numérique de sources historiques enrichies

3.1 *Choix techniques*

L'idée à l'origine de ce projet numérique était de mettre à disposition les données collectées par les chercheuses et les chercheurs via la plateforme des données de la recherche de l'INHA (AGORHA, https://agorha.inha.fr/), tout en assurant la possibilité d'y ajouter une couche éditoriale (articles scientifiques et d'autres formes narratives pour présenter les données) qui n'était pas encore possible via AGORHA quand le projet a commencé.

En 2017, au moment du lancement du *Digital Muret*, AGORHA reposait sur une solution logicielle propriétaire développée par l'entreprise Decalog: Flora (https://flora.decalog.net/). Cette solution s'appuyait sur une base de données relationnelle Oracle SQL, avec une interface web composée de *servlets* java. Ce progiciel permettait un accès en ligne aux données structurées issues de la base SQL, à l'aide d'outils de recherche puissants, de facettes et d'index dynamiques. La plus grande limite de cette solution était qu'elle n'intégrait pas un système de gestion de contenu (CMS) pour la création d'articles éditoriaux ou de pages web.

Pour obtenir ce résultat, il a fallu attendre février 2022, lors du lancement de la nouvelle version d'AGORHA, qui a intégré ces fonctionnalités, en faisant suite à quatre ans de réflexion et de développement.

Il a donc été nécessaire d'adapter les besoins des équipes de recherche aux contraintes techniques imposées par les outils existants en 2017. Pour

surmonter la limite du manque de possibilités "éditoriales" dans la solution Flora-AGORHA, nous avons choisi d'expérimenter un outil numérique libre et en source ouverte qui sortait alors du lot: Omeka S (https://omeka.org/s/).

En 2012 les équipes de développement du Roy Rosenzweig Center for History and New Media ont lancé un projet pour la réalisation d'une plateforme de publication web capable de gérer, à partir d'un point d'administration unique, l'installation, les mises à jour logicielles et l'extension des fonctionnalités et de l'apparence de plusieurs sites web. Cette solution a vu le jour en 2017 sous le nom d'Omeka S.

Omeka S permettait un import en masse des données à partir de fichiers CSV et des solutions innovantes pour la mise à disposition de corpus de données culturelles, à la fois en ce qui concerne les données structurées (exposition en HTML des données selon des "thèmes" personnalisables) et les médias (intégration de visionneuses universelles pour la consultation de contenus visuels via des formats multiples).

Entre 2017 et 2019 (année de la première publication en ligne d'un volume du *Digital Muret*), la communauté internationale qui s'était fédérée autour d'Omeka S avait mis à disposition une grande quantité de "modules", extensions logicielles qui permettaient d'enrichir les fonctionnalités d'Omeka S. Nous avons donc pu expérimenter des solutions qui se sont révélées très précurseures, comme l'intégration d'un serveur IIIF (cadre international de spécifications techniques pour assurer l'interopérabilité des images: https://iiif.io/), l'exposition des données selon le standard OAI-PMH (protocole informatique pour l'échange des données au format XML, qui utilise le modèle de description des données Dublin Core) ou, encore, l'affichage cartographique dynamique en ligne via des bibliothèques logicielles telles que leaflet.js (https://leafletjs.com/).

3.2 *Structuration des données*

Dès le commencement du projet, les chercheuses et les chercheurs avaient commencé la collecte des données en travaillant sur un fichier tabulaire qui rassemblait toutes les informations concernant les planches et les objets représentés.

En même temps, les planches numérisées ont été téléchargées en haute résolution grâce à la mise à disposition de ces dernières par la BnF, via le protocole IIIF intégré dans Gallica. La BnF a été pionnière dans le champ de la mise à disposition des corpus visuels en IIIF, en utilisant ce protocole depuis sa naissance, en 2012 (Carlin, Laborderie 2021).

Une fois téléchargées les planches, les équipes ont effectué une segmentation manuelle des sources pour créer des fragments d'images correspondant aux objets représentés.

L'accompagnement documentaire de ce projet numérique a fait en sorte qu'une rigueur s'est imposée dès le départ dans le cadre de l'organisation des

données: si pour les planches nous avons pu hériter de la côte archivistique de la BnF (ex. RES-MS-70100-MUR-GF- (1)), en ce qui concerne les objets, il a fallu créer des identifiants uniques qui permettaient d'associer à l'objet sa position dans la planche, le numéro de planche, le numéro de volume (ex. RES-MS-70100-MUR-GF-1_P1_OBJET_1).

Le fichier tabulaire produit par les équipes de recherche a donc été structuré en essayant de suivre le modèle conceptuel des données d'AGORHA. La structure d'AGORHA se base sur cinq tables principales liées entre elles: œuvres, personnes, événements, références et collections. Dans le cadre du *Digital Muret*, nous avons utilisé les modèles concernant les œuvres (à la fois les planches et les objets archéologiques), les personnes (liées à la création de l'œuvre ou bien à l'historique des provenances) et les références (à la fois bibliographiques et issues des sources d'archives).

La reproduction d'un modèle de données conçu pour une base de données relationnelle vers un "simple" fichier tabulaire n'est pas automatique, et il a donc fallu travailler à côté des responsables scientifiques du programme pour formaliser cette "transposition". Ce travail de structuration du fichier "maître" a pris en compte aussi la nécessité de pouvoir ensuite importer en masse les informations collectées, directement dans la plateforme AGORHA. Ce passage a imposé une réflexion sur les types de données utilisées pour décrire les informations collectées. Nous avons dû faire face à plusieurs cas de figure:

– Des données textuelles, comme l'identifiant de chaque notice, le titre ou encore la description de la planche ou de l'objet.
– Des champs alimentés par des référentiels (thésaurus ou liste de valeurs contrôlées), comme par exemple le type d'œuvre (planche, bijoux, cratère...) ou bien les lieux (de création, de découverte, de localisation...).
– Des notices liées dans la base AGORHA (personnes et références).
– Des champs "dates", permettant des recherches chronologiques dans la base.

Une fois posés les jalons de la structuration du fichier, les chercheuses et les chercheurs ont pu commencer la saisie des données. Le fichier a donc regroupé d'un côté les métadonnées héritées des bases de la BnF (Gallica et catalogue général), de l'autre les informations issues des recherches spécifiques concernant chaque objet représenté dans le recueil.

Dans AGORHA, la description documentaire des notices se fait par "zones", divisées en "blocs" répétables, qui contiennent des "champs" de description:

– Identification: type et titres.
– Localisation: localisation de l'œuvre, types d'identifiant.
– Description: commentaires descriptifs, état de conservation et des restaurations, matériaux et techniques, dimensions, inscriptions et indexation des thèmes iconographiques.

– Création / exécution: date, période, lieux de création, ainsi que les personnes associées à sa création.
– Historique: découverte (date et lieux), passage en vente ou acquisition par des institutions publiques.
– Liens entre œuvres: rapport entre une planche et l'objet représenté.
– Documentation: références bibliographiques, sources d'archives ou sources en ligne.
– Médias: d'abord le dessin de Jean-Baptiste Muret, ensuite les sources historiques qui l'ont inspiré et enfin les images de l'objet dans son état actuel, fournies par les institutions muséales qui conservent ces objets.
– Gestion notice: source et licence (toute les données d'AGORHA sont sous licence ouverte Creative Commons attribution CC-BY 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr).

Les notices ont été ensuite importées dans la base AGORHA, mais pour la publication en ligne sur la solution Omeka S, il a fallu encore une fois procéder à un passage de transformation des données pour l'adapter aux "modèles de ressources" définis pour l'exposition en ligne sur le site *Digital Muret*. Il a été décidé de procéder à une simplification des données exposées sur le site par rapport aux notices d'AGORHA, afin de rendre la navigation plus fluide pour un public moins spécialisé, et la recherche plus aisée. Une attention particulière a été apportée à ce qu'aucune donnée ne soit perdue lors de ce passage, et le lien vers les notices d'AGORHA, plus complètes, est toujours fourni.

3.3 *Développement*

Le développement a été le fruit d'un processus collaboratif mené entre la Cellule d'ingénierie documentaire (devenue Service numérique de la recherche à partir de décembre 2019) et les équipes de recherche de l'INHA et de la BnF.

D'abord, il a fallu que les membres de la CID s'emparent de ce nouvel outil, Omeka S, utilisé pour la première fois dans le cadre d'un projet numérique de l'INHA. Ensuite, une fois maîtrisées les fonctionnalités d'administration, nous avons pu commencer à développer un thème *ad hoc* pour présenter les données, afin de répondre aux questions de recherche. Pour ce faire nous nous sommes basés sur un thème existant, le Center Row (https://omeka.org/s/themes/centerrow/), qui intégrait, *grosso modo*, la plupart des fonctionnalités demandées.

C'est à partir de ce modèle que nous avons commencé le développement côté serveur sur le gabarit développé en PHP. Cette phase nous a permis de définir le "squelette" de nos pages d'affichage des ressources. Ensuite, nous avons ajouté des règles de gestion du style afin de répondre aux besoins d'affichage exprimés par l'équipe de recherche, ainsi que des fonctions de gestion

dynamique de la page web, côté client, développées en jQuery (https://jquery.com/).

Deux enjeux ont guidé notre développement: le premier, de nature fonctionnelle, nous a poussé vers des solutions ergonomiques et aisément compréhensibles par de non-spécialistes, le deuxième, esthétique (voir parfois cosmétique), liés aux choix des polices, des couleurs, de la disposition des éléments à l'écran, en prenant en compte, dès le début, la "responsivité", c'est à dire la capacité des pages du site à s'adapter à des formats d'écran et des dispositifs divers.

Le choix des polices et des couleurs a été fait, dans un premier temps, en adéquation au "style" d'AGORHA, qui utilisait des polices sans empattement et une couleur "vert céladon" pour mettre en évidence les titres, les liens et certains éléments graphiques (comme les boutons ou les pictogrammes).

La première version du site prévoyait un affichage des notices avec une grande visionneuse à la largeur de la page, suivie par la liste des métadonnées, avec un déroulement vertical de la page (scroll) qui se terminait, en bas de page par la représentation cartographique des lieux connus concernant l'œuvre (création, découverte, conservation). Cette première version, mise en ligne en juin 2019, avec les données issues du deuxième volume du recueil, comptait 178 planches et 1368 objets dessinés.

En même temps, à l'occasion de la mise en ligne du premier corpus du *Digital Muret*, nous avons choisi de mettre à disposition de la communauté le thème développé sur une forge (GitHub, https://github.com/INHAParis/omeka-s-theme-DigitalMuret), afin d'assurer une possible réutilisation et de prochains développements.

L'équipe de recherche porteuse du projet a été parmi les premiers réutilisateurs des données. En particulier, l'occasion de cette réutilisation a été fournie par la découverte de la collection personnelle d'objets archéologiques de J.-B. Muret, dont la majorité se trouve au Musée cantonal d'archéologie et d'histoire de Lausanne. Un nouveau projet de publication de ces objets, qui n'ont pas tous été dessinés dans le recueil, a découlé de cette découverte et les résultats ont été intégrés dans la plateforme du *Digital Muret* (https://digitalmuret.inha.fr/s/collection-muret/page/accueil). Ce projet, arrivé en cours de route, nous a permis d'enrichir les informations concernant les objets dessinés par Muret, ainsi que de développer de nouveaux outils pour le site web. En particulier, suite à une campagne d'acquisition 3D de certains objets faisant partie de la collection Muret, il a fallu intégrer une visionneuse 3D. Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser la bibliothèque logicielle 3DHOP, développée par le CNR-ISTI italien (Potenziani *et al.* 2015), et déjà utilisée, au sein du SNR, dans le cadre du projet *Archaological Interactive Report* (AIR, https://omeka.ht.lu.se/), en partenariat avec l'université de Lund en Suède (Derudas *et al.* 2023) (Fig. 5). La toute dernière version du site *Digital*



Fig. 5 – Capture d'écran d'une notice documentaire d'un objet archéologique, intégrant la visionneuse 3D 3DHOP (https://digitalmuret.inha.fr/s/collection-muret/agorha/5a2de925-da96-4fea-85cf-268c64143c45).

Muret, intégrant la publication complète des recueils, avec une nouvelle mise en page au format "livret", ainsi que la collection Muret, a été enfin mise en ligne en octobre 2022: https://digitalmuret.inha.fr/.

3.4 *Exploitation des données*

La structuration des données, ainsi que les outils numériques employés dans le cadre de ce projet, ont été pensés, depuis le début, pour répondre à des enjeux d'ouverture, de mise à disposition et de partage des données issues de la recherche à l'INHA (Nurra 2023). Ce projet s'inscrit dans une démarche de science ouverte et nous avons choisi d'adhérer aux principes FAIR (Wilkinson *et al.* 2016), qui veulent que les données soient faciles à trouver, accessibles, interopérables et réutilisables.

Le choix d'utiliser Omeka S comme CMS nous a permis notamment de faciliter la réutilisation des données du *Digital Muret*, Omeka disposant d'une API (Application Programming Interface ou interface de programmation d'application) qui permet d'interroger et de télécharger les données "primaires", issues de la base de données, au format JSON-LD. Ce format,

lisible par les machines et adapté aux besoins d'exposition des données dans le web sémantique est en effet idéal dans une démarche d'interopérabilité et de réutilisation. Un guide d'utilisation de l'API, documentant l'ensemble des fonctionnalités mises à disposition, a été publiée depuis la première mise en ligne du site (https://digitalmuret.inha.fr/s/accueil-muret/page/api-mode-emploi).

4. Conclusion

4.1 *Bilan*

Loin d'être une solution parfaite, le site *Digital Muret* propose tout de même un cadre d'édition numérique assez structuré et de prise en main facile. Le choix d'une publication en ligne et ouverte s'est révélé très rapidement bénéfique: nous avons reçu de nombreux retours de collègues, professionnels de musées ou chercheurs universitaires, qui utilisent le site principalement de deux manières. D'abord, ils participent à l'identification d'œuvres que nous n'avions pas localisées, et les notices du site comme celles des catalogues des musées s'améliorent donc avec le temps. Les historiques des œuvres dans nos données comme dans celles des institutions aujourd'hui propriétaires des objets sont progressivement complétés et enrichis. Ce type de publication permet donc d'œuvrer à la recherche de provenance des objets archéologiques des anciennes collections, dont on sait aujourd'hui l'importance pour les institutions patrimoniales dans le cadre d'exigences éthiques et juridiques toujours plus impérieuses.

Ensuite, ils intègrent dans leurs corpus de recherche des œuvres aujourd'hui perdues ou non localisées, mais que le dessin précis de Muret permet d'étudier avec les outils de la recherche actuelle, témoignant ainsi à presque deux siècles de distance de la pertinence de ce type de documentation archéologique.

Le *Digital Muret* offre par ailleurs un modèle de publication librement réutilisable pour l'exposition numérique des nombreux corpus de dessins existants dans les musées, bibliothèques ou archives et souvent restés inédits. Ses données peuvent également être liées et alignées sur celles d'autres bases actuellement développées autour des images anciennes des antiquités, comme le *Antiquitatum Thesaurus. Antiken in den europäischen Bildquellen des 17. und 18. Jahrhunderts,* projet de la Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften depuis 2021 (https://thesaurus.bbaw.de/de).

4.2 *Évolutions et perspectives*

Depuis le lancement du projet en 2017, beaucoup de choses ont évolué sur le plan technique. D'abord la refondation d'AGORHA, en 2022, qui nous a permis d'envisager une mise à jour automatique du site Omeka S à partir de

l'API d'exposition des données AGORHA. Cette API, fortement voulue lors de la refonte de la plateforme, permet une exposition des données dans des formats interopérables comme le JSON, le JSON-LD ou encore le XML-RDF. Un outil d'alignement entre le format d'exposition AGORHA et le format d'import de l'API Omeka est en cours d'étude.

Ensuite, malgré la possibilité de créer des pages éditoriales dans le cadre d'Omeka S, un certain manque de souplesse persiste encore dans la mise en forme des articles, qui pourra être surmonté avec des développements spécifiques concernant la partie éditoriale du thème "Digital Muret". Ce thème est censé encore évoluer pour s'adapter en continu aux exigences des chercheuses et des chercheurs et répondre aux avancées technologiques auxquelles nous sommes confrontés (mise à jour des versions d'Omeka S, des modules, des protocoles d'échange comme le IIIF, etc.).

Par ailleurs, une réflexion plus profonde se poursuit au sein du SNR. Elle concerne plus largement les éditions numériques de sources historiques enrichies, qui font l'objet d'un projet structurant le Service, ainsi que le Département des études et de la recherche de l'INHA: le projet PENSE, plateforme d'édition numérique de sources enrichies (https://pense.inha.fr/).

Toutes les réflexions menées autour de l'exposition en ligne des données issues des projets de recherche dans le cadre du programme *Digital Muret* nous ont conduit à imaginer un nouveau modèle de publication numérique des données de recherche. Ce modèle, à notre avis, doit se structurer en trois phases distinctes, que nous imaginons circulaires et, d'une certaine manière, parallèles, comme le cycle de vie de la donnée (Fig. 6).

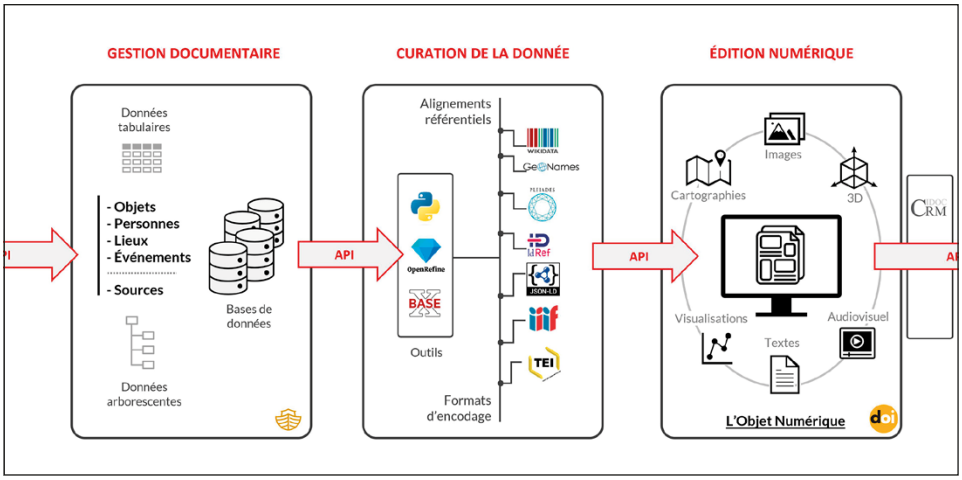


Fig. 6 – Schéma de synthèse du modèle d'édition numérique de sources historiques enrichies.

Le projet nous a montré combien il est essentiel de commencer par une gestion documentaire solide pour définir notre "objet" documentaire, qu'il s'agisse d'une feuille de calcul, d'une base de données ou de données arborescentes (xml ou json). Il faut dans cette phase disposer d'outils de gestion en ligne de ces données tels que AGORHA, ou encore Omeka S, Heurist (https://heuristnetwork.org/), Arches (https://www.archesproject.org/), etc., grâce auxquels il est possible d'exposer en ligne, par le biais d'API et selon des modèles conformes aux usages spécifiques, les données de la recherche.

La "curation des données" est la deuxième phase de ce parcours, au cours de laquelle il faut s'assurer que les données respectent des formats d'encodage lisibles par les machines, grâce à des outils de gestion spécifiques, en alignant les valeurs d'enregistrement sur des thésaurus et des référentiels partagés en ligne, lorsque cela est possible. Cette phase consiste également à explorer et manipuler la donnée grâce à des filtrages, des ordonnancements, des statistiques et des visualisations pour mieux accompagner la recherche dans l'analyse du sujet traité.

La troisième phase concerne enfin le développement de plateformes en ligne, comme celle produite pour le *Digital Muret* ou dans le cadre du projet PENSE, qui devraient fournir un accès facile aux données par le biais d'interfaces graphiques adaptées aux besoins des utilisateurs et des utilisatrices. Il s'agit de produire des "objets" numériques capables d'intégrer des données et des médias divers, ainsi qu'une forme d'éditorialisation (thématiques, descriptions, articles...) pour garantir une consultation efficace et l'exploitation de notre production scientifique.

Une fois encore, il s'agit d'API qui nous permettent d'exposer ces données, en les alignant à la fois sur des vocabulaires et des ontologies standards et des chaînes d'éditions numériques scientifiques, afin de les réintroduire dans le cycle de vie des données, alimentant ainsi de nouvelles connaissances.

L'édition numérique de sources historiques enrichies nous a montré qu'il faut garantir l'équilibre entre les humains et les machines, en évitant la prévalence de la technologie sur les besoins de la recherche. Il faut savoir offrir aux publics des outils numériques qui soient faciles à utiliser, sans jamais banaliser la portée scientifique des contenus. Le but principal est donc de familiariser les chercheuses et les chercheurs avec les outils et les pratiques numériques et leur permettre ensuite d'intégrer ces outils dans la méthodologie de recherche, afin de garantir l'exploitation ainsi que l'intégrité scientifique des données produites.

Cécile Colonna, Federico Nurra

Institut national d'histoire de l'art (INHA), Paris
cecile.colonna@inha.fr, federico.nurra@inha.fr

BIBLIOGRAPHIE

Aghion I., Avisseau-Broustet M. (eds.) 2009, *Histoires d'archéologie: de l'objet à l'étude,* Paris, INHA (https://doi.org/10.4000/books.inha.2743).

Avisseau-Broustet M., Colonna C. (eds.) 2017, *Le luxe dans l'Antiquité: trésors de la Bibliothèque nationale de France*, Gand, Éditions Snoeck.

Bodenstein F., Colonna C. 2019, *Jean-Baptiste Muret (1795-1866), dessinateur du Cabinet des médailles*, in Colonna, Haumesser 2019, 17-37.

Carlin M., Laborderie A. 2021, *Le BnF DataLab, un service aux chercheurs en humanités numériques*, «Humanités numériques», 4 (https://doi.org/10.4000/revuehn.2684).

Colonna C., Haumesser L. (eds.) 2019, *Dessiner l'antique: les recueils de Jean-Baptiste Muret et de Jean-Charles Geslin*, Paris, Bibliothèque nationale de France, Musée du Louvre, Institut national d'histoire de l'art.

Derudas P., Nurra F., Svensson A. 2023, *New AIR for the archaeological process? The use of 3D web semantic for publishing archaeological reports*, «Journal on Computing and Cultural Heritage», 16, 3, Article 57 (https://doi.org/10.1145/3594722).

Gran-Aymerich È., Lubtchansky N. 2010, *Raoul-Rochette, Désiré,* in P. Sénéchal, C. Barbillon (eds.), *Dictionnaire critique des historiens de l'art actifs en France de la Révolution à la Première guerre mondiale* (https://www.inha.fr/fr/ressources/publications/publications-numeriques/dictionnaire-critique-des-historiens-de-l-art.html).

Gran-Aymerich È., Ungern-Sternberg J. von (eds.) 2012, *L'antiquité partagée: correspondances franco-allemandes, 1823-1861: Karl Benedikt Hase, Désiré Raoul-Rochette, Karl Otfried Müller, Otto Jahn, Theodor Mommsen*, Paris, Académie des inscriptions et belles-lettres.

Kästner U. 2019, *Le Gerhard'scher Apparat. Un fonds documentaire rassemblé par Eduard Gerhard à l'Altes Museum de Berlin*, in Colonna, Haumesser 2019, 176-197.

Lewuillon S. 2001, *Destins d'estampes. L'image archéologique dans la seconde moitié du XIX^e siècle en France,* «Bulletin de la société historique de Compiègne», 49-70.

Lewuillon S. 2002, *Archaeological illustrations: A new development in 19^th century science*, in N. Schlanger (ed.), *Ancestral Archives. Explorations in the History of Archaeology*, Cambridge, Heffers Printers Ltd, 223-234.

Lubtchansky N. 2015, *L'oeil du savant: le cours sur l'art étrusque de Désiré Raoul-Rochette à la Bibliothèque du roi (1828)*, in A. Fenet, N. Lubtchansky (eds.), *Pour une histoire de l'archéologie XVIII^e siècle-1945. Hommage de ses collègues et amis à Ève Gran-Aymerich*, Pessac, Ausonius Éditions, 363-380.

Nurra F. 2023, *De la pratique quotidienne à une charte institutionnelle: la démarche vers la science ouverte de l'INHA,* «Culture et recherche», 144, 23-25 (https://hal.science/hal-04204598).

Potenziani M., Callieri M., Dellepiane M., Corsini M., Ponchio F., Scopigno R. 2015, *3DHOP: 3D Heritage Online Presenter*, «Computers & Graphics», 52, 129-141 (https://doi.org/10.1016/j.cag.2015.07.001).

Sarmant T. 1994, *Le Cabinet des médailles de la Bibliothèque nationale, 1661-1848,* Paris, École des chartes.

Vauquelin M. 2018, *Collectionner les antiquités nationales en province au XIX^e siècle: sur quelques noms cités dans les albums de Jean-Baptiste Muret (Mémoire de recherche Master 2),* Paris, École du Louvre.

Wilkinson M. D. *et al.* 2016, *The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship*, «Scientific Data», 3, 1, 160018 (https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18).

ABSTRACT

A collection of unpublished drawings by Jean-Baptiste Muret (1795-1866), kept at the Bibliothèque nationale de France (Paris), brings together in colour plates the drawings of

almost 8,000 ancient objects, drawn according to the knowledge of his time. It is a precious and original testimony to the birth of archaeology as a science, and still has great heuristic potential today. The recent digital publication of this work allows us both to contribute to the history of the discipline and to give today's researchers access to a wealth of documentation that is still useful for current studies. The presentation of the results of this research project will provide an opportunity to outline a proposed model for the digital publication of enriched historical sources, in accordance with the principles of open science and adapted to the specific needs of research in terms of scientific integrity.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 157-172
doi 10.19282/ac.35.1.2024.12

DISSÉQUER L'ORNEMENT, INTERPRÉTER L'HYBRIDITÉ HUMANO-VÉGÉTALE. *DIPHUÈS* – UNE BASE DE DONNÉES POLYVALENTE

1. Introduction

La base de données *Diphuès* est un outil de recherche, d'échange et de dialogue consacré aux figures humano-végétales de l'Antiquité romaine. Elle est le fruit de deux projets de recherche menés depuis 2012 sous l'égide du F.R.S.-FNRS (Fonds de la recherche scientifique de Belgique). Dès 2024, elle sera mise à disposition de la communauté scientifique internationale en open access par le Service d'Histoire de l'art et Archéologie de l'Antiquité gréco-romaine (SHAArAGR) et le Centre Informatique de Philosophie & Lettres (CIPL) de l'Université de Liège. *Diphuès* repose sur un corpus conçu à l'origine comme un outil de travail personnel devant servir les objectifs de recherches spécifiques. Cet outil a connu plusieurs modifications majeures, dans sa structure et sa finalité, afin de pouvoir servir à la production d'un savoir renouvelé. Son application réseau est considérée comme l'ultime étape dans le processus de communication de la recherche et s'inscrit dans une dynamique plus large de partage des savoirs et des ressources.

2. La constitution d'un corpus

Le corpus de *Diphuès*[1] comprend l'ensemble des représentations figurées d'êtres humano-végétaux du monde romain, appréhendées du I^er^ siècle av. J.-C. au VI^e^ siècle apr. J.-C. et dans leur extension géographique maximale. Ces figures hybrides mêlent des composantes humaines et végétales dans leur anatomie, en différentes proportions et sous différentes formes. Elles sont employées sur des supports de natures et de fonctions variées tels que la mosaïque, la sculpture sur pierre, la peinture murale, le stuc, la terre cuite, le métal, le verre ou encore la broderie; le décor architectural, les appliques, autels, luminaires, sarcophages, statues, stèles, urnes ou encore pièces de vaisselle. Ces documents se rattachent à des milieux très diversifiés, certains appartenant au domaine public, d'autres au domaine privé, les uns relevant

[1] *Diphuès* (διφυής) est l'adjectif le plus fréquemment employé dans la littérature grecque pour désigner les êtres composites. Il renvoie à la simultanéité de deux natures fondamentalement distinctes dans une même entité. Sur le vocabulaire utilisé dans la langue grecque pour qualifier le monstrueux, consulter notamment Pierre 1996, 20-22; Boudin 2005; Aston 2011, 12-16, 33-34; Baglioni 2013.



Fig. 1 – Détail de la mosaïque des Saisons de la "Villa Constantinienne" de Daphné, IV^{e} s. apr. J.-C. (Musée du Louvre, Paris, distr. RMN-GP/Hervé Lewandowski).

de la sphère politique, honorifique, religieuse ou encore civile, les autres de l'espace domestique ou funéraire.

Le corpus de *Diphuès* s'est constitué en deux temps, reflets de deux projets de recherches menés grâce au soutien du F.R.S.-FNRS. Le motif de la tête végétalisée (Fig. 1) a fait l'objet d'une thèse de doctorat soutenue en 2016 et réalisée en cotutelle entre l'Université de Liège et Sorbonne Université, sous la direction des professeurs Thomas Morard et Gilles Sauron. Cette recherche a permis de mettre en évidence les mécanismes plastiques, idéologiques et socio-économiques ayant présidé à la formation de cette forme particulière d'hybridité humano-végétale et permis sa diffusion ainsi que le maintien de son utilisation dans le monde romain, afin d'aboutir à la restitution de la biographie culturelle du motif. La base de données alors établie sur FilemakerPro constituait un outil de travail personnel visant à mettre en série les occurrences du motif en vue de leur comparaison et de la réalisation des fiches de catalogue. La publication du manuscrit aux éditions Brepols (Derwael



Fig. 2 – Trône en marbre de Telesina (Telese Terme), fin du IIe s. apr. J.-C. (?) (Photo Isabella Stewart Gardner Museum, Boston).

2023a) a naturellement entrainé quelques ajustements. L'actualisation du catalogue en faisait partie: le nombre de fiches s'est vu augmenté et leur nomenclature modifiée afin de rendre compte de la nature des documents et de leur contexte d'utilisation.

Ce n'est qu'en 2021 que le projet d'un partage et d'une publication en open access de la base de données fut envisagé, conjointement à l'élaboration d'un projet de chargée de recherches du F.R.S.-FNRS (2021-2024), *L'hybride humano-végétal dans les décors et l'imaginaire romains*, mené à l'Université de Liège sous la direction du professeur Thomas Morard. Le corpus considéré dans cette recherche – actuellement en cours[2] – concerne cette fois non plus les têtes, mais les êtres au corps de feuillage, dont les membres inférieurs se composent d'enroulements végétaux (Fig. 2). La végétalisation de la figure humaine est ici appréhendée en tant que forme d'hybridité, marque d'une limite qui distingue sans exclure et symbole d'une relation symbiotique tout autant que subversive entre les deux éléments qui la composent (Derwael 2023b). Une attention toute particulière est accordée au contexte matériel et fonctionnel des documents, notamment à la dimension spatiale et temporelle de l'image, afin d'observer comment les figures humano-végétales dialoguent

[2] Présenté au colloque international organisé à l'Academia Belgica et à l'Ecole française de Rome sur les figures humano-végétales de Méditerranée antique, dont les Actes sont actuellement en cours de publication: Derwael, Mazet à paraître.

avec leur environnement. Il s'agit également de faire apparaître les enjeux sociétaux de la représentation de l'hybride, en soulignant ce que l'imaginaire révèle de la société romaine dans son rapport au monde, au divin, à l'altérité et à la nature.

En corrélation avec les objectifs de recherche de ces deux projets menés à cinq ans d'intervalle, l'échantillonnage considéré se devait d'être aussi vaste que possible. Les limites des deux corpus se sont constituées d'elles-mêmes: aucune; ni de temps, ni d'espace, ni de matière. En appréhendant les figures humano-végétales dans leur globalité, la mise en série des documents permet de dégager des typologies et des structures où les similitudes, les répétitions et les écarts constituent autant de clefs de lecture contribuant à une meilleure compréhension de la conception des images. L'agencement de la végétalisation, la présence d'éventuels éléments additionnels (accessoires ou éléments constitutifs de la figure) et l'intégration plastique du motif dans son environnement iconographique et matériel révèlent ainsi les modes de formation, les voies de diffusion et les formes d'appropriation des figures humano-végétales dans les décors du monde romain.

Constituer ces corpus s'est avéré fastidieux. Et le relatif désintérêt des chercheurs et chercheuses pour les figures humano-végétales y fut pour beaucoup: quand elles ne sont pas victimes de la dévalorisation moderne de l'ornement et réduites à un rôle purement décoratif[3], ces figures reçoivent souvent l'étiquette bien commode mais peu nuancée de "maîtres de la végétation". Ces motifs intéressent donc peu et sont, en conséquence, peu documentés. Il fallut dépouiller de nombreux ouvrages, rapports de fouilles et archives, mais aussi visiter et solliciter un grand nombre de sites archéologiques et de musées, sans négliger les *spolia*. La documentation figurée rassemblée, aussi abondante qu'hétérogène, comprend toutes les formes de témoignages disponibles permettant de comprendre le motif et son contexte. Il peut s'agir de photographies numériques couleurs ou noir et blanc, de scans de publications parfois anciennes mais constituant les seuls témoins d'objets aujourd'hui perdus, de plans, de restitutions ou de relevés graphiques, ou encore d'études d'architectes ou de vues d'artistes de la Renaissance[4]. Les documents numérisés diffèrent tant par leur nature que leur qualité.

Bien que les figures humano-végétales aient jusqu'à présent suscité peu d'intérêt, un double constat s'est rapidement imposé: ces figures inondent le répertoire iconographique romain, et tout archéologue ou historien de l'art se

[3] Sur l'historiographie de la recherche sur l'ornement, consulter notamment Golsenne 2012; Heering 2014, 19-37; Derwael 2023a, 15-18.

[4] Ces sources doivent être traitées avec toute la prudence méthodologique nécessaire, car l'ornement hybride stimule l'imagination des artistes, qui inventent ou modifient volontiers les motifs et leur agencement dans le décor.

verra un jour ou l'autre confronté à ce type de motifs. S'est alors formée l'idée, confortée par la demande de nombreux collègues, d'un partage de données: les deux corpus – le premier, abouti et régulièrement mis à jour; le second, en cours de constitution mais construit selon la même structure – formeront la base de données *Diphuès*, qui constituera à son tour le premier volet d'une plateforme de bases interconnectées consacrée à l'examen de motifs dits "ornementaux" illustrant le rapport à la nature, au divin et à l'altérité dans les sociétés antiques.

La structure de toute base de données étant corrélée aux objectifs de la recherche associée, il était nécessaire d'appréhender les données avec un regard neuf et multiple afin que le corpus puisse servir à d'autres recherches, dans une logique de reproductibilité. La collaboration avec François Putz, informaticien du Centre Informatique de Philosophie & Lettres de l'Université de Liège (CIPL) dirigé par Björn-Olav Dozo, a permis de transformer l'outil de travail destiné à mon seul usage en un outil partagé devant répondre aux interrogations et attentes d'un public varié.

3. La création d'un outil de médiation

Afin de créer une interface de recherche polyvalente pouvant répondre aux demandes et besoins de collègues qui seraient amenés à consulter *Diphuès*, il était nécessaire de déconstruire la base préexistante en repensant l'ordonnancement et la présentation des données. Le choix d'une base relationnelle s'est rapidement imposé, car il permettait d'associer une table principale, reprenant les unités de décors, et deux tables connexes consacrées aux deux grands types de figures humano-végétales, les têtes feuillues et les êtres au corps de feuillage. Dans la table principale, chaque enregistrement correspond à un élément de décor intégrant une ou plusieurs figures végétalisées dans son iconographie. Les formes humano-végétales y sont réparties en divers groupes correspondant chacun à une combinaison typologique particulière. Dans les tables connexes, chaque enregistrement correspond à une ou plusieurs figure(s) végétalisée(s) provenant d'un décor de la table principale et caractérisée(s) par la combinaison de divers types formels.

Les données ont été encodées en français dans trois tableaux Excel correspondant aux trois tables de la base. Une fois traitées par un système de gestion de base de données (SGBD), les données s'organisent en différentes zones de saisie correspondant aux colonnes des tableaux Excel. L'interface de consultation reflète ainsi la structure interne de la base et permet de passer aisément d'une fiche Unité de décor aux fiches typologiques.

L'encodage systématique et rigoureux des données s'est vu facilité par le travail réalisé en amont, lors de la constitution du catalogue de la thèse. Les terminologies employées dans la description des documents sont empruntées

à différents ouvrages de référence tels que le *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine* (Ginouvès, Martin 1985-1998), *Le décor géométrique de la mosaïque romaine* (Balmelle *et al.* 2002) ou encore *La peinture murale romaine. Les styles décoratifs pompéiens* (Barbet 2009). En sus des listes de valeurs ainsi établies, des zones de commentaires permettent d'ajouter tout complément d'information jugé utile pour la compréhension de l'image. Celles-ci concernent le contexte d'utilisation de l'image, la découverte du document, l'état de conservation et les précisions techniques éventuelles sur le support et sa mise en oeuvre. La datation des décors, qui repose majoritairement sur des considérations stylistiques et diffère parfois grandement d'une publication à l'autre, se présente sous une double forme: une fourchette chronologique large allant de la proposition de datation la plus haute à celle la plus basse, et un champ libre compilant les différentes propositions émises par les scientifiques.

La description du décor dans lequel prennent place les figures végétales est quant à elle souvent longue et complexe, tant dans le nombre de motifs que dans leurs relations syntaxiques. Son encodage est donc réalisé en intranet, directement dans la base. La description suit systématiquement la même structure: l'environnement iconographique dans lequel prend place le motif, de l'extérieur vers l'intérieur ou de bas en haut, suivi des figures végétalisées. La droite et la gauche sont à considérer du point de vue du personnage représenté, tandis que la position des différents motifs représentés sur le support est décrite sous l'angle d'un spectateur observant la scène. Si plusieurs types d'êtres humano-végétaux coexistent sur un même document, l'individualisation des différents types suit la description des points communs.

Chaque entrée de table est complétée par des documents numérisés de différentes natures, illustrant le motif et son utilisation dans le décor. Ceux-ci se présentent sous la forme de vignettes pouvant être agrandies en plein écran. Les images, stockées dans un dossier externe à la base, sont nommées selon un système normalisé assurant la correspondance fiche-image (ex. P-A. It.1_1, pour la première image de P-A.It.1). Chaque image s'accompagne en outre d'une légende et des crédits idoines.

La structure relationnelle de *Diphuès* permet de passer facilement d'une fiche Unité de décor aux fiches Tête ou Buste liées, et inversement, mais également de mettre en évidence des relations porteuses de sens entre les fiches, qu'il s'agisse de dégager un type particulier de figure humano-végétale, une utilisation dans certains contextes, monuments, ou décors, ou certaines associations formelles avec d'autres motifs. L'atout majeur de *Diphuès* réside dans la confrontation raisonnée des différents supports et contextes. Les figures humano-végétales sont appréhendées dans leur globalité, en tant qu'éléments de la culture visuelle des Romains. La base offre ainsi la possibilité de comparer, par exemple, les pièces de vaisselle de terre cuite, de pierre et de

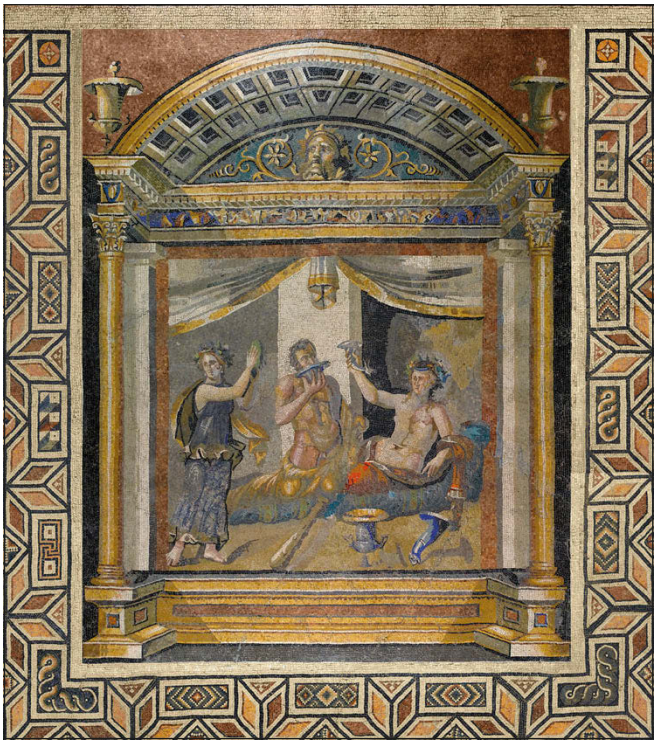


Fig. 3 – Mosaïque du *triclinium* de la maison du Concours de boisson, Séleucie de Piérie, III^e^ s. apr. J.-C. (Princeton University Art Museum).

métal, ou encore les frises des supports peints, mosaïqués, stuqués, moulés ou sculptés. La catégorie "décor dans le décor", précisée dans les données liées au contexte, permet en outre d'intégrer les motifs illusionnistes dans l'analyse comparative: la lunette de l'édicule représenté sur la mosaïque du Concours de boisson d'Antioche (Fig. 3) peut ainsi être comparée aux lunettes peintes et frontons semi-circulaires de l'architecture réelle.

Le choix des données pouvant être interrogées s'est peaufiné au fil des échanges avec l'informaticien, François Putz. Le critère de la datation, par exemple, a finalement été jugé peu pertinent, car trop vague et souvent invérifiable au vu des critères stylistiques invoqués. L'interrogation de la base (Fig. 4-6) se fait par cases à cocher pour les typologies et par menus déroulants pour le site, la province romaine, le contexte, le support et la technique. La recherche par mots-clés permet quant à elle d'interroger la description du décor, tandis qu'une exploration non ciblée permet de parcourir l'ensemble des fiches de la base. L'interface de recherche fait de *Diphuès* une base de

données polyvalente permettant de répondre aux diverses questions d'ordre formel, syntaxique, matériel, fonctionnel ou géographique que pourrait se poser toute personne confrontée à une figure humano-végétale. Une documentation annexe, consultable ou téléchargeable au format PDF, complète par ailleurs la base de données. Elle comprend une planche typologique, la liste bibliographique, ainsi qu'une carte géographique permettant de situer les sites archéologiques mentionnés. Cette dernière évoluera vers une carte interactive renvoyant directement aux entrées de la base de données.

4. Le schéma de données

Dans les trois tables de la base, la nomenclature des fiches combine une appellation descriptive, voire usuelle (par exemple, "Mosaïque du *Flumen Vamaccura* de Timgad"), et une cote spécifique. Celle-ci se compose d'une succession d'abréviations renvoyant à la nature du document, son utilisation et son origine topographique – par province; les entrées d'une même catégorie sont organisées selon une numérotation continue. P-A.It.1 désigne ainsi un document en pierre (P), de fonction architecturale (A), en Italie (It)[5]. Dans les tables typologiques, les fiches correspondantes sont désignées par la cote du décor suivie de "T" (tête feuillue) ou "B" (buste prolongé en feuillage). Si une unité de décor comporte différents types de figures végétalisées, ceux-ci sont distingués par un sous classement alphabétique (a, b, c, etc.).

4.1 *Les unités de décors*

Les fiches de cette table correspondent à des unités de décor intégrant une ou plusieurs figure(s) végétalisée(s). La frise d'un édifice, par exemple, est ainsi séparée du fronton ou des mosaïques de ce même édifice, le motif n'y étant pas mis en œuvre de la même façon: l'espace disponible, les motifs associés et leur agencement, la place du support dans l'économie du décor ou encore les modalités de sa mise en œuvre sont autant de variables pouvant intervenir dans la conception et la perception d'un être végétalisé. Ce découpage du décor d'un monument en unités permet de déterminer si les variations observées relèvent d'un héritage formel, d'une volonté d'innovation, d'une soumission au cadre ou au matériau, ou encore d'une nécessité sémantique. Il met également en évidence les modes d'interactions du motif avec son environnement iconographique, matériel, naturel et humain. Les fiches connexes Tête et/ou Buste de cette Unité de décor sont précisées en fin de fiche, permettant ainsi d'établir un lien direct entre les différentes tables de la base.

Les fiches Unités de décors s'organisent en sept sections intégrant des informations sur le contexte, la découverte et la conservation, les caractéristiques

[5] L'abréviation "Ind" est utilisée si l'origine est indéterminée.

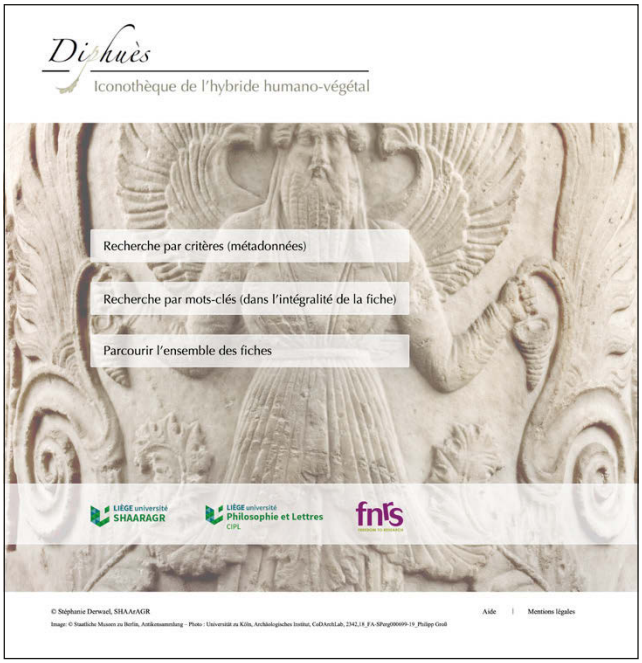


Fig. 4 – *Diphuès*: page d'accueil pour la consultation de la base (*Diphuès* – Stéphanie Derwael, SHAArAGR).

physiques et techniques, la datation, le décor, la documentation et les illustrations. Les données liées au contexte sont assez détaillées. Elles se présentent du général (le site) au particulier (l'emplacement dans le décor). Le site est indiqué par le toponyme moderne et/ou antique et le pays actuel. La précision de la province romaine permet de situer le site dans sa réalité géographique antique; toutefois, la datation des documents reposant majoritairement sur des considérations stylistiques et certaines provinces romaines ayant été renommées et remodelées au fil des siècles, la répartition provinciale a été figée dans un état correspondant au découpage de l'*Imperium Romanum* de l'Atlas Brill's New Pauly (Salazar *et al.* 2010, 176-177). Le décor est ensuite situé dans son contexte d'utilisation et peut ainsi être lié à certains types de pratiques (Gros 1996, 2001): domestique, funéraire, palatial, religieux, civil, monument des eaux, spectacle et loisir, honorifique et triomphal ou indéterminé. Sont ensuite précisés l'édifice[6] et l'espace/la pièce d'utilisation

[6] Le développement futur de la plateforme prévoit la création d'une base répertoriant les édifices décorés. Cela permettra de relier les différentes bases interconnectées consacrées chacune à différents motifs ornementaux.

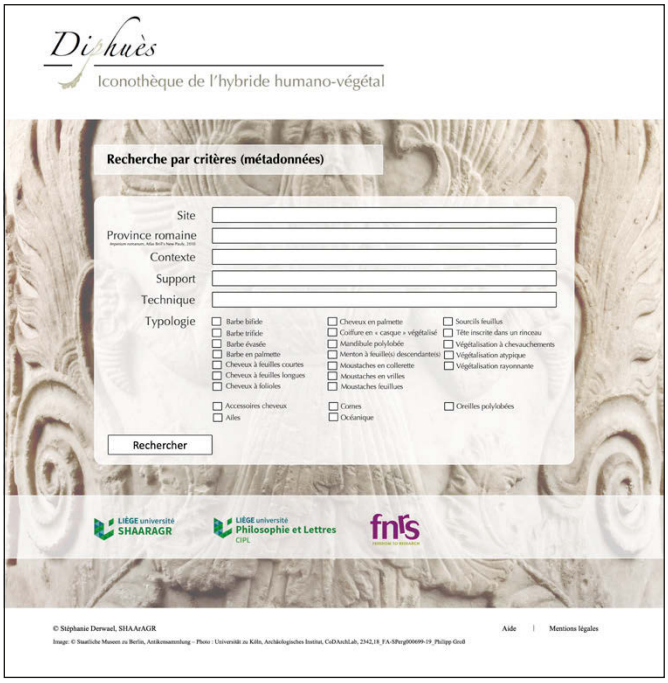


Fig. 5 – *Diphuès*: interrogation de la base par critères (*Diphuès* – Stéphanie Derwael, SHAArAGR).

du décor. Le support est défini par une série de critères successifs allant de la catégorie générique (architecture, applique, statuaire, autel, stèle, sarcophage, urne, luminaire, vaisselle, textile, indéterminé) à l'emplacement de l'unité de décor (par exemple architecture => élévation => colonne => chapiteau). Si les figures humano-végétales sont employées dans un décor illusionniste imitant un autre matériau/décor (Fig. 3), alors le support illusionniste est décrit selon les mêmes critères successifs. Une zone de commentaire permet d'apporter toute précision utile à la compréhension du contexte.

Les données relatives à la découverte sont succinctes: année, commentaire. Il en va de même des données sur la conservation: lieu, numéro d'inventaire, état de conservation. Les caractéristiques physiques et techniques sont quant à elles précisées comme suit: technique employée, matériau, dimensions et commentaire. Comme indiqué précédemment, la datation allie une fourchette chronologique large et un commentaire détaillé listant les différentes hypothèses avancées par les scientifiques.

La description du décor se divise en deux champs. Le premier est consacré aux figures humano-végétales: le type de figures (têtes et/ou bustes), le nombre



Fig. 6 – *Diphuès*: interrogation de la base par mots-clés (*Diphuès* – Stéphanie Derwael, SHAArAGR).

de figures conservées, le nombre supposé de figures à l'origine, la typologie de ces figures (végétalisation, accessoires/attributs, éventuelles composantes animales, attitudes) et leur emplacement sur l'unité de décor. Le second champ comprend la description du décor, présentée sous la forme d'un texte ayant fait l'objet d'un encodage uniforme, tant dans sa structure que dans le vocabulaire employé. Les illustrations, de différentes dimensions et qualités en fonction de la documentation disponible, sont présentées sous la forme de vignettes pouvant être agrandies en plein écran. Il s'agit d'images de faible résolution afin de limiter le poids de leur stockage. Les fichiers originels en haute résolution peuvent être fournis sur simple demande, sous réserve de l'accord de l'entité détentrice des droits.

Enfin, la section consacrée à la documentation permet de préciser le type de sources utilisées dans l'élaboration de la fiche, données susceptibles d'influer sur le niveau de précision et de fiabilité des informations délivrées. Outre l'observation direct du décor quand cela s'est avéré possible, les sources employées peuvent être des clichés couleurs ou noir et blanc, des dessins (précision de la date et de l'auteur), des descriptions littéraires ou de simples

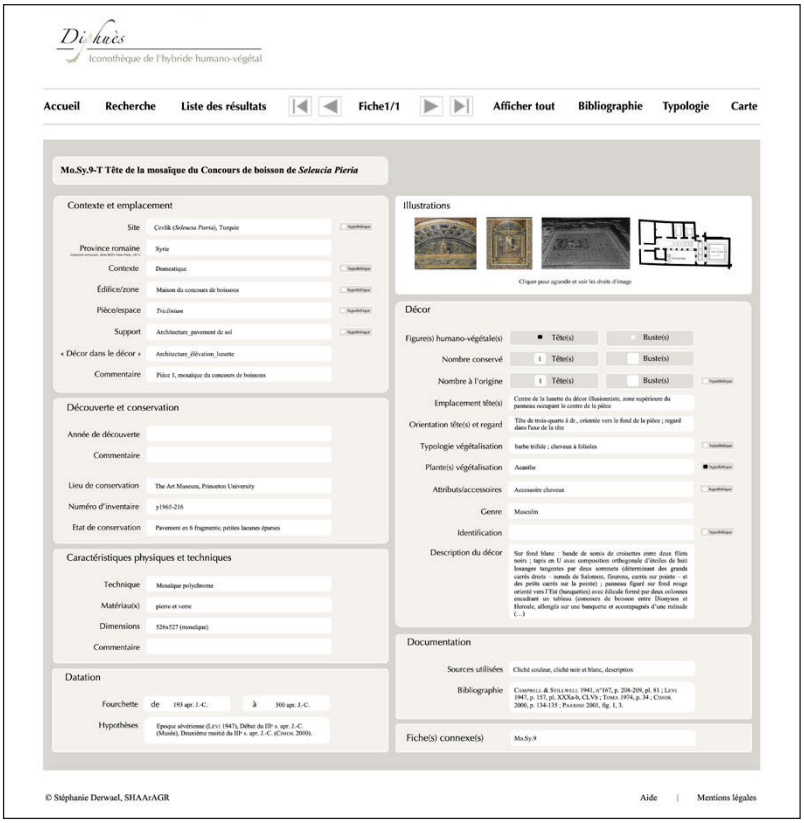


Fig. 7 – *Diphuès*: fiche de la table Tête. Exemple de la mosaïque du *triclinium* de la maison du Concours de boisson (Princeton University Art Museum; *Diphuès* – Stéphanie Derwael, SHAArAGR) (http://cipl-cloud45.segi.ulg.ac.be/diphues/diphues_getOne.aspx?ID=119).

mentions. Les références bibliographiques ne concernent que les mentions explicites du motif, et non du décor dans son ensemble. Elles apparaissent dans un ordre chronologique et sous une forme abrégée renvoyant à la liste bibliographique disponible en annexe de la base.

4.2 *Les figures végétalisées*

Les deux tables consacrées aux figures humano-végétales concernent les têtes feuillues (Fig. 7) et les êtres au corps de feuillage. Les fiches de ces tables typologiques reprennent les informations de la table Unités de décor. Seules leur nomenclature et la description du décor diffèrent. Leur correspondance est fondée sur chaque cote normalisée et unique grâce aux abréviations définies

dès le départ dans le schéma de données. L'état de conservation de certains documents ne permettant pas toujours d'attester avec certitude de la fusion de composantes humaines et végétales, les documents pour lesquels la végétalisation est possible mais pas assurée sont intégrés au classement prédéfini et indiqués un astérisque (*) à la fin de la cote de la fiche. Cette distinction est également appliquée aux pièces aujourd'hui perdues qui ne sont connues que par d'anciens relevés dont il est impossible de vérifier l'exactitude des détails, aux pièces connues par une simple mention ou description dont il n'a pas été possible de vérifier la véracité, et aux documents dont l'authenticité est remise en doute.

Les fiches des tables Tête et Buste sont plus détaillées dans la description iconographique afin de rendre compte de l'ensemble des jeux formels auxquels peuvent être sujettes ces figures hybrides. Sont ainsi précisés leur genre (masculin, féminin, androgyne), leur physionomie, leur attitude, orientation et gestuelle, la direction de leur regard et l'identification des plantes formant la composante végétale de leur anatomie. Les données relatives à l'emplacement du motif sur son support (centre, périphérie, etc.) et à sa relation avec les autres motifs (inclus dans une frise, isolé dans un caisson, etc.) sont également précisées, car elles permettent de rendre compte de l'interaction de ces motifs avec d'autres figures du champ visuel, ou avec un élément ou un observateur extra-iconique. La base permet ainsi d'appréhender les modalités d'intégration du motif dans son environnement iconographique et matériel. Lorsque les indices iconographiques et contextuels le permettent, l'hypothèse d'identification du personnage représenté sous la forme humano-végétale est également précisée.

5. La publication de l'outil

La "science ouverte" a le vent en poupe[7] et de plus en plus d'institutions, dont l'Université de Liège et le F.R.S.-FNRS, encouragent les différentes formes de publication en open access. La communication des données de *Diphuès* à la communauté scientifique internationale s'inscrit dans cette dynamique de partage et de diffusion du savoir et des ressources. Mettre une base de données iconographiques en ligne ne constitue toutefois pas une fin en soi. Il est important que cette démarche s'accompagne d'une réflexion sur la réelle utilité de ce partage pour la communauté scientifique.

Les figures humano-végétales jalonnent l'histoire de l'art de nos sociétés occidentales: apparues vers la fin du V^e^ ou le début du IV^e^ s. av. J.-C., elles

[7] Voir par exemple le numéro de «Culture et Recherche» (144, 2023) consacré à la Science ouverte par le Ministère de la Culture en France. Sur l'ergonomie et l'ouverture des bases de données, voir entre autres Després-Lonnet 2000; Linant de Bellefonds, Szabados 2006; Fromageot-Laniepce 2012.

ont su traverser les âges et les frontières en survivant aux manipulations les plus diverses, et l'art romain ne constitue qu'un fragment de leur histoire; un fragment essentiel, prémisse de bien des développements ultérieurs qui nous rendent aujourd'hui ces figures si familières (Derwael, Mazet à paraître). *Diphuès* répondra ainsi aux besoins et attentes de scientifiques de nombreuses disciplines, qu'il s'agisse de trouver des parallèles à des exemples connus ou nouvellement découverts, de comprendre les filiations de ces motifs entre les époques antique, médiévale, moderne et contemporaine, ou encore de réfléchir à une approche sociétale de l'ornement ou de l'hybridité. Dans cette optique, la définition du niveau de finesse de l'analyse, de la richesse et de la présentation des données ont fait l'objet d'une réflexion approfondie. En conciliant ergonomie et faisabilité technique, *Diphuès* permet d'allier précision scientifique, compréhension d'un public varié et utilisation instinctive de l'interface.

Diphuès est un outil évolutif: sa structure et le contenu de ses enregistrements et annexes évolueront au fil des besoins et des nouvelles découvertes. *Diphuès* est également un outil participatif, car c'est dans le dialogue et la collaboration que la base pourra s'enrichir, et, peut-être un jour, étendre son corpus au-delà du seul monde romain. Dans un premier temps, en tant qu'administratrice de la base, j'assumerai seule la tâche de modification des données et d'enrichissement des tables, afin de maintenir une cohérence terminologique et structurelle.

L'application réseau (http://cipl-cloud09.segi.ulg.ac.be/diphues/) de la version relationnelle de *Diphuès* sera opérationnelle début 2025. La table Tête repose en effet sur une recherche aboutie et publiée, tandis que la table Buste constitue l'outil de travail d'une recherche inédite en cours. En attendant cette publication, une version simplifiée a été mise en ligne début 2024 pour permettre la consultation des fiches relatives aux têtes végétalisées (Fig. 7). Enfin, la constitution d'une plateforme de bases interconnectées consacrée à l'étude de motifs dits "ornementaux" illustrant le rapport à la nature, au divin et à l'altérité dans les sociétés antiques, permettra d'intégrer *Diphuès* dans une dynamique plus vaste et d'assurer sa pérennité. Parallèlement à ce travail à venir, une réflexion sera menée sur l'objet "base de données iconographiques". Il s'agira de s'interroger sur les processus de réécriture permettant à de nouveaux publics de s'approprier une source documentaire pensée à la base par et pour des spécialistes, de réfléchir à l'impact sociétal de l'image en tant que medium de communication, et d'interroger le rôle de ces nouveaux outils numériques dans notre rapport au temps, à la productivité et à la démarche intellectuelle.

Stéphanie Derwael
F.R.S.-FNRS - SHAArAGR
Université de Liège - IFEA
s.derwael@uliege.be

BIBLIOGRAPHIE

Aston E. 2011, *Mixanthrôpoi. Animal-Human Hybrid Deities in Greek Religion*, Kernos Supplément, 25, Liège, Centre International d'Étude de la Religion Grecque Antique.

Baglioni I. 2013, *Note alla terminologia e al concetto di "mostruoso" nell'antica Grecia*, in I. Baglioni (ed.), *Monstra. Costruzione e percezione delle entità ibride e mostruose nel Mediterraneo Antico. II L'Antichità Classica*, Roma, Quasar, 15-32.

Balmelle C., Blanchard-Lemée M., Christophe J., Darmon J.-P., Guimier-Sorbets A.-M., Lavagne H., Prudhomme R., Stern H. 2002, *Le décor géométrique de la mosaïque romaine*, I-II, Paris, Picard.

Barbet A. 2009, *La peinture murale romaine. Les styles décoratifs pompéiens*, Paris, Picard.

Boudin F. 2005, *Monstres sans image. Images de monstres. Représentations et non représentations des monstres sur les vases*, in S. Crogiez-Pétrequin (ed.), *Dieu(x) et Hommes. Histoire et iconographie des sociétés païennes et chrétiennes de l'Antiquité à nos jours. Mélanges en l'honneur de Françoise Thelamon*, Mont-Saint-Aignan, Publications des Universités de Rouen et du Havre, 537-568.

Derwael S. 2023a, *La tête végétalisée dans les décors romains. Origine d'un thème ornemental*, Turnhout, Brepols.

Derwael S. 2023b, *Half-human half-vegetal hybrids in the Eastern mosaics,* «Journal of Mosaic Research», 16, 89-110.

Derwael S. sous presse, *Les figures humano-végétales dans la peinture murale du I^er^ siècle a.C. Origine et appropriation d'un thème ornemental*, in *ANTIQVA PICTVRA. Techniques et procédés d'exécution, de conservation et de mise en valeur. Actes du XV^e^ Congrès International AIPMA (Carthagena 2022)*.

Derwael S., Mazet C. (eds.) à paraître, *L'hybride humano-végétal en Méditerranée antique. Images, contextes et transferts culturels*, Studia Academiae Belgicae, Leuven, Peeters.

Després-Lonnet M. 2000, *Contribution à la conception d'interfaces de consultation de bases de données iconographiques*, Thèse en Sciences de l'information et de la communication, Université Charles de Gaulle - Lille 3.

Fromageot-Laniepce V. 2012, *La base de données du groupe de recherche sur L'Enfant et la mort dans l'Antiquité*, in M.-D. Nenna (ed.), *L'Enfant et la mort dans l'Antiquité II. Types de tombes et traitement du corps des enfants dans l'antiquité gréco-romaine, Actes de la table ronde internationale organisée à Alexandrie, Centre d'Études Alexandrines, 12-14 novembre 2009*, Études alexandrines, 26, Alexandrie, Centre d'Études Alexandrines, 551-560.

Ginouvès R., Martin R. 1985-1998, *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*, I-III, Rome, École française de Rome.

Golsenne T. 2012, *L'ornement aujourd'hui*, «Images Re-vues», 10, 2-28 (https://doi.org/10.4000/imagesrevues.2416).

Gros P. 1996, *L'architecture romaine du début du III^e^ siècle av. J.-C. à la fin du Haut-Empire, I. Les monuments publics*, Paris, Picard.

Gros P. 2001, *L'architecture romaine du début du III^e^ siècle av. J.-C. à la fin du Haut-Empire, II. Maisons, palais, villas et tombeaux*, Paris, Picard.

Heering C. 2014, *Les sens de l'ornemental au premier âge moderne. Une étude du cartouche au regard de l'œuvre de Daniel Seghers*, Thèse de doctorat, Louvain-la-Neuve.

Linant de Bellefonds P., Szabados A.-V. 2006, *L'iconographie de la mythologie antique sur le web: le site LIMC-France et ses bases de données*, «Archeologia e Calcolatori», 17, 25-43 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF17/02_Linant.pdf).

Piettre R. 1996, *Le dauphin comme hybride dans l'univers dionysiaque*, «Uranie», 6, 7-36.

Salazar C.F., Prankel D., Smart D., Vermeulen C. (eds.) 2010, *Brill's New Pauly Historical Atlas of the Ancient World*, Leiden-Boston, Brill.

ABSTRACT

The *Diphuès* database is an open access research, exchange and dialogue tool devoted to the half-human half-vegetal figures in Roman Antiquity. It is the result of two research projects that have been carried out since 2012 under the aegis of the F.R.S.-FNRS (Fonds de la recherche scientifique de Belgique). From 2024, it will be made available in open access to the international scientific community by the 'Service d'Histoire de l'art et Archéologie de l'Antiquité gréco-romaine' (SHAArAGR) and the 'Centre Informatique de Philosophie & Lettres' (CIPL) of the University of Liège. Diphuès is based on a corpus originally designed as a personal work tool to serve specific research objectives. This tool has undergone several major modifications, in its structure and purpose, so that it can be used to produce new knowledge. Its network application is seen as the final stage in the research communication process and is part of a wider effort to share knowledge and resources.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 173-192
doi 10.19282/ac.35.1.2024.13

3D/4D VISUALISATION FOR DOCUMENTING AND EDITING IMAGES OF PRE-ROMAN ITALY: THE ICAR DATABASE

1. Introduction

The ICAR database (Iconography and Archaeology for pre-Roman Italy) was created in 2000 under the direction of Natacha Lubtchansky[1]. This digital humanities documentation and research tool, specialising in the iconography of the various cultures of pre-Roman Italy, offers the online publication of several large corpora of figurative scenes produced by the Etruscan, Italic and Italiote peoples (http://icar.huma-num.fr/, ISSN 2491-2301). These cultures, which developed in Italy before the *imperium Romanum*, were particularly prolific in producing images to decorate their everyday, secular, and sacred objects. We chose to focus on works with figurative decoration, giving priority to published corpora. The aim of ICAR is to reflect current research by involving specialists of the corpora studied, without including any previously unpublished works, in order to respect the copyright of the institutions that own them. All works recorded in the ICAR database are therefore published, be they archaeological artefacts or graphic or photographic reproductions of the same. Our aim is also to ensure that the published corpora are exhaustive, so that users know which series of works they will find in the database and can carry out statistical analysis based on stable, reliable, and complete data.

2. The principles of the database

The ICAR database was designed to support a funded research programme on Image and Religion in pre-Roman Italy (Etruscan, Italic, Italiote), launched in 2000 as part of an Action Concertée Incitative Jeunes Chercheurs with the ESPRI team of the ArScAn research group, University of Paris Nanterre. Following development of the database's principles and architecture, a first corpus of Etruscan painted tombs was entered. This scientific programme

[1] This article has taken advantage of the discussions that took place at several seminars or conferences where the latest developments in the ICAR database were presented: a conference organized by F. De Angelis, New York Workshop of Etruscan Art, Columbia University, 29/04-01/05 2021; Festival de l'histoire de l'art, Fontainebleau, 05/06/2021; doctoral course organized by C. Rescigno, Storia e Trasmissione delle eredità culturali at the Università della Campania (Santa Maria Capua Vetere), 2/07/2021; CeTHiS Axis 3 workshop, Bases de données, de la conception à l'usage en ligne, 7/12/2022, U-Tours; International conference All'etrusca. La scoperta della cultura materiale e visiva nell'Europa premoderna e moderna, Roma, 23-25/02/2023, Swedish Institute of Classical Studies in Rome; École française de Rome; Séminaire d'ArcheoNum of ArScAn, 2/02/2023. We would like to thank Virginie Fromageot-Laniepce and Anne-Violaine Szabados for allowing us to publish the results of this work here.

took into account the archaeological context and the (mainly religious, but not exclusively) significance of the image. The aim was to make the image a historical document by displaying all of its components: its support (the archaeological object bearing the figurative decoration) with its various typological criteria; its place of production, with the date and the name of the artist or workshop, if assigned; its place of discovery; its place of conservation, with a history of the collections through which the work had passed to its current location. This information is systematically accompanied by the original bibliographical references, and if any piece of information proved contentious, other publications were also included. The database therefore provides an analytical bibliography of the recorded works, which we aim to update regularly.

3. Archaeological corpora recorded

Other scientific projects and collaborations with research institutions have enriched the database through the insertion of new corpora. Between 2004 and 2007, thanks to a second ACI, 'Iconography and Acculturation in Pre-Roman Italy', and the support of the Institut national d'Histoire de l'Art, the first Etruscan corpus was supplemented by the painted tombs of Campania and Apulia, the series of archaic reliefs from Chiusi and some black-figured vases. Specialists of these corpora (Rita Benassai, Luigi Finocchietti, Jean-René Jannot, Raffaella Bonaudo and Dimitri Paleothodoros) supervised the inputting of the data and obtained copyrights for the reproductions of the works. By 2023, the database will have five complete bodies of work available online, with a sixth coming soon:

– Etruscan painted tombs: 178 tombs, 571 scenes, 2,450 images.
– Campanian painted tombs: 44 tombs, 66 scenes, 82 images.
– Apulian painted tombs: 9 tombs, 16 scenes, 27 images.
– Archaic reliefs from Chiusi: 279 monuments, 571 scenes, 549 images.
– *Hydriae* from Cerveteri: 42 vases, 87 scenes, 182 images
– Etruscan black-figured vases, in progress.

4. Evolution of technical aspects and target audiences

The database was created using FileMaker Pro, with four record tables ('Supports', 'Scenes', 'Images' and 'Bibliography') and twelve relational tables (Fig. 1) containing the information mentioned above. Full corpora were made available online from 2002 onwards, using PHP with a MySQL database. IT management was provided on a volunteer basis by Sylvain Mottet, a computer scientist who, together with Natacha Lubtchansky, designed the architecture of the database and regularly took charge of putting it online and updating it.

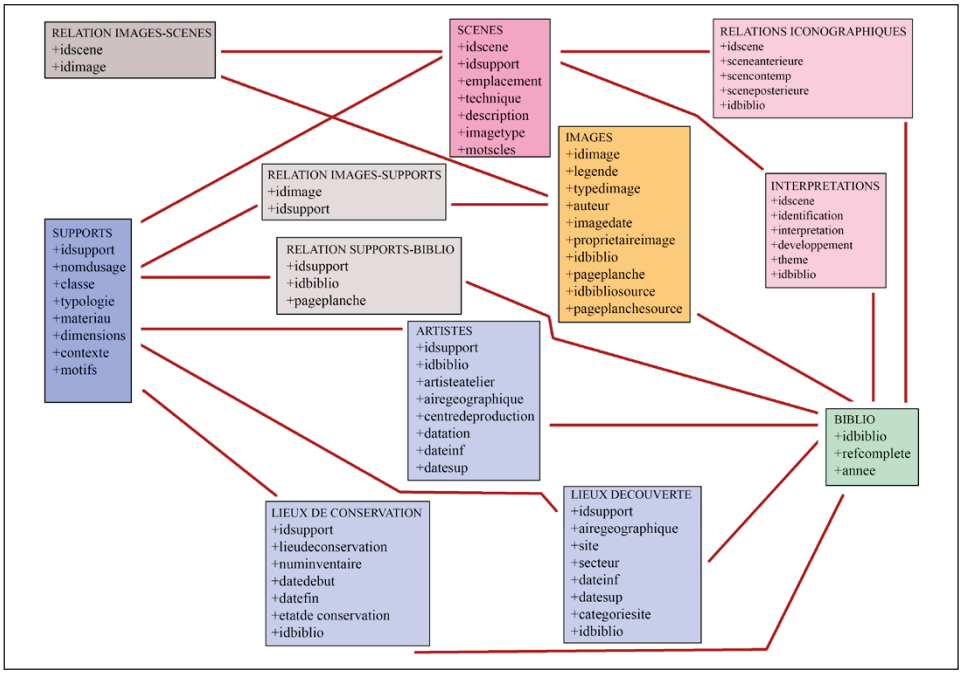


Fig. 1 – ICAR database architecture (Sylvain Mottet and François Ory).

In 2016, a number of developments emerged from a collaboration with the digital workshop (Atelier numérique) of the Maison des Sciences de l'Homme Val-de-Loire. Access to the data was facilitated using prioritization, improved ergonomics and a new user interface (Fig. 2). We also increased the number of search levels and answer modes. For example, in addition to the 'advanced search', aimed at researchers and users familiar with the database structure, we added a new 'guided search' for beginners, enabling them to find out about the different types of data offered by the database and the query processes for accessing them. As part of our commitment to making the site accessible to a wide range of users, we added English and Italian to the original French as display languages.

The interface, developed using the Symphony framework and PHP/MySQL, can be browsed on a computer or smartphone.

2021 also saw a major change: data can now be inputted in the database from an online interface, which had not been not possible until that point. This allows several people to work together on the ICAR database, while avoiding the creation of duplicates. This registration interface is also based on Symphony, with the EasyAdminBundle component.

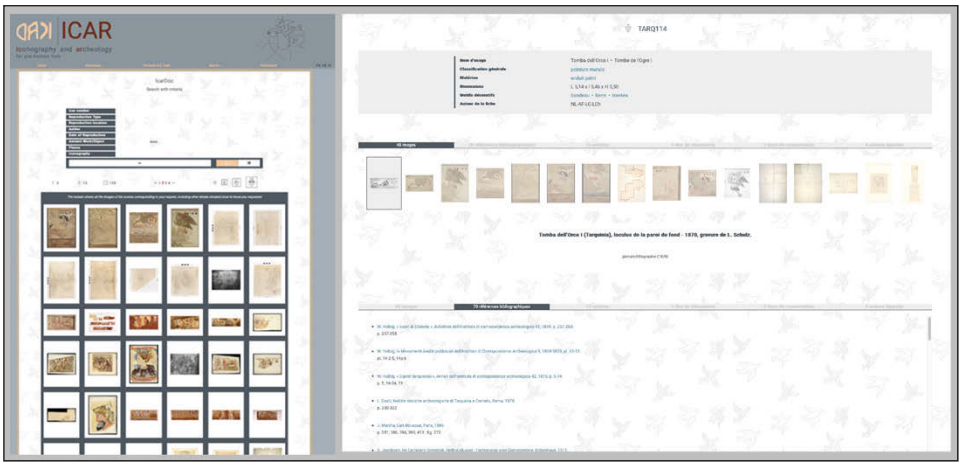


Fig. 2 – The ICAR user interface since 2016 (ICAR).

The software used is now being updated from Symphony 3.4 to 6.3 and PHP 8.2. Query options will also benefit from several changes based on user feedback.

The database is hosted by the Huma-Num infrastructure (CNRS).

5. The documentary turning point of 2015: ICAR and the history of reception

The archaeological orientation of the database has now been substantially enriched. The ICAR 'images' table contains both photographs and graphic reproductions, most of which date back to the 19th century, with several research programmes recently adding to the latter type: numerous drawings, watercolours, tracings and facsimiles have been made available in recent years. First and foremost is the inventory of the works of Augusto Guido Gatti, who worked as a draughtsman for the Tuscan Superintendency and produced paintings for the Galleria delle pitture etrusche in facsimile at the Museo Archeologico in Florence at the beginning of the 20th century. This work was undertaken by Susanna Sarti, Lucrezia Cuniglio (Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le province di Pistoia e Prato) and Natacha Lubtchansky, and resulted in two publications[2]: a book featuring illustrations of a third of the works (Cuniglio,

[2] Institutional support was provided by the Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le province di Pistoia e Prato; CeTHiS at the University of Tours; the École française de Rome; UMR 8546 AOROC; Labex Transfers and ANR CAECINA.

Lubtchansky, Sarti 2017) and an online edition of the entire collection. 325 new graphic documents were thereby added to the ICAR database's 'images' table, covering the corpus of Etruscan painted tombs and their various figurative scenes (Fenet, Lubtchansky 2020).

The same three researchers led a further programme at the École française de Rome between 2017 and 2021[3]. Entitled Facsimile. Graphic documentation and museums of Etruscan painting (Lubtchansky 2021; Cerchiai 2022; https://facsimile.hypotheses.org 2019-), it aimed to bring together the various collections of drawings and paintings reproducing Etruscan painted tombs. ICAR provided documentary and research support and now offers a complete interoperability portal for all sixteen collections studied, located in Europe and the United States. More than 2,000 archives were integrated for the 30 Etruscan painted tombs concerned, with the agreement of partner institutions.

While the earliest of these graphic documents reproducing Etruscan tomb paintings date back to the 18th century, most of them are from the 19th. The earlier series consists of watercolour drawings (plans, painted walls, perspective views), kept in the portfolios of the artists who visited these tombs, and occasionally published. The second set consists of reduced-scale watercolours in the tradition of the first series, as well as facsimiles and tracings reproducing tomb paintings at a 1:1 scale. These were used to create the museums of Etruscan painting that developed in Europe and in Boston for a century or so from the 1830s onwards, before they were overtaken by the practice of removing frescoes *in situ* and the use of photography. The usual practice, since its initiator Carlo Ruspi designed it for the Commissione Generale Consultiva di Belle Arti in the Vatican and the Instituto di Correspondenza Archeologica in Rome in the 19th century, had been to reproduce tomb paintings on tracing paper and then to make facsimiles on a 1:1 scale. Sets of watercolours with plans, sections and perspectives were also exhibited in museums, such as in Florence and in beer magnate Carl Jacobsen's Helbig Museum in Copenhagen (see lastly Moltesen 2019). The various pieces of this documentation have, in ideal cases, been preserved *in extenso*. They document the craftsmanship of the time, but also give today's archaeologists access to a state of the frescoes closer to that of the time of discovery before the fragile decoration was damaged by time and poor on-site conservation conditions.

The use of this new documentation considerably enriched the ICAR database: the tomb of Orcus from Tarquinia, for instance, which used to be the subject of 15 illustrations, including photographs and a few drawings,

[3] This École française de Rome programme was conducted in collaboration with the University of Tours, the ARPAMED sponsorship, the MSH Val de Loire and the Réseau national des MSH (funding for the associated project entitled ExSitu3D. From watercolours to 3D modelling of Etruscan painted tombs. See also the Hypotheses blog Facsimile (2019-): https://facsimile.hypotheses.org.

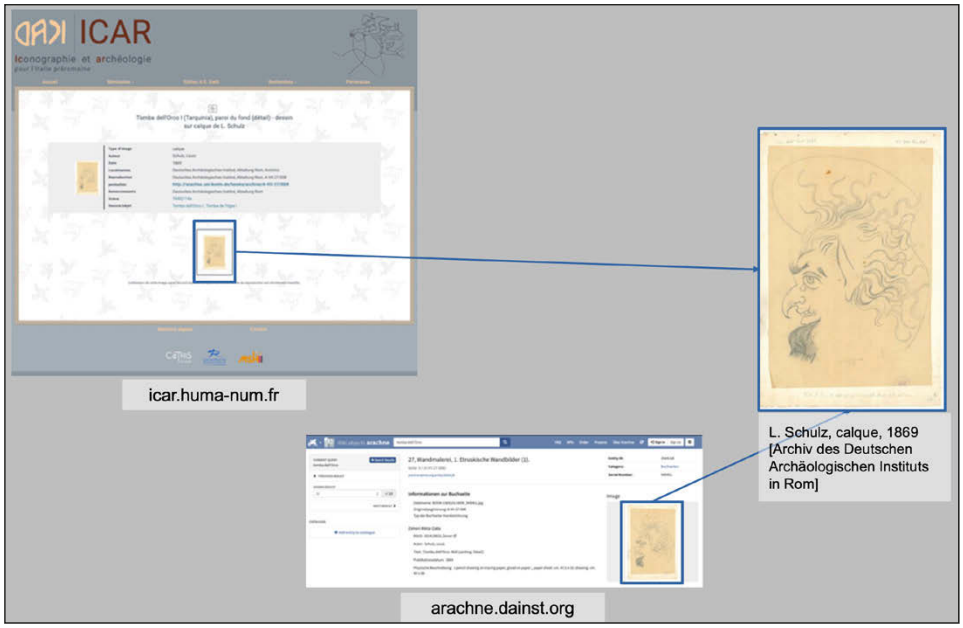


Fig. 3 – The head of the demon *Charun* from the tomb of Orcus in Tarquinia, based on a drawing on tracing paper by L. Schulz (Deutsches Archäologisches Institut in Rome).

was supplemented with 113 new graphic representations. The scientific project, which was able to establish a research network, sought a principle of interoperability: each record devoted to a graphic document is linked to the holding institution's website using a permalink. Some institutions allowed us to display the image in good resolution on ICAR, while in other cases ICAR only displays a miniature thumbnail of the work (Fig. 3).

6. ICAR 4D: graphic archives in diachrony, in 3D tombs

The next step was to improve the visual cross-referencing of graphic archives and archaeological heritage. The development of an exploratory tool for two Tarquinia tombs (Fig. 4) – the tomb of the Bigas (BIGHE 4D) and the tomb of Orcus (ORCUS 4D) – was conditioned by several scientific objectives.

These two tombs were chosen for several reasons. From an archaeological and artistic point of view, both are masterpieces of their chronological period: the Archaic period for the tomb of the Bigas, painted in the Severe style (480 BC) and the Classical period for the tomb of Orcus, the oldest chamber of which dates from 390 BC and the most recent painting from 350 BC. Each of these tombs adopts the architectural and decorative typology of its period,

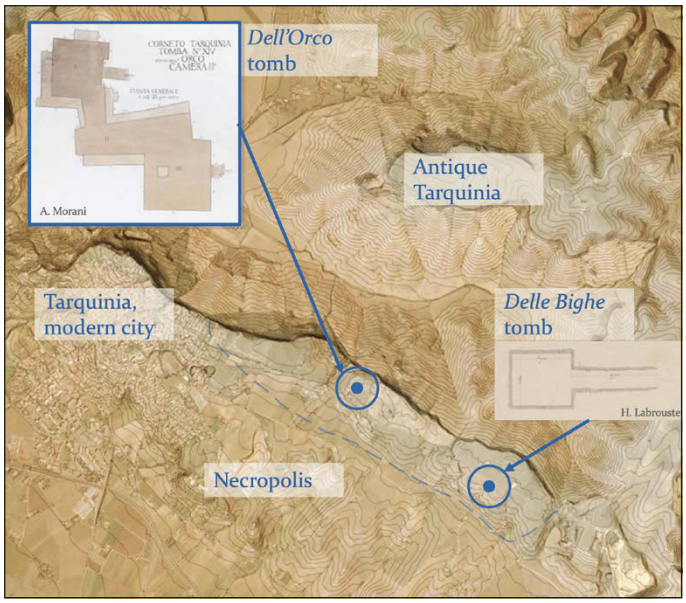


Fig. 4 – Original location of the two tombs (Alban-Brice Pimpaud).

while being distinguished by an original interpretation of these standards and exceptional artistic skill in their application. The tomb of the Bigas features a typical late Archaic decoration, with its aristocratic *symposion* on the back wall of the cubic chamber and dances on the side walls. Its originality is confirmed by the small frieze running above the megalography, which shows a succession of equestrian, gymnastic and theatrical games taking place before spectators seated in stands. The tomb of Orcus follows the Classical decorative programme, with the oldest room evoking Hades, where several couples are taking part in a *symposion*, through the use of black mist and the inclusion of infernal genies. The later section displays a topography of the afterlife, with the heroes and divinities encountered by Ulysses and Aeneas during their respective catabases, completed by a tableware dresser attended by servants, and the representation of the blinding of Polyphemus by Ulysses.

Both tombs have suffered the cruel ravages of time. Discovered in 1827, the tomb of the Bigas immediately became famous as the work of a Greek painter, recognized by its stylistic proximity to Attic vases, and therefore one of the rare examples of large-scale Greek painting (*megalographia*) to have been preserved. Travellers were however reporting its deterioration as early as 1831 (Lubtchansky 2011, 196; forthcoming), and in the post-war period, its worsening condition due to environmental humidity and the development

of conservation techniques led to its frescoes being removed and installed in the Museum of Tarquinia in 1949 (Cecchini 2012, 72). The tomb of Orcus was discovered in 1868 beneath the modern cemetery of Tarquinia. It had already been subsiding before its discovery, and its stability remains under threat to this day: as such, it has never been opened to the public. The two painted tombs therefore present a special conservation situation, with the first's decoration no longer in the necropolis, and the second only accessible with official authorisation. As a result, they had never been digitised.

The exceptional quality of these two tombs attracted visitors and scholars from the moment they were discovered (Lubtchansky forthcoming; Lubtchansky, Labregère forthcoming). Both monuments quickly became must-sees for visitors, and copies of them were drawn by architects and painters for a variety of reasons: to be published, to set up museums of Etruscan painting and, in the case of France, for educational purposes (training at the Beaux-Arts) (Lubtchansky 2017). From the time of its discovery until the end of the twentieth century, the tomb of the Bigas was the subject of 203 graphic works, including 118 tracings[4], 11 painted facsimiles, 43 watercolours or coloured drawings and 31 lithographs, executed between 1827 and 1989 by at least twelve different authors[5] and now held in seventeen institutions or private collections[6]. As regards the tomb of Orcus, the 124 graphic works representing it include 53 tracings, 20 painted facsimiles, 43 watercolours and 8 lithographs, executed between 1869 and 1993, by five workshops or individual painters[7] and currently kept in seven institutions or private collections[8].

[4] The tracing collection at the Svenska Institutet in Rome contains 106 items, divided into three different sets. This substantial number is due to the highly detailed layout of the different scenes of the tomb.

[5] The architects and painters were Joseph Thürmer (1827-29); Otto Magnus von Stackelberg (1827-29); Henri Labrouste (1829); Félix Duban (1829); Anonyme Doucet (circa 1830); Benjamin Schlick (1832); Charles Questel (1832); Carlo Ruspi (1835-1838); Alessandro Morani et al (1900-1910); Leo D'Alessandri (or Elio D'Alessandris) (1911-12); Jutta Weber and Mickael Sohn (1989).

[6] The conservation institutions are Bibliothèque nationale de France (Paris); École nationale supérieure des Beaux-Arts (Paris) Bibliothèque nationale de France (Paris); École nationale supérieure des Beaux-Arts (Paris); Institut national d'Histoire de l'Art (Paris); Deutsches Archäologisches Institut-Rom; Museo gregoriano etrusco (Vaticano); Staatliche Graphische Sammlung (Munich); British Museum. Department of Prints and Drawings (London); Svenska Institutet i Rom; Ny Carlsberg Glyptotek (Copenhagen); Museum of Fine Arts (Boston); Museo delle Antichità Etrusche e Italiche, Sapienza Università di Roma; C. Weber-Lehmann Archives (Bochum).

[7] These workshops and painters were Alessandro Morani *et al*. (1900-1910); Augusto Guido Gatti (1910-16); Leo D'Alessandri (or Elio D'Alessandris) (1911-12); Jutta Weber et Mickael Sohn (1988-1993).

[8] The Conservation institutions are Deutsches Archäologisches Institut-Rom; Svenska Institutet Rome); Ny Carlsberg Glyptotek (Copenhagen); Museum of Fine Arts (Boston); Museo delle Antichità Etrusche e Italiche, Sapienza Università di Roma; Museo Archeologico Nazionale di Firenze; Archives C. Weber-Lehmann Archives (Bochum).

7. The scientific objectives of 4D exploration

The first objective of this exploratory tool is to allow the three-dimensional visualisation of all archival documents held in various international institutions for both tombs (respectively 203 and 124 items), rather than as a mosaic of images (Fig. 5), as on the ICAR database. The modern reproductions are therefore inserted into both tombs' architectural volume,

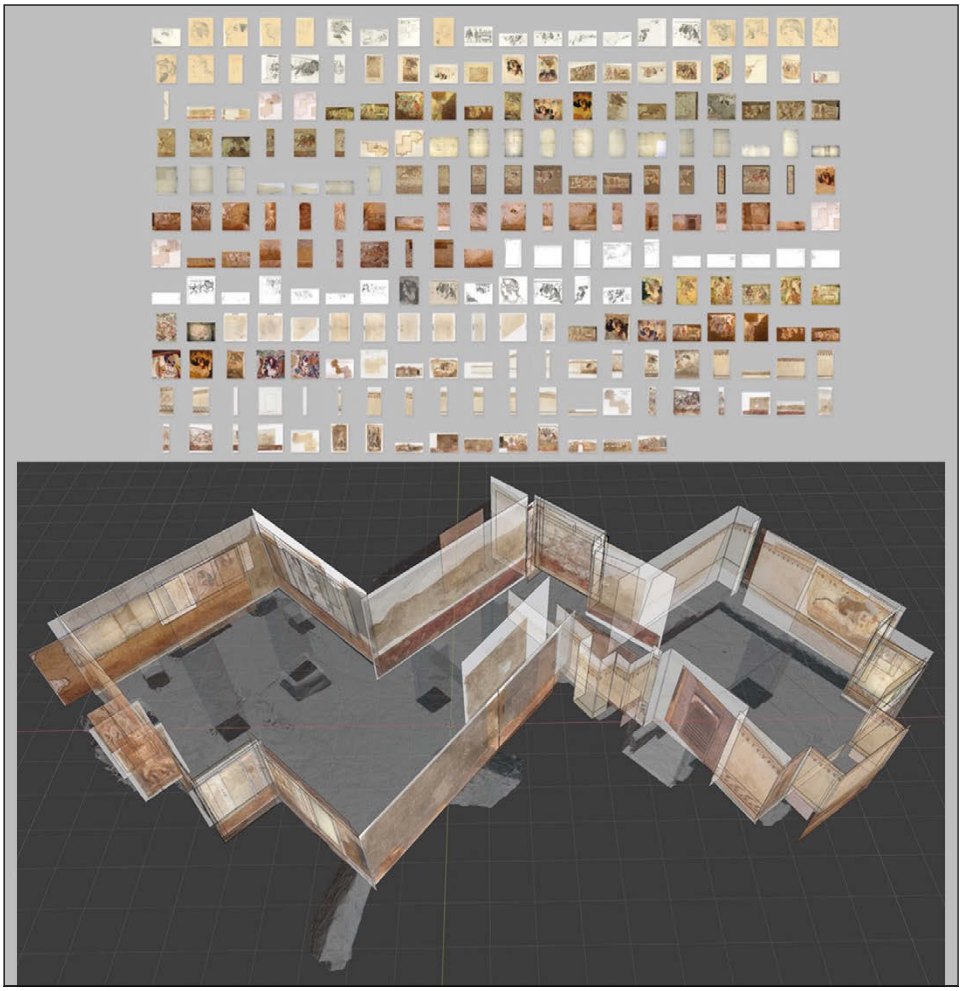


Fig. 5 – The mosaic of archival documents for the tomb of Orcus of Tarquinia and insertion of the same in the 3D modelling (Alban-Brice Pimpaud).

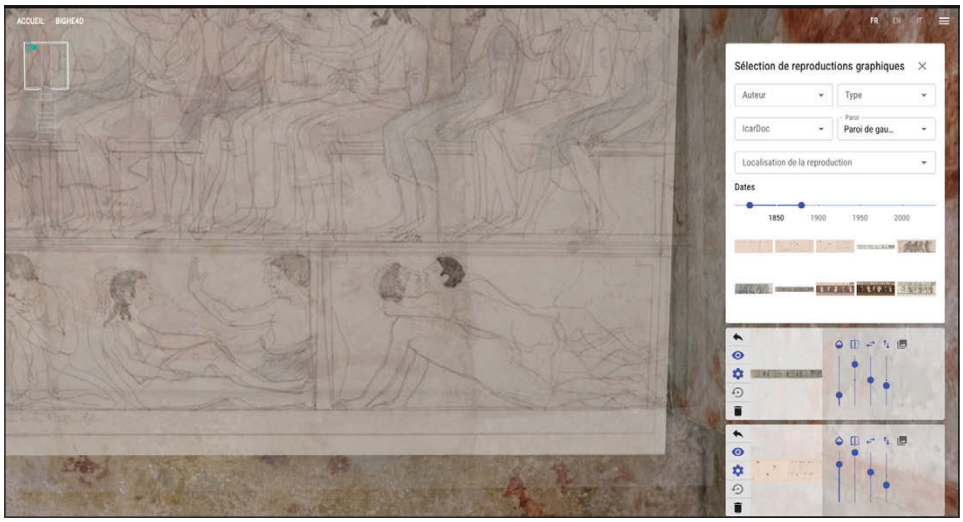


Fig. 6 – The BIGHE 4D interface, detail of the spectator stand on the left wall, with the athletic or erotic scene (ICAR).

reconstituted in 3D, to demonstrate the spatial organisation of the archival images. Since the object of the study was the images themselves, high resolution visual data was required to allow work on their figurative detail. 3D modelling allowed us to get as close as possible to the frescoes in both tombs to appreciate their details, and the graphic archives are presented with the same precision.

As the model in Fig. 5 shows, the archives are projected superimposed onto the walls of the tomb. The oldest is placed closest to the wall with the others on top in chronological order, creating a chronological palimpsest and adding a fourth temporal dimension to the three spatial ones.

The user interface provides the main information on the graphic documents: author, place of conservation, material, reference in the ICAR database and dating (which can be accessed using a timeline). Buttons can be used to show or remove selected archives, or to display all the items from a given collection onto the entire tomb. The transparency of an archival item can be adjusted and the user can also move it a few centimetres in three dimensions (in depth/ vertically/ horizontally) to better compare the modern document with the ancient fresco, with the aim of clarifying the current gaps in the monument and completing the ancient iconographic text. These tools can also be used to compare two archives. Comparisons can help to decide which variant is the most relevant, in cases where the current state of the fresco is fragmentary.

For example (Fig. 6) in this example from BIGHE 4D (http://icar.huma-num.fr/4D/Bighe4D), the badly damaged detail of the fresco depicting the spectator stand on the left wall has been superimposed with two graphic works. This detail, which has now largely disappeared, depicts two men lying under the seated spectators, in an action that can be interpreted in two different ways: Otto Magnus von Stackelberg, who discovered the tomb in 1827 and published his reduced-scale drawings in 1829, reconstructed a wrestling scene, with the man on the right lying with his back to his opponent (ICAR TARQ23-100: http://icar.huma-num.fr/web/fr/icardoc/image/3343). Carlo Ruspi, who reproduced the fresco in 1835, saw it as an erotic scene between both men, the one on the left lying on top of the other. In the facsimile for the Gregorian Etruscan Museum in the Vatican[9] (ICAR TARQ23-34: http://icar.huma-num.fr/web/fr/icardoc/image/1201), this detail was removed, whereas in the facsimiles he produced for the Pall Mall exhibition in London and for the Alte Pinakothek in Munich, he chose the erotic version of his preparatory tracing.

For navigation, the viewer can move around the room using the mouse or with a shortcut on a mini map of the tomb in the top left-hand corner. Given the dimensions of the room, the field of view can be changed in the settings and, in the case of the tomb of Orcus, modern structures such as the 19th-century pillars can be removed to clear the visual perspective.

This interface brings to light the semantic link between the scene depicted on the archive and its arrangement in the tomb. We consider these graphic documents not simply in terms of their own materiality, but in coherence with the archaeological space. We can thereby firmly combine the point of view of the archaeologist, who studies the composition and significance of a funerary decoration's iconographic programme, and that of the historian of the reception of antiquity, who can provide valuable information on the state of the frescoes as they were at the time of their discovery. It is worth pointing out that, at the time they were produced, facsimiles were displayed on museum walls simply as paintings, with no semantic link with the architecture of the tomb they came from[10]. The approach adopted in our programme therefore moves away from this decorative or aesthetic point of view.

Thirdly, the interface contributes to the history of the techniques used to produce the graphic documentation of the modern era. By comparing

[9] This is its publication in Canina 1846-1851, vol. II, fig. 85,2.

[10] See Lubtchansky 2017, where I analyse the variations over time in the way the architecture of the tomb is taken into account in reproductions of Etruscan frescoes. The Pall Mall exhibition in London in 1837 and the cork models are two examples that seek to insert the copies – natural scale in the first case and reduced scale in the second – into a spatial reconstruction of the tomb.

archives with each other, thanks to their projection on the walls and their horizontal, vertical or depth adjustment, we can check that a particular tracing was used to produce a particular facsimile; we can appreciate the changes between a tracing, a 1:1-scale facsimile, and a reduced-scale watercolour; we can also check whether painters copied one another. We know, for instance, that Carlo Ruspi's early drawings were studied by other workshops at the end of the 19th century, and that Henri Labrouste's drawings were copied by numerous student architects who did not necessarily travel to Tarquinia, which was difficult to access at the time (Lubtchansky 2017). This interface may therefore help to resolve the question of whether painters and architects were really working *in situ*, or whether their copies were based on earlier works or publications.

8. Dissemination works around ICAR 4D

A tutorial (http://icar.huma-num.fr/4D/videos/tutoriel.mp4) is available on the ICAR 4D home page (http://icar.huma-num.fr/4D/) to familiarise the public with this multi-faceted interface. The programme is also presented in a 52-minute documentary film (*Couleurs étrusques: Regards croisés sur la peinture étrusque*), broadcast on Canal-U (https://www.canal-u.tv/video/msh_val_de_loire/couleurs_etrusques.55457) and the ARPAMED channel, complemented by a teaser focusing on BIGHE 4D and ORCO 4D (available on the ICAR 4D home page: http://icar.huma-num.fr/4D/videos/film.mp4). All the work related to this programme is presented on the Facsimile Hypotheses blog (https://facsimile.hypotheses.org).

ORCO 4D (http://icar.huma-num.fr/4D/Orco4D) is also supplemented by an interface for students and the general public, entitled ORCO 3D: http://icar.huma-num.fr/4D/Orco. The development of this digital publication aims to reflect the originality and artistic excellence of this painted tomb, as well as the many scientific and heritage studies that have been carried out on it.

The ORCO 3D interface provides access to this monument in 3D, as well as the latest proposals on its chronology, the significance of its iconographic programme and the history of its reception since its discovery.

Twenty stations were selected for this online guided tour (http://icar.huma-num.fr/4D/Orco/3D), but users can also move around the 3D model as they please, moving as close to or as far away from the walls as they wish. A general explanation of the various scenes is provided, and a series of pins offer insights into the details of the frescoes. In addition, a glossary of over 130 terms, relating to Etruscan archaeology and art as well as the history of the discovery of the painted tombs, explains the meaning of the most important concepts. All the information is presented in three languages: French,

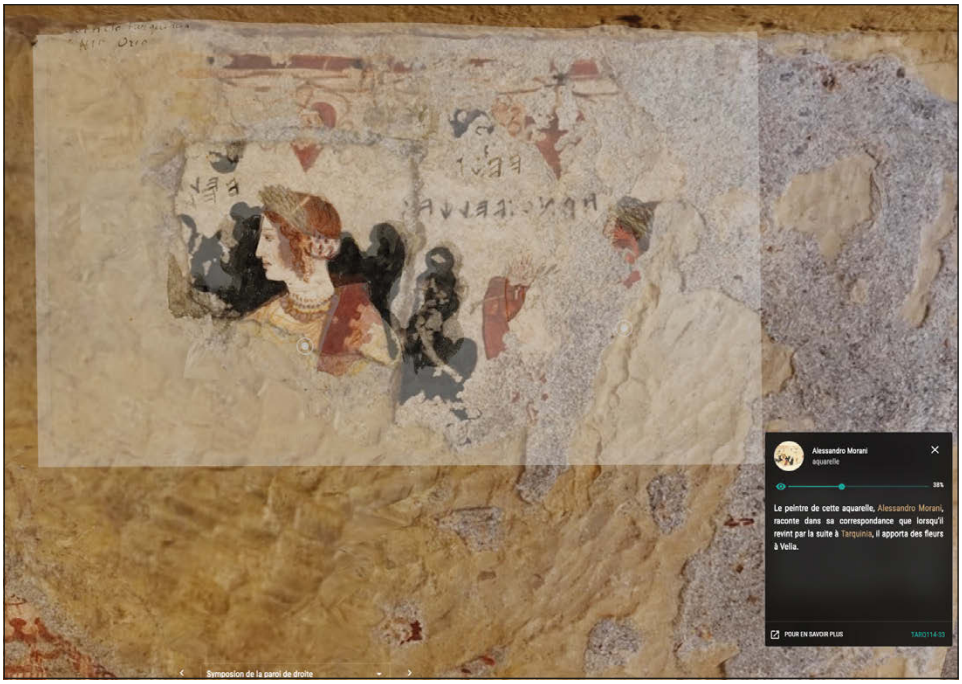


Fig. 7 – The ORCO 3D interface. Presentation of the right wall of chamber 1 with the watercolour by A. Morani (ICAR).

English, and Italian. Two modern graphic reproductions were chosen for each of the twenty scenes depicted, to show their contribution to understanding the iconographic programme and the history of the monument (Fig. 7). Links to the ICAR database are also provided for each ancient or modern work mentioned for further information.

The guided tour through the virtual space of the tomb is completed by four special sections.

The first allows the user to appreciate the historical and geographical context of the tomb within the ancient Mediterranean and the Etruscan city of Tarquinia: http://icar.huma-num.fr/4D/Orco/geographie .

The second (http://icar.huma-num.fr/4D/Orco/chronologie) provides a visual reconstruction, with commentary, of the evolution of the tomb's architecture between 400 BC, when the first burial chamber was dug, and the end of the 19th century, when the structure was reinforced following the discovery of the tomb. It summarizes the research work carried out on the much-debated issue of dating the various ancient constructions and destructions of the monument.

In conjunction with the Facsimile programme, a third section maps the various international collections that hold copies of graphic reproductions of the frescoes in the tomb of Orcus. A history of each collection is presented by the collection specialists: http://icar.huma-num.fr/4D/Orco/collections.

Finally, there is a focus (http://icar.huma-num.fr/4D/Orco/beaufort) on the role played by the French colonel Philippe Léonce de Beaufort in the discovery of the tomb, and on his archaeological collection, now held at the Musée George Sand et de la Vallée Noire in La Châtre, Berry. It includes several ancient artefacts that could well have come from the tomb, given their dating and place of production.

9. Technical workflows

To conclude this presentation, the following summarizes some processes involved in the making of the interactive applications described above, from 3D digitization to online publication.

9.1 *Digitization of the tombs*

Given the various locations and conservation conditions of the tombs, the 3D digitization had to meet two technical objectives:

– Ensure the geometric accuracy of the survey, and therefore offer a high degree of precision in the restitution of volumes, in order to obtain ground truth models,
– Record the smallest details of the painted decoration to facilitate the 3D registration of the graphic archives, and therefore obtain the best resolution as well as a suitable chromatic depth.

Accurate surveys were produced with a reasonable number of stations during a lasergrammetry campaign[11]: 19 for the tomb of Orcus and 2 for the tomb of the Bigas. While the quality of the on-board imagery was enough to document the volumetry and the local variations of the walls surfaces, it was unable to reproduce the finesse and colours of the paintings: the average resolution obtained by laser scanning would have enabled life-size prints to be made at 15 dpi, whereas we are commonly accustomed to appreciating prints of photographs or drawing at 300 dpi or higher. Moreover, the 360° views required to colorize the point clouds suffered from vastly differing lighting conditions (Fig. 8). Resolution, which depends on the number of stations and their distance from the subject, was another limiting factor.

[11] The FARO Focus S 150 scanner, operated by Jean-Philippe Corbellini (MSH Val-de-Loire), achieved an accuracy of about 1 mm and an average resolution of 1.6 mm.



Fig. 8 – Colorized point cloud of the tomb of Orcus, with under/over exposure and shadows. Closeup of a region with a 1.6 mm resolution (Jean-Philippe Corbellini and Alban-Brice Pimpaud).



Fig. 9 – 3D digitization processes, from left to right – point cloud, shaded photogrammetric model, textures. Tomb of Orcus (Alban-Brice Pimpaud).

As such, photogrammetry was the natural choice to achieve the resolution and chromatic homogeneity needed to properly document the paintings. RAW images shot at an average distance of 1 m from the wall and from various angles enabled us to increase both texture resolution and overall chromatic coherence, all while collecting much more 3D details and avoiding cast shadows as much as possible.

The tomb of Orcus was eventually documented by more than 3,600 photos and the tomb of the Bigas by about 920, using light photographic equipment consisting of battery-powered LED lighting and hybrid cameras equipped with lenses suitable for low light conditions[12].

The photographic collections of both tombs were then processed in photogrammetry software (RealityCapture, https://www.capturingreality.com) and matched to the laser-generated point clouds. This fully exploited the advantages of both digitizing methods, i.e. the accuracy of the laser and the information density of the photograph (Fig. 9).

The results of photogrammetric calculations were 3D models with very dense meshes and a large number of textures. This considerable quantity of data, which can only be handled on a powerful computer, had to be optimized for the archive registration process, as well as for the front-end web applications designed to run on average machines.

9.2 *Processing of the 3D textured models*

The raw 3D models were first exported as OBJ files for processing in Instant Meshes (https://github.com/wjakob/instant-meshes), which reduced the tomb of Orcus from 400 million to 6.8 million faces, and the tomb of the Bigas from 18 million to 1 million, while outputting more manageable models made of retopologized quadrangular faces instead of unordered triangular ones.

To improve the 3D experience, while editing the models we segmented the wall surfaces according to their nature and condition of preservation. In the case of the tomb of Orcus, we distinguished between collapsed walls and ceilings, carved architectural elements, preparatory surfaces, painted walls, floors, modern elements, and chronological phases. For the tomb of the Bigas, segmentation was performed according to the position of the paintings in relation to the architectural structure of the tomb (panel, ceiling, central beam, pediment, etc.).

Segmentation of the models enabled us to enhance the quantity and resolution of textures (Fig. 10), since collapsed ceilings, modern elements

[12] SONY Alpha 6000 cameras and SIGMA 16 mm and 30 mm lenses at f1.4; the resulting images are 6000 × 4000 pixels.

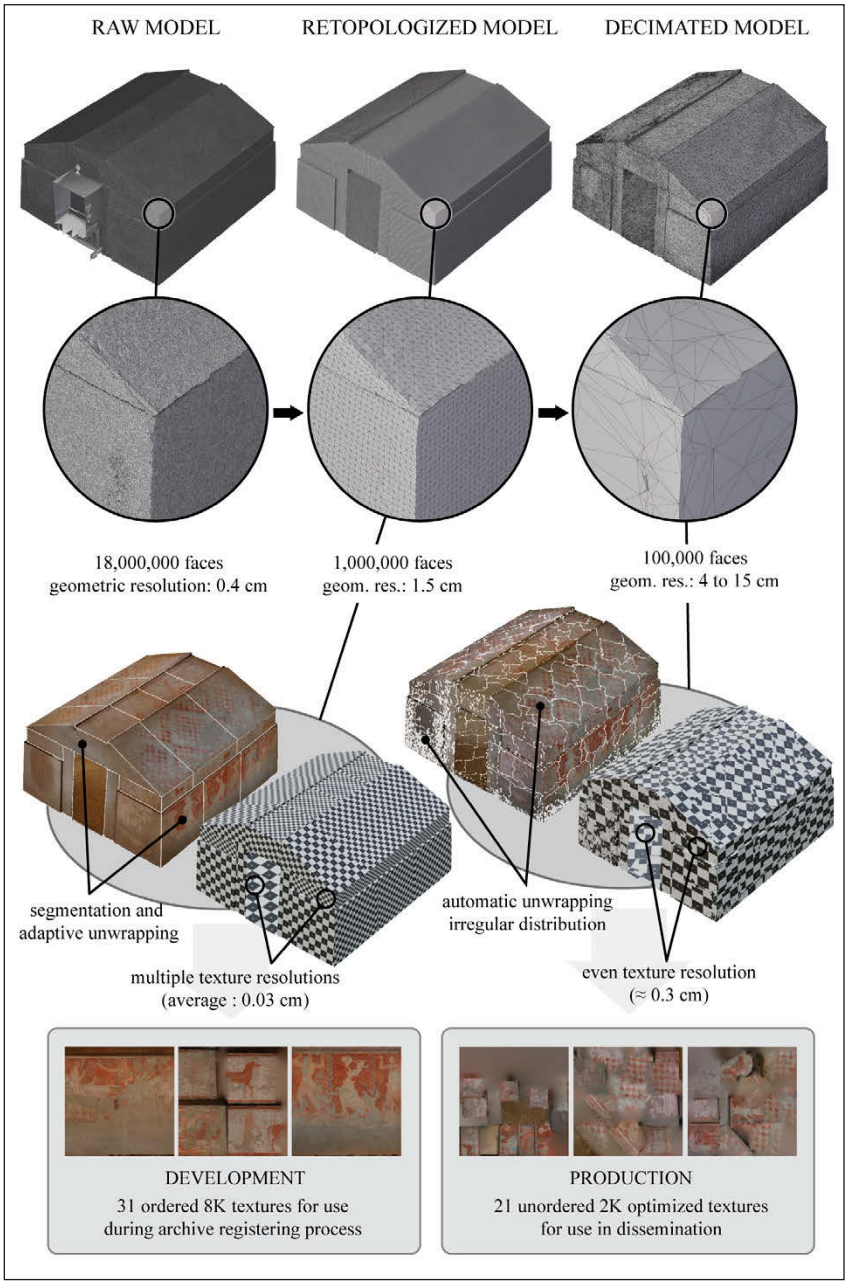


Fig. 10 – Segmentation, decimation, and texturing processes for the tomb of the Bigas (Alban-Brice Pimpaud).

and floors need not be as finely documented as painted plaster or carved decorations. In the case of the tomb of the Bigas, we were able to focus on some very subtle detail, especially where our graphical documentation is very fine, whereas other areas without decoration nor documentation did not require much texture allocation. Despite this, the final twenty 8192×8192 pixel textures required for the tomb of Orcus and the thirty or so for the tomb of the Bigas remain a relatively large number.

9.3 *Registering 2D archives onto 3D models*

Once the textured models were made available in Blender, we had to prepare the archival graphic files. Documents were reframed as closely as possible to reduce file and texture size; composite plates were broken down into individual files as needed. The files were then duplicated and spread to directories according to their resolutions using a robust and unambiguous naming pattern.

The archive was then inserted into Blender as an 'empty' 3D image object. It was scaled if the information was available, and positioned as close as possible to the wall, trying to align to it, using translation and scaling rotation tools, and adjusting transparency levels to get as close as possible to the motif. Archives, grouped by collection, could then be displayed or hidden in Blender during this input phase. In the end, geometric parameters describing these registered 'archive' 3D objects were then added to the data extracted from the ICAR database using a Python script, so that they can be recreated on demand in the application. All external data describing these 3D archives was recorded in a JSON format file, which can be easily interpreted by the software platform used to build the application.

9.4 *Front-end application specifications*

Given the objectives and the variety of documents we needed to manipulate within the applications, we chose the open-source framework React (https://react.dev), which offers the possibility to integrate a large number of Javascript libraries to the source code and to compile it in the form of a responsive website. The Material UI library, with its numerous predefined components, was adopted for building the user interface (https://mui.com); 3D integration relies on the Three.JS library (https://threejs.org) and its various abstractions in the React ecosystem (https://github.com/pmndrs/react-three-fiber); 3D models were decimated and exported as GLTF Files; the interactive scalable maps (from worldwide to the Tarquinia area) are based on the Leaflet library (https://leafletjs.com). Plans for navigating in the tombs were produced in SVG, while all text, glossaries and the interface were encoded in trilingual JSON files (English, Italian, French).

The entire source code is stored on a GitLab repository hosted on Huma-Num's research infrastructure (https://gitlab.huma-num.fr/apimpaud/orco4d), and the application itself can be consulted on the platform's web service (http://icar.huma-num.fr/4D).

Natacha Lubtchansky
University of Tours - CeTHiS
lubtchansky@univ-tours.fr

Alban-Brice Pimpaud
Archeo3D
alban.pimpaud@archeo3d.net

REFERENCES

Canina L. 1846-1851, *L'antica Etruria marittima*, Roma.

Cecchini A. 2012, *Le tombe dipinte di Tarquinia. Vicenda conservativa, restauri, tecnica di esecuzione*, Firenze, Nardini Editore.

Cerchiai L. 2022, *Pittura etrusca in 4D: il programma fac-simile*, «Annali di Archeologia e Storia antica», 395-396.

Cuniglio L., Lubtchansky N., Sarti S. (eds.) 2017, *Dipingere l'Etruria. Le riproduzioni delle pitture etrusche di Augusto Guido Gatti*, Venosa, Osanna Edizioni.

Fenet A., Lubtchansky N. 2020, *ICAR (IConographie-ARchéologie pour l'Italie préromaine) et CAECINA (Contacts et acculturation dans l'Étrurie classique: images, notions, artefacts). Dernières mises à jour, nouvelle interface, nouveaux corpus documentaires*, in S. Bourdin, V. Jolivet (eds.), *Contacts et acculturation dans l'Étrurie classique: images, notions, artefacts, Colloque de l'ANR CAECINA, École française de Rome, 2-4 octobre 2017*, «Mélanges de l'École française de Rome – Antiquité», 132, 1, 51-58 (https://doi.org/10.4000/mefra.9882).

Lubtchansky N. 2011, *Voyageurs français à Corneto 1825-1850*, in M. Royo, M. Denoyelle, E. Hindy-Champion, D. Louyot (eds.), *Du voyage savant aux territoires de l'archéologie. Voyageurs, amateurs et savants à l'origine de l'archéologie moderne*, Paris, De Boccard, 187-216.

Lubtchansky N. 2017, *Documentation graphique et musées de peinture étrusque*, in Cuniglio, Lubtchansky, Sarti 2017, 17-35.

Lubtchansky N. 2021, *Le programme Fac-simile: étudier le patrimoine archéologique étrusque ex situ et en 4D*, «Carnet Hypotheses À l'école de toute l'Italie» (https://efrome.hypotheses.org/1317).

Lubtchansky N. forthcoming, *La tombe étrusque delle Bighe de Tarquinia et les vases bilingues attiques: les techniques de la documentation graphique (XIX^e^-XX^e^ siècles)*.

Lubtchansky N., Labregère J. forthcoming, *L'aldilà etrusco, dalla tomba al museo e alle Digital Humanities: il contributo delle fonti letterarie all'esperienza di visita della tomba dell'Orco a Tarquinia*.

Moltesen M. 2019, *From decoration to documentation – the Helbig-Jacobsen facsimiles and their afterlife*, in L. Cuniglio, N. Lubtchansky, S. Sarti (eds.), *Facsimile 1. Le collezioni di documentazione grafica sulla pittura etrusca. Collezioni di materiali a stampa, disegni e acquerelli, Actes des journées d'études organisées à l'École française de Rome, 11-12 décembre 2017*, «Mélanges de l'École française de Rome – Antiquité», 131, 2, 313-322 (https://doi.org/10.4000/mefra.8172).

ABSTRACT

It has been over twenty years since the ICAR database of figurative scenes from pre-Roman Italy (Etruscan, Italic, Italiote) was first made available online to researchers, students and the general public (http://icar.huma-num.fr/, 2002-, ISSN 2491-2301). The database is a tool for documentation and research into ancient iconography, bringing together the major corpora of images from pre-Roman Italy and providing the main information (archaeological, historical, stylistic, discovery, conservation, bibliographical) relating to them. Since 2000, ICAR has been developing its activities in association with various iconographic research programmes. Over the last ten years the database has also taken into account the modern documentation of the ancient artefacts and offers a data interoperability portal bringing together all the international collections preserving modern reproductions of Etruscan painting. Within this framework, we developed an exploratory tool (ICAR 4D) to combine high-definition 3D digitizations of two Etruscan painted tombs (the tombs of the Bigas and of Orcus in Tarquinia) with all the drawings and paintings produced over more than a century since the discovery of the two monuments. This tool uses cross-browser and open-source libraries to digitally expose and allow 3-D real-time online examination of both tombs' models and their rich graphical documentation.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 193-214
doi 10.19282/ac.35.1.2024.14

LE TAL POUR LES APPELLATIONS D'ŒUVRES FIGURÉES DE L'ANTIQUITÉ CLASSIQUE: ÉVOLUTION DES RESSOURCES NUMÉRIQUES DU PROJET MONUMENTAL

1. Introduction

Dans l'environnement numérique, le titre de l'œuvre d'art figurée trouve sa place dans la recherche d'information, que celle-ci soit une requête formulée par l'internaute ou un dialogue machine-machine. Ce nom joue un rôle dans l'identification même de l'œuvre ou du sujet de l'image, notamment dans l'affichage des réponses, dans le set d'informations dédié à l'œuvre et donc, le cas échéant, dans ses métadonnées documentaires. Citer une œuvre de façon distinctive suppose aussi de la désigner sous un titre, une appellation univoque.

Le programme MonumenTAL/Monuments antiques et Traitement Automatique de la Langue[1] porte précisément sur les titres et désignations des œuvres de l'art figuré de l'Antiquité classique, qu'il aborde à partir des textes et en se fondant sur des pratiques relevant du Traitement Automatique de la Langue (TAL), pour aborder l'étude de l'élaboration et de l'évolution des modes de formulation de ces désignations dans une approche diachronique. Fondé sur une collaboration interdisciplinaire réunissant les historiens de l'art et philologues de l'équipe française du LIMC (UMR7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité/ArScAn) – spécialistes de l'iconographie classique – les linguistes-talistes de l'UMR7114 Modèles Dynamique Corpus/MoDyCo, et les conservateurs et bibliothécaires de la Bibliothèque nationale de France (BnF), ce projet commencé en 2020 vise à développer des moyens pour la reconnaissance et l'annotation automatiques des noms d'œuvres d'art visuel dans les textes et à expérimenter des pratiques dans la perspective de l'Intelligence Artificielle. Par sa thématique, il est également étroitement lié à l'enrichissement des ressources en ligne LIMC-France et de son thésaurus TheA/Thesaurus-Antiquité (http://www.limc-france.fr/). Cet article présente une synthèse, sous l'angle de vue de l'historien de l'art et archéologue, centrée sur l'outil de reconnaissance et d'annotation textuelles automatiques réalisé de façon collégiale au sein du programme (Lessieux *et al.* 2022, 2023), en l'état actuel de son évolution, puis quelques premiers essais d'utilisation des données produites pour des analyses, de la fouille de texte ou de l'apprentissage profond.

[1] MonumenTAL (https://heurist.huma-num.fr/heurist/?db=MonumenTAL&website&id=186) a été réalisé dans le cadre du labex Les passés dans le présent et a bénéficié de l'aide de l'État gérée par l'ANR au titre du programme Investissements d'avenir portant la réf. ANR-11-LABX-0026-01 (http://passes-present.eu/fr/monumental-monuments-antiques-et-traitement-automatique-de-la-langue-44335).

2. Spécificités du nom des œuvres figurées antiques

Les données du web, de plus en plus massives grâce à l'accroissement des ressources numériques nouvelles comme celles des bases de données, ou à la mise en ligne sous forme numérique de publications nativement numériques ou numérisées, y compris les plus anciennes, restituent un large éventail de noms attribués aux œuvres d'art, leurs différents titres et les variantes de ceux-ci. En revanche, des thésaurus du domaine sont encore souvent limités pour les titres d'œuvres antiques ou répondent plutôt aux besoins des historiens de l'art européen plus récent. Dans ce contexte, un moyen de repérer les œuvres antiques par leur titre, à l'aide d'un thésaurus dédié ou par des processus automatisés ou relevant des techniques de l'Intelligence Artificielle, serait bienvenu.

L'attribution d'un titre distinctif, voire unique, comme le ferait aujourd'hui le créateur de l'œuvre d'art figurée, est une pratique relativement récente, qui remonte aux XVIII[e]-XIX[e] s. (de Biasi *et al.* 2012), alors que pour les siècles précédents et notamment pour la période antique, les témoignages qui nous sont parvenus proviennent quasiment de textes dans lesquels les œuvres sont citées selon des expressions variables créées par les auteurs ou la tradition (Prioux à paraître). Faute d'un processus de désignation imposant un nom unique, autre que l'attribution d'un numéro d'inventaire par la collection en charge de l'objet (Ministère de la Culture 2020), la plupart des œuvres figurées de l'Antiquité classique sont connues sous plusieurs appellations différentes élaborées et attribuées au fil du temps, selon les pratiques et le contexte d'écriture ou d'usage du moment, certaines appellations seulement se stabilisant.

De plus, un même nom d'œuvre connue peut aussi être employé pour désigner d'autres objets figurés. Le phénomène des copies et répliques d'époque romaine, en particulier, et les créations plus récentes inspirées par les sculptures antiques redécouvertes depuis la période moderne, correspondent à une reprise de types iconographiques. Dans la pratique, ces derniers sont nommés comme l'œuvre-archétype, ce qui fragilise encore davantage l'unicité souhaitée de la relation "titre-œuvre". Par exemple, d'innombrables copies de la statue de Praxitèle l'*Aphrodite de Cnide* sont désignées de la même façon, comme le fait F. Cumont qui titre ainsi une notice de catalogue de musée avant de préciser à la page suivante qu'il s'agit d'une réplique de la statue de Praxitèle (Cumont 1913, 15-16 n. 10: Fig. 1). La répétition, pendant des siècles, de compositions et de schémas visuels a aussi contribué à instaurer des noms de thèmes iconographiques et de sujets narratifs, par exemple *Héraclès combattant le lion*, comme titres de multiples images ou objets figurés. Cette reprise de motifs, caractéristique de l'art antique classique, complique encore la distinction entre les artefacts.

Face à cette diversité dans les usages, le terme "appellation" a été préféré par le projet au mot "titre", ressenti comme trop restrictif par rapport au

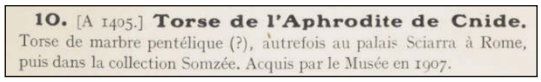

10. [A 1405.] **Torse de l'Aphrodite de Cnide.**
Torse de marbre pentélique (?), autrefois au palais Sciarra à Rome, puis dans la collection Somzée. Acquis par le Musée en 1907.

Fig. 1 – Extrait de Cumont 1913, p.15.

souhait de prendre en compte les thèmes iconographiques si fréquemment utilisés pour nommer des images, des scènes, de même que les signalements un peu flous d'artefacts figurés comme *statue de Poséidon* qui ont un fort potentiel pour l'interopérabilité des données du patrimoine antique. Les appellations thématiques ont été traitées de façon expérimentale car leur formulation peut aussi correspondre à un segment textuel dans une description détaillée d'image sans que ce soit pour autant un titre, une confusion qui générerait du bruit parmi les résultats souhaités.

3. Un corpus textuel spécialisé pour une approche diachronique

Les créations figurées produites dans les mondes anciens grecs, romains ou étrusques ont ainsi été citées de diverses façons dans les textes, de l'Antiquité à nos jours, par des mentions simples témoignant de leur existence ou comme sujet d'étude ou élément d'élaboration de théories relatives aux cultures visuelles ou matérielles. Pour repérer cette variété, développer les moyens de la reconnaissance et de l'annotation automatiques, et poser les bases de l'étude de l'évolution des formulations, le corpus textuel français choisi cible des écrits d'historiens et théoriciens de l'art antique et d'archéologues et couvre la période allant du XVIII^e^ s. à nos jours. Il inclut aussi des traductions de textes antiques originellement rédigés en grec ancien ou en latin. Les publications consacrées à la sculpture ont été utilisées en premier puis le corpus a été progressivement élargi aux textes sur les gemmes gravées, sur la peinture, la mosaïque et la céramique.

Les soixante-quinze publications en français sélectionnées pour les développements et les tests totalisent 883.740 tokens (un token correspond à un mot, une unité, et la tokenisation à un découpage des phrases en mots) et s'inscrivent dans la typologie suivante:

– Des essais, des manuels, des traductions de textes antiques grecs ou latins,
– Des catalogues de collection ou de vente (textes avec des notices structurées), des guides de musées et des récits de voyage,
– Des articles et des fascicules de périodique,
– Des notices d'encyclopédie,
– Des listes, des lexiques, des index.

Des œuvres visuelles antiques sont déjà citées dans des ouvrages des XVI^e^ et XVII^e^ s. mais les publications du corpus textuel ne sont pas antérieures

au XVIII^e s. car les processus de TAL du projet utilisent les textes en version TXT; or, la fiabilité de l'océrisation des ouvrages originaux anciens est trop diminuée par la qualité d'impression irrégulière et les typographies anciennes. Des textes présentant un taux raisonnable d'erreurs d'océrisation ont été pris en compte car cette situation correspond à l'une des utilisations envisagées pour l'outil de TAL: le repérage des œuvres dans les publications disponibles en ligne, y compris les plus volumineuses. La mise en page et la casse, le cas échéant porteuses de sens pour les titres – comme l'emplacement dans une notice de catalogue d'art semi-structuré ou le titre en italique ou en gras – ne sont malheureusement pas conservées à l'identique par le processus d'océrisation et n'ont donc pas pu être exploitées.

Afin de faciliter la reproductibilité des procédures réalisées, les publications en open access ou en open data ont été privilégiées et sélectionnées principalement sur Gallica (https://gallica.bnf.fr/) et, pour les plus récentes, sur OpenEdition (https://www.openedition.org/), Persée (https://www.persee.fr/), Hal (https://hal.science/), Wikipédia et Wikisource (https://fr.wikipedia.org et https://fr.wikisource.org/), ces sites de ressources en ligne proposant l'accès sur le long terme à un large panel de publications. Les fichiers TXT sont ceux téléchargés sur Gallica; ceux des autres sources sont générés sur le moment. L'ensemble des fichiers TXT, y compris les TXT originaux, les données produites par le projet et sa documentation sont déposés sur un espace GitLab de l'IR* Huma-Num (https://gitlab.huma-num.fr/monumental/monumental). Une instance Zotero a été créée pour gérer les références des publications utilisées, des métadonnées créées pour le protocole d'analyse (type et période de publication, thématique, lectorat, état d'océrisation, etc.), ainsi qu'un identifiant univoque propre à MonumenTAL assurant le sourçage, à chaque étape du projet, de toutes les versions modifiées du fichier TXT original et des segments textuels qui en sont extraits.

4. Choix de la méthode de Traitement Automatique de la Langue

Deux types de formulations des appellations d'œuvres visuelles ont d'abord été envisagés: une suite traditionnelle, plus ou moins longue, combinant des noms et des déterminants, comme l'*Aphrodite de Cnide* ou la *fameuse statue en marbre de l'Aphrodite de Cnide de Praxitèle*, et le thème iconographique ou sujet narratif, par exemple *Héraclès combattant le lion* ou exprimé en un seul mot spécifique au domaine comme *Amazonomachie* (combat avec des Amazones).

Après le mode de formulation, le deuxième constat est celui de la présence récurrente de noms de personnages représentés et d'acteurs du monde de l'art (artiste, collectionneur, commanditaire), ainsi que celui de notions omniprésentes dans les données, les ontologies (notamment le CIDOC CRM: https://

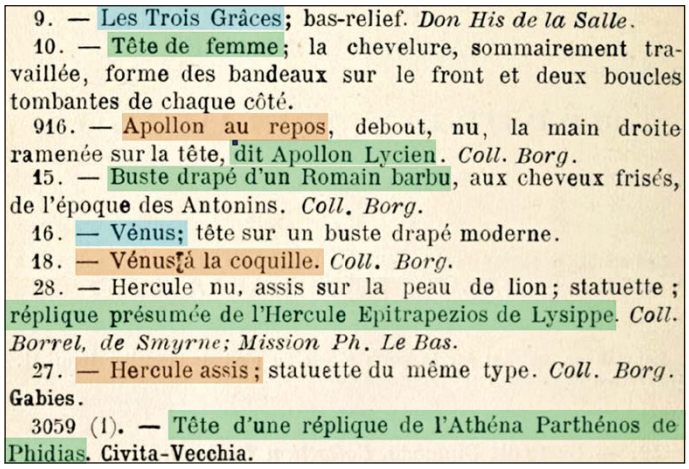
cidoc-crm.org/) et les thésaurus relatifs au patrimoine culturel matériel, telles le type d'artefact, le matériau, le lieu, la collection: *statue en marbre de l'Aphrodite de Cnide de Praxitèle* = type d'artefact + matériau + personnage figuré + lieu + artiste. Beaucoup de ces termes sont propres au domaine et à la période artistiques traités et sont donc absents des dictionnaires standards français utilisés habituellement par les outils numériques de TAL. Certains mots dérivent du grec ancien ou du latin et ont été francisés dans les textes selon des principes de transcription irréguliers (par exemple pour Icare: Ikaros, Icaros, Ikarus, Icarus).

Compte tenu de la récurrence de quelques types de formulation et de l'omniprésence de vocabulaires spécialisés, la méthode de TAL dite symbolique, et la recherche d'entités nommées (Nouvel *et al.* 2016), ont été privilégiées pour repérer et annoter automatiquement les appellations d'œuvres figurées (Lessieux *et al.* 2022, § 6). Pour l'application de ces approches à d'autres thématiques: Collin, Guerraz 2015; Díez Platas *et al.* 2021). Il s'agit de faire interagir des patrons linguistiques (qui sont des modélisations des formulations textuelles), sous forme de graphes numériques, avec des dictionnaires (qui se présentent dans le cas présent comme des listes simples de termes). Pour MonumenTAL, ces dictionnaires réunissent un vocabulaire spécifique complétant le dictionnaire standard français. Comparé à l'utilisation d'un thésaurus de titres d'œuvres, dont le contenu reste figé, la méthode de TAL choisie permet un repérage dynamique des formulations, c'est-à-dire quel que soit l'ordre ou la forme des composants de la formulation, les choix de transcription ou de graphie des mots, ou encore les éventuels changements d'identification des personnages et d'interprétation des scènes figurées.

5. Cerner les formulations modèles: de l'annotation manuelle à l'automatisation

Le processus d'élaboration de cet outil de repérage et d'annotation a suivi deux phases: la constitution de la typologie des appellations et du vocabulaire à prendre en compte, puis la modélisation des graphes numériques et l'élaboration des dictionnaires pour le TAL.

Lors de la première phase, une annotation manuelle a été effectuée, en concertation, par plusieurs historiens de l'art et des linguistes-talistes sur une trentaine de publications en fichiers TXT ayant subi, via un script Python, une transformation préalable limitée à la suppression des sauts de ligne et espaces en surplus, et à la normalisation de caractères (tirets; guillemets). Les chiffres, la différenciation des majuscules et des minuscules, et des mots considérés comme vides par d'autres projets de TAL ont été conservés car estimés pertinents. Le logiciel gratuit d'annotation Glozz (http://www.glozz.org/; Widlöcher, Mathet 2012; http://explorationdecorpus.corpusecrits.huma-num.fr/glozz/) a été choisi pour sa facilité d'utilisation (une annotation sous forme de



9. — Les Trois Grâces; bas-relief. *Don His de la Salle.*
10. — Tête de femme; la chevelure, sommairement travaillée, forme des bandeaux sur le front et deux boucles tombantes de chaque côté.
916. — Apollon au repos, debout, nu, la main droite ramenée sur la tête, dit Apollon Lycien. *Coll. Borg.*
15. — Buste drapé d'un Romain barbu, aux cheveux frisés, de l'époque des Antonins. *Coll. Borg.*
16. — Vénus; tête sur un buste drapé moderne.
18. — Vénus à la coquille. *Coll. Borg.*
28. — Hercule nu, assis sur la peau de lion; statuette; réplique présumée de l'Hercule Epitrapezios de Lysippe. *Coll. Borrel, de Smyrne; Mission Ph. Le Bas.*
27. — Hercule assis; statuette du même type. *Coll. Borg.* **Gabies.**
3059 (1). — Tête d'une réplique de l'Athéna Parthénos de Phidias. **Civita-Vecchia.**

Fig. 2 – Extrait surligné de la p. 2 de Musées Nationaux, Louvre (Michon) 1922.

surlignages colorés selon les balises paramétrées par rapport aux besoins du projet) et d'extraction des segments annotés (appellations d'œuvres; mots du vocabulaire). Une "convention d'annotation", fixant les règles d'annotation décidées pour le projet, a été établie. La fiabilité de l'annotation a été évaluée (Lessieux *et al.* 2022, § 5) par le calcul de l'accord inter-annotateur (mesure de la similarité des décisions prises par différents annotateurs de type kappa de Cohen, κ: https://fr.wikipedia.org/wiki/Kappa_de_Cohen, consulté le 8.1.2024).

Cette phase a confirmé les deux types pressentis – la suite traditionnelle de déterminants et de noms et l'expression du thème – qui trouvent un écho dans l'analyse des titres dans les sources antiques présentée par É. Prioux (Prioux à paraître). L'annotation manuelle a aussi révélé un mode de formulation, très fréquent, consistant en une réduction de la suite traditionnelle au seul nom du personnage représenté précédé d'un déterminant, ainsi que des constructions du type *Vénus dite de Médicis*, ou *Aphrodite Callipyge, dite Vénus belle-fesse*.

Une page d'un catalogue du Louvre (Musées Nationaux, Louvre (Michon) 1922, 2: https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6237020f/f22.item) donne quelques exemples pour la statuaire (Fig. 2).

6. Exploiter les expressions spécifiques pour enrichir la typologie des appellations en français

Le patron linguistique a été réalisé en version numérique avec le logiciel gratuit d'analyse de corpus Unitex (https://unitexgramlab.org/fr; Paumier *et al.* 2009). Il réunit quarante-six graphes (Fig. 3) dont un, principal

(1Appellation_all.grf), qui appelle les autres graphes (sous-graphes) selon une architecture en cascade.

Sous l'effet de la modélisation en graphe numérique, qui a induit des adaptations par rapport à la phase d'annotation manuelle, la typologie des appellations a évolué et a été enrichie depuis la présentation faite à la Conférence internationale TOTh 2022 (Lessieux *et al.* 2023, 56-59). Les types principaux finalement retenus sont l'Appellation Courte (balise d'annotation AC) et l'Appellation Structurée (AS). Pour correspondre à la cible de MonumenTAL – les désignations d'oeuvres – le Thème (TM) est compris dans l'AS et n'est reconnu en tant que titre que sous certaines conditions. Enfin, deux types de formulation supplémentaires relèvent de L'Appellation Structurée: l'Appellation Enrichie (AE) et l'Appellation Introduite (AX).

L'interaction étroite des dictionnaires spécifiques avec les graphes, qui les appellent, et les premiers résultats d'annotation automatique ont également fait évoluer le jeu de dictionnaires par rapport à sa présentation en 2022 (Lessieux *et al.* 2023, 64-69): pour ces modifications, voir *infra* § 7. Dans cet article, par commodité, les mots composant les noms de la typologie des appellations commencent par une majuscule et sont abrégés comme leurs balises d'annotation, les noms de dictionnaire sont en majuscules. Dans les schémas de graphes Unitex, un nom de dictionnaire est en majuscules, sans surlignage et entre des chevrons; un nom de graphe est surligné en gris; une balise d'annotation est en gras et entre des chevrons.

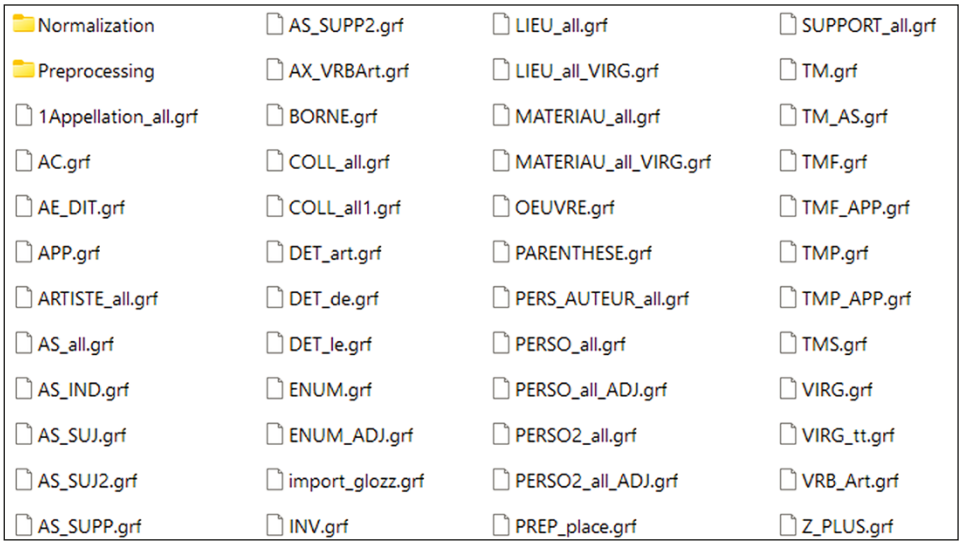


Fig. 3 – Liste des graphes Unitex pour les appellations d'œuvres de MonumenTAL.

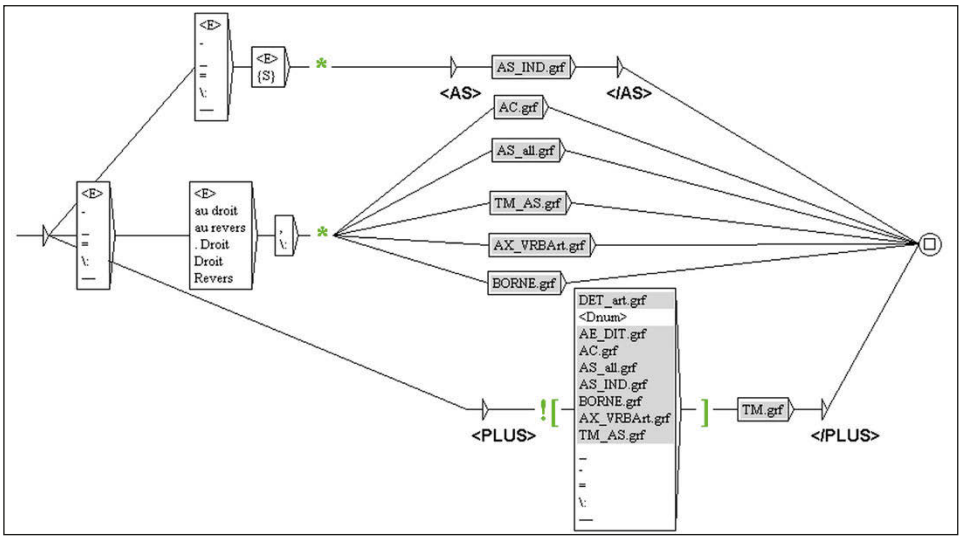


Fig. 4 – Schéma du graphe Unitex APP pour la récupération des titres selon la typologie MonumenTAL.

La Fig. 4 présente, dans le second niveau du graphe Unitex, les sous-graphes de la typologie appelés par le sous-graphe APP.grf.

6.1 *L'Appellation Courte (AC)*

L'AC (Fig. 2: surlignage bleu) est réduite au nom du personnage précédé d'un déterminant (n. 9: « *Les Trois Grâces* »). En français, cette combinaison suffit dans la plupart des cas à confirmer la matérialité de la représentation. Par exemple la forme réduite *la Vénus* suppose dans la plupart des cas un objet tandis que le seul nom *Vénus* peut correspondre à l'entité divine sans qu'il s'agisse d'une représentation figurée. Cette forme est employée comme rappel dans le texte (*la Médicis*: pour *la Vénus de Médicis*) ou pour des œuvres très célèbres (*le Laocoon*; *l'Apollon* [du Belvédère]; *la Cnidienne*; *la Samothrace*). Elle fonctionne particulièrement bien avec des noms propres d'individus mais manque de pertinence avec les noms de groupe, les noms génériques, qui sont donc écartés. Les *hermès* (piliers hermaïques) et leurs variantes, comme les "Hermathènes" (Jaucourt 1765), qui sont à la fois objet et représentation figurée, et "les trois Grâces", expression employée surtout pour des œuvres visuelles, sont acceptés.

Les dénominations des personnages individualisés ou génériques (groupes, fonctions...) sont récupérées si elles sont délimitées par un jeu pertinent de ponctuations, comme dans une notice de catalogue (n. 16: « – *Vénus;* » ou « . *Satyre* . », etc.).

6.2 *L'Appellation Structurée (AS), l'Appellation Enrichie (AE), l'Appellation Introduite par un verbe (AX)*

L'AS (surlignage vert) commence par un personnage représenté ou un support d'image/type d'objet (n. 10; n. 15: « *Buste drapé d'un Romain barbu* ») complété, pour former une suite, d'au moins l'un des composants permutables et facultatifs correspondant aux grandes notions fréquemment convoquées pour le patrimoine matériel (n. 28; n. 3059: « *Tête d'une réplique de l'Athéna Parthénos de Phidias* »):

– Personnage: personnage représenté ou artiste,
– Type d'objet, de support ou de représentation (par ex. réplique, copie, image, etc.),
– Matériau,
– Lieu de création, d'utilisation, de découverte ou de conservation,
– Collection, collectionneur, édifice antique.

Les signalements des œuvres dans un index, dont l'ordre des composants peut être inversé ("*Milo, Vénus de*"), sont recherchés (Fig. 4: graphe AS_IND).

L'AE (Appellation Enrichie), courante dans le corpus, est introduite par un composant comme ", dit", "soi-disant" ou "dénommé" qui signale son emploi en titre d'œuvre (n. 916: « *dit Apollon Lycien* »). Elle peut avoir plusieurs structurations: composant + composant (*Vénus dite du Capitole*), composant + appellation (*Vénus dite Vénus du Capitole*) ou appellation + appellation (*Vénus du Capitole, dite Vénus Capitoline; Apollon Sauroctone appelé Apollon de Cleveland*). Pour simplifier à la fois l'évaluation de ses occurrences et l'architecture des graphes, l'AE est balisée au sein de l'AS, comme l'un de ses composants et non plus comme un type indépendant.

L'AX (Appellation Introduite) est la désignation d'une œuvre introduite par un verbe spécifique au domaine (sculpter, peindre...) ou très pertinent (Fig. 4: graphe AX_VRBArt). Le verbe "représenter" est de loin le plus employé et ses résultats sont si bons que cette formulation a été retenue. Toutes les conjugaisons sont admises, y compris des formes anciennes telles que "représentoit" pour l'imparfait. Les verbes comme "dédier", "ériger", "consacrer" [… une statue à une divinité], ambigus, ont généré trop de bruit et ont été écartés. Par contre, l'approche diachronique a fait ressortir des usages anciens récurrents qui ont été retenus, comme un emploi du verbe "offrir" équivalent à "montrer", "représenter": « offrant <AX>*Diane sous les attributs d'Hécate*</AX> » (Tieck 1844, 4 n. 26). Le segment textuel annoté AX correspond au titre, à une AS.

La modélisation de l'AS permet aussi de repérer de façon dynamique des appellations traditionnelles dont une partie des mots est hors dictionnaire comme les noms de défunts inscrits sur les monuments funéraires, par ex. « *Stèle funéraire de Q. Clodius* » (Musées Nationaux, Louvre (Michon)

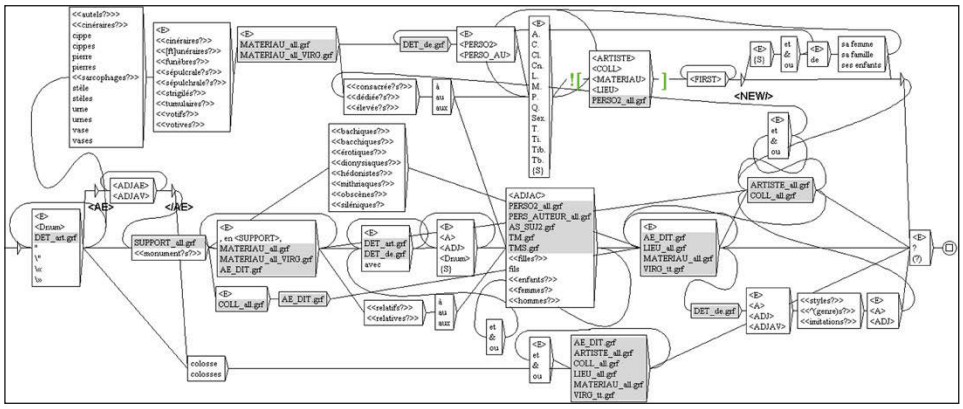


Fig. 5 – Graphe Unitex pour les Appellations Structurées de MonumenTAL commençant par un type d'objet.

1922, 109 n. 2001). La partie supérieure du graphe AS_SUPP (Fig. 5) montre la modélisation de ce repérage:

Type d'objet (obligatoirement l'un des mots listés dans le premier panneau) + adjectif (facultatif ou de la liste) + matériau (facultatif) + déterminant de type "de"/"des" (obligatoire) + des initiales courantes de noms latins (facultatif) + des mots commençant par une majuscule (<FIRST>, obligatoire) + "et de sa famille" / "femme" / "enfants" (facultatif et avec un retour vers la reconstruction dynamique du nom).

<FIRST> est une expression conventionnelle, pour les mots commençant par une majuscule, permettant de retrouver nos noms propres non prévus. La balise <NEW/> signale les termes annotés mais absents des dictionnaires afin de faciliter, le cas échéant, l'enrichissement des dictionnaires.

6.3 *Le Thème (TM)*

Le TM (surlignage orange) est formulé en proposition participiale (participes passé ou présent) commençant par un personnage (*Persée délivrant Andromède / Andromède délivrée par Persée*) ou un mot exprimant un événement, une action, une position, un état… (*Naissance d'Athéna*). Il peut aussi s'agir d'un personnage associé à un objet (*Apollon à l'Omphalos*, *Dionysos sur un bige*). Des mots seuls, dérivant des langues anciennes et dont l'usage en titre est courant (*Amazonomachie*; *Nekyia*), ou des expressions forgées par la tradition sont aussi recherchés (n. 916: « *Apollon au repos* »).

Pour éviter la sélection d'un groupe TM dans le cœur d'une description détaillée de l'image, les appellations thématiques sont sélectionnées si elles

sont incluses dans une AS (par exemple: <AS>*statue d'*<TM>*Apollon menaçant un lézard rampant sur un tronc*</TM></AS>). Si elles sont délimitées par les mêmes jeux de ponctuations que ceux des AC (n. 18: « – *Vénus à la coquille*. »; n. 27: « – *Hercule assis*. »), si un nom de thème traditionnel est employé seul (*Nekya;* etc.) ou si les formulations incluent un matériau – ce dernier attestant la matérialité de l'œuvre (*Supplice de Marsyas en marbre*) – elles sont balisées en tant que TM et AS (TM_AS). Les autres cas sont repérés mais non retenus comme titre d'œuvre (Fig. 4: balise <PLUS>). Cette solution est certes peu satisfaisante car elle écarte des segments textuels pertinents mais elle répond aux objectifs de MonumenTAL; elle limite le bruit généré par la sélection d'un segment textuel au sein d'une description et qui ne serait pas utilisé en désignation d'œuvre. Une solution pourrait être apportée, pour les catalogues d'objets figurés, par le projet DataCatalogue (INHA, INRIA, BnF: Scheithauer *et al.* 2023) qui travaille au balisage automatique en XML-TEI des différents éléments structurés d'une page et d'une notice de catalogue de vente d'art, dont la zone de titre de la scène figurée ou de l'artefact (entraînement de modèles de segmentation automatique des différentes zones d'information).

6.4 *Les adjectifs et les épiclèses sont-ils marqueurs d'un type d'appellation ?*

La présence fréquente dans l'AS d'adjectifs qualifiant la scène ou le personnage ("statue de Junon assise") a remis en cause la séparation distincte des annotations en AS et TM proposée à l'issue de la phase d'annotation manuelle et qui a été appliquée lors du calcul des résultats de la reconnaissance automatique (F-mesure: Lessieux *et al.* 2023, 63-64). Finalement, la modélisation de MonumenTAL privilégie, pour le français, la structuration du segment textuel: "statue de Junon assise" correspond à une AS (type d'objet + personnage). C'est encore plus marqué dans le cas des épiclèses, qui qualifient les divinités et qui sont particulièrement utilisées pour désigner les statues de culte. L'épiclèse, qui suit le nom de la divinité, peut exprimer par exemple un lieu ("Artémis Ephesia": d'Éphèse), une attribution ("Apollon Alexikakos": qui éloigne le mal), un aspect ou une action ("Isis Pelagia": à la voile). La composante lieu correspond à une AS et l'action à un TM. Si la répartition en appellation dite « Structurée » et en appellation thématique est ressentie comme naturelle du point de vue de l'historien de l'art, elle s'avère délicate à modéliser et implique de séparer et répartir en amont les adjectifs et les épiclèses selon leur sens. Or, la recherche des adjectifs a été modifiée après juin 2022 pour profiter des possibilités offertes par le TAL: la recherche de tous les adjectifs du dictionnaire français par défaut a été préférée (<A> dans les graphes) et elle est complétée par un dictionnaire d'adjectifs spécifiques au domaine (dont les épiclèses) et pour des analyses qualitatives envisagées. Ce choix n'a pas dégradé le résultat.

Finalement, dans la modélisation, ce sont plutôt le début de la séquence textuelle et son mode de structuration qui différencient l'AS et le TM: l'AS commence par un support/type d'objet ou le personnage représenté, la composante TM commence plutôt par un mot exprimant un événement (naissance) ou un personnage décrit.

6.5 *Proposer une utilisation modulable des graphes*

Le graphe MonumenTAL réunit quarante-six (sous-)graphes dont six correspondant aux composants principaux des appellations. La fonctionnalité d'appel de sous-graphes par Unitex a été exploitée pour permettre des recherches indépendantes de celle des appellations d'œuvres, à partir de ces six (sous-)graphes consacrés aux notions fréquentes du patrimoine culturel: ARTISTE_all, COLL_all (pour les collections), LIEU_all, MATERIAU_all, PERSO_all (pour les personnages figurés), SUPPORT_all. Ces graphes ont été conçus pour trouver des expressions allant de la plus simple à la plus riche et complexe.

La Fig. 6 montre SUPPORT_all.grf. Ce patron balise des expressions énumérant plusieurs types d'objets ou de représentations ("fragment d'une copie de statue"), le cas échéant avec des adjectifs, des mots correspondant à la fois à des types d'objets et des matériaux ("un bronze"; "des marbres") ou encore des types d'objets nommés en lien avec un lieu, par l'appel du graphe LIEU_all.grf.

7. Les dictionnaires et le thésaurus OEUVRE: sources et évolution

7.1 *Les dictionnaires pour l'outil de TAL*

Le repérage des appellations d'œuvres et la reconnaissance d'entités nommées par Unitex reposent en grande partie sur l'emploi du dictionnaire français standard, proposé par défaut par l'application, et celui du jeu de dictionnaires spécifiques ajouté à Unitex. Ce jeu, qui a été détaillé dans la présentation de 2022 (Lessieux *et al.* 2023, 64-69), a évolué vers une simplification du vocabulaire et une plus grande exploitation des dynamiques apportées par les patrons linguistiques numériques. À l'exception d'ADJECTIF et de COLLECTION, les dictionnaires sont gérés dans TheA/Thesaurus-Antiquité (sur TheA: Szabados 2015) sous forme de thésaurus compatibles avec la norme SKOS (SKOS 2009), pour préserver notamment le multilinguisme, l'organisation du vocabulaire en termes préféré, alternatifs et cachés (skos:prefLabel; skos:altLabel; skos:hiddenLabel), les alignements (skos:exactMatch; skos:closeMatch), les regroupements de termes fondés sur des relations hiérarchiques (termes génériques/spécifiques: skos:broader skos:narrower) ou des classifications par facettes (SKOS 2009, § 9: Concept

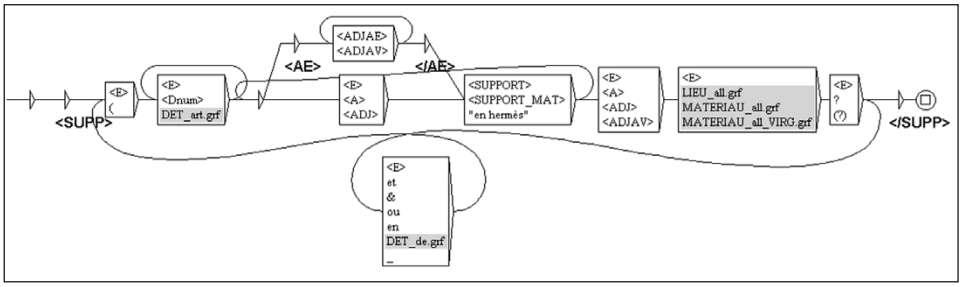


Fig. 6 – Graphe Unitex SUPPORT_all pour les types d'objets et de représentations.

```
ex voto,.SUPPORT
ex-voto,.SUPPORT
ex=voto,.SUPPORT
exaleiptron,.SUPPORT
exemplaire,.SUPPORT
exemplaires,.SUPPORT
exvoto,.SUPPORT
fibule,.SUPPORT
fibules,.SUPPORT
figuration,.SUPPORT
figurations,.SUPPORT
figure,.SUPPORT
figures,.SUPPORT
```

```
est,être.V+z1:P3s
est,.N+z1:ma
Est,.ADJ
dit,dire.V+z1:P3s
dire,.V
un,.DET
une,.DET
```

Fig. 7 – Extraits des deux dictionnaires DELA de MonumenTAL, SUPPORT et MTAL.

Collections). Ces regroupements permettent la création, via un notebook Python, de dictionnaires plus fins qui optimisent le fonctionnement des graphes. À partir des huit ensembles principaux, listés ci-dessous, sont générés vingt-six dictionnaires pour Unitex, qui prennent la forme de listes de termes (Fig. 7, gauche), de notions (pour une réflexion sur "concept" ou "notion" dans ce contexte: Roche 2008).

ADJECTIF, OEUVRE ont été créés pour le projet. Les dictionnaires suivants proviennent du thésaurus TheA du LIMC et ont été enrichis grâce à MonumenTAL:

– ARTISTE: noms d'artistes, d'ateliers,
– COLLECTION: noms de collections ou de collectionneurs, de commanditaires; noms d'édifices antiques. Ces derniers sont inclus dans ce groupe dans la mesure où ils peuvent rassembler des œuvres visuelles, comme une collection (*Frise du Parthénon*),

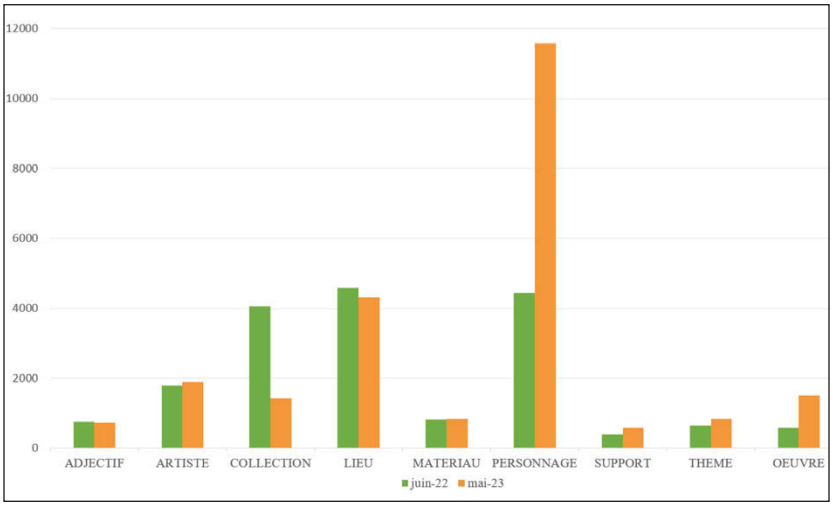


Fig. 8 – Quantifications des termes dans les dictionnaires MonumenTAL en 2022 (à gauche en vert) et 2023 (à droite en orange).

– LIEU: lieux de création, d'usage, de découverte ou de conservation de l'objet figuré,
– MATERIAU matériau(x) composant un objet figuré,
– PERSONNAGE: êtres animés représentés sur des images, répartis en noms de personnages mythologiques ou historiques (individus/groupes; noms propres/noms génériques), gentilés, fonctions (prêtre, servante...), états (enfant, vieillard…), animaux,
– SUPPORT: types d'objet ou supports de représentation figurée. Ce groupe est notamment subdivisé en type d'objet et en vocabulaire de représentation (image, copie, réplique…) car ce dernier prend le même rôle dans les graphes,
– THEME: objets inanimés (char, bouclier, pomme...), noms d'événement, d'activité (naissance, Amazonomachie, chasse...).

L'ensemble totalise 23030 termes en mai 2023, ce qui fait une augmentation de 27% par rapport à juin 2022 (Fig. 8). L'augmentation forte de PERSONNAGE s'explique par le regroupement et l'ajout de personnages historiques, d'animaux et de variantes (ce groupe devient celui des êtres animés) et la baisse de COLLECTION par son remaniement pour exploiter la dynamique offerte par le TAL: les composants des noms de collections sont séparés en quatre types (quatre sous-dictionnaires) puis réorganisés par le graphe COLL_all (collection). ADJECTIF, qui stagne, a été entièrement repensé et modifié pour produire désormais des sous-dictionnaires correspondant aux adjectifs spécialisés (par ex. "praxitélien" pour ce qui est

relatif à l'artiste Praxitèle), aux épiclèses, à des lots d'adjectifs balisés pour des analyses de l'évolution des formulations (en début des titres d'œuvres: adjectifs laudatifs, péjoratifs ou du type "pseudo", "soi-disant" ou "prétendu" qui expriment dans ce contexte un changement d'identification du sujet représenté: *pseudo-Germanicus*). LIEU pourrait être enrichi par le contenu de gazetteer comme le TGN Getty (https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/tgn/), Pleiades (https://pleiades.stoa.org/), GeoNames (https://www.geonames.org/) ou encore de Pactols_Lieux (https://pactols.frantiq.fr/opentheso/?idt=th17) mais ce serait au risque de l'introduction d'ambiguïtés, par exemple entre des noms de villes actuelles et des noms de personnifications de villes antiques, ce qui impliquerait un temps supplémentaire pour la vérification humaine sur laquelle sont fondés le maintien de la cohérence au sein de TheA et celui de ses alignements avec Wikidata.

Deux dictionnaires particuliers ont encore été ajoutés.

PERS_AUTEUR, qui est une liste d'auteurs antiques, sert à éviter de baliser des noms d'auteurs composés comme "Apollonios de Rhodes", qui peut correspondre à la fois à un auteur antique et à un PERSONNAGE + LIEU. Ceci n'empêche pas l'annotation du segment textuel plus long "buste d'Apollonios de Rhodes" qui est repéré grâce à "buste" (SUPPORT) et au paramétrage choisi dans Unitex pour privilégier l'annotation des formulations trouvées les plus longues.

Les dictionnaires d'Unitex utilisent le formalisme DELA; la séquence d'informations grammaticales, sémantiques et flexionnelles peut être modifiée au besoin pour optimiser l'annotation (Paumier *et al.* 2021, 41-46). C'est ce que fait le dictionnaire MTAL (Fig. 7, droite), qui limite les emplois de termes porteurs d'ambiguïtés par rapport au dictionnaire français par défaut, et donc le bruit comme celui généré par "est" qui est par défaut un nom (N), un adjectif (par exemple pour *Fronton est [oriental] du Parthénon*) et le verbe "être" à la troisième personne du singulier du présent.

7.2 *Le thésaurus OEUVRE*

L'un des objectifs de MonumenTAL est de constituer et proposer un thésaurus des titres d'œuvres figurées de l'Antiquité classique car les thésaurus du domaine rassemblent peu de titres – Pactols réunit une cinquantaine de titres d'objets figurés de diverses aires culturelles (https://pactols.frantiq.fr/opentheso/index.xhtml: voir œuvres artistiques nommées) – ou correspondent davantage aux créations visuelles de l'art européen de la Renaissance et des siècles suivants, comme CONA du Getty (Cultural Objects Names Authority) et IconClass (https://iconclass.org/). Ainsi, dans CONA, la requête "Venus" ramène trente-six réponses dont quatre seulement concernent des statues antiques: seule la *Vénus de Milo* y a un titre distinctif, quant à *Vénus de Médicis* (*Medici Venus*), il s'agit là d'une copie du XVIII^{e} s. (http://vocab.getty.

edu/page/cona/700008153); pour "Aphrodite" il y a deux statues antiques sur quinze réponses.

L'idée est de créer ce thésaurus à partir de la recherche par le TAL dans les publications anciennes et récentes – cette dernière fournissant les variantes de titres utiles pour l'interopérabilité et orientant vers la version qui pourrait servir de référence – puis de l'enrichir via les saisies d'études d'iconographie dans le corpus numérique d'objets antiques LIMC-icon (LIMC-France). Le thésaurus OEUVRE a été réalisé et compte déjà 1521 termes, variantes comprises, dont 762 termes de référence. Compatible avec SKOS, il est géré dans la nouvelle version de l'application LIMC-France.

Grâce à ce nouveau vocabulaire, une adaptation particulière du graphe des appellations a été ajoutée pour retrouver des titres d'œuvres figurées qui échappent à la typologie ou dont des composants sont trop rares pour entrer dans les dictionnaires, ou dérivés d'une autre langue, comme la *Fanciulla d'Anzio* (Jeune fille d'Anzio); de même les titres comme *le Diadumène* (celui qui se ceint d'un bandeau) qui désignent en un mot le personnage selon son action. Le graphe principal (1Appellation_all.grf) annote les termes d'OEUVRE (balise OE) qui n'ont pas été déjà traités par le graphe de la typologie des appellations (APP.grf).

8. Perspectives: l'exploitation des moyens du TAL pour des analyses ou des apprentissages

Les résultats de l'annotation automatique, corrigés manuellement pour constituer le "corpus de référence" français, ont commencé à être exploités pour des analyses des formulations ou/et contextuelles et pour expérimenter des apprentissages de type profonds (deep learning) dans la perspective de l'Intelligence artificielle.

Le "corpus de référence" français annoté (soixante-quinze publications; 883.740 tokens) totalise 15.414 annotations relevant de la typologie et d'OEUVRE (Tab. 1):

Types	AC	AS	AE	AX	TM	OE
Annotations	1176	7228	371	2700	3631	308

Tab. 1 – Nombre des annotations par type dans le corpus de référence en français.

Une expérimentation d'apprentissage profond a commencé fin 2023 via un Transformer (modèle Bert) avec le corpus de référence limité, grâce à un script Python, à ses annotations AC et AS mais le temps de calcul et l'accès à un serveur de calcul ralentit la progression des résultats malgré un début encourageant.

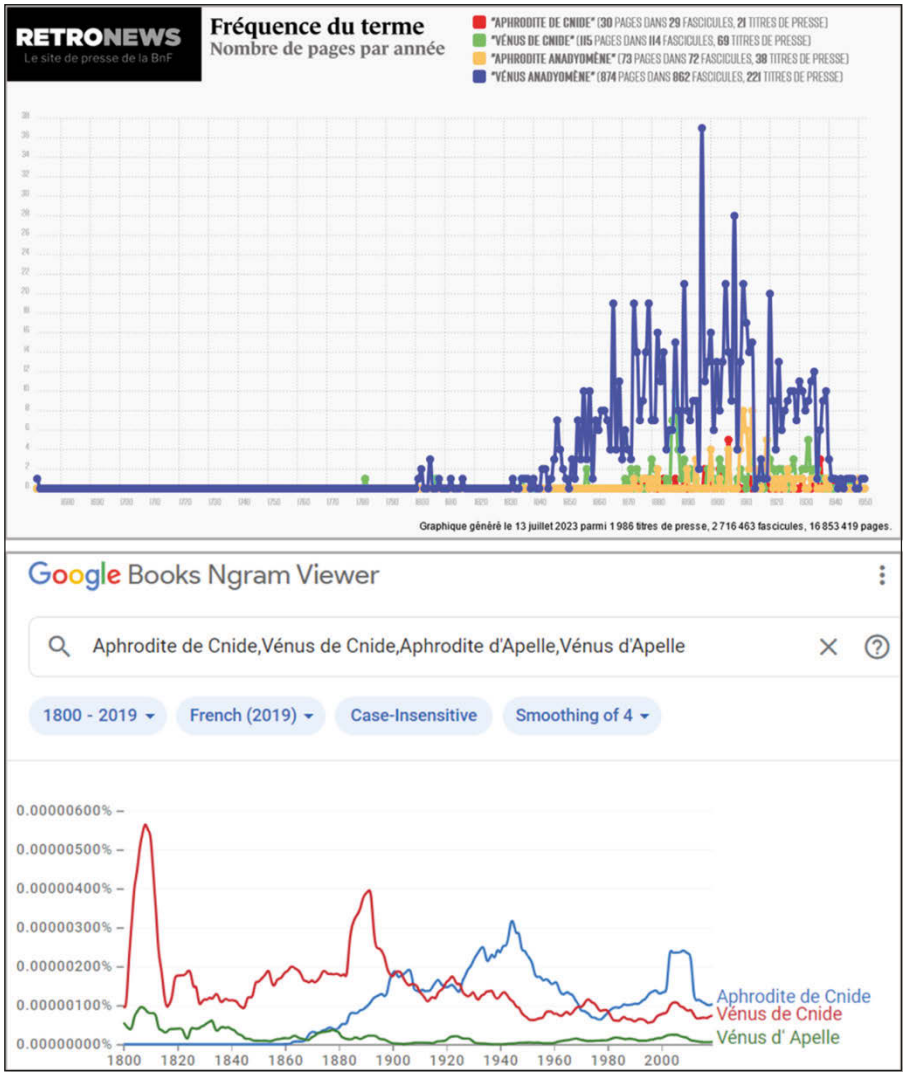
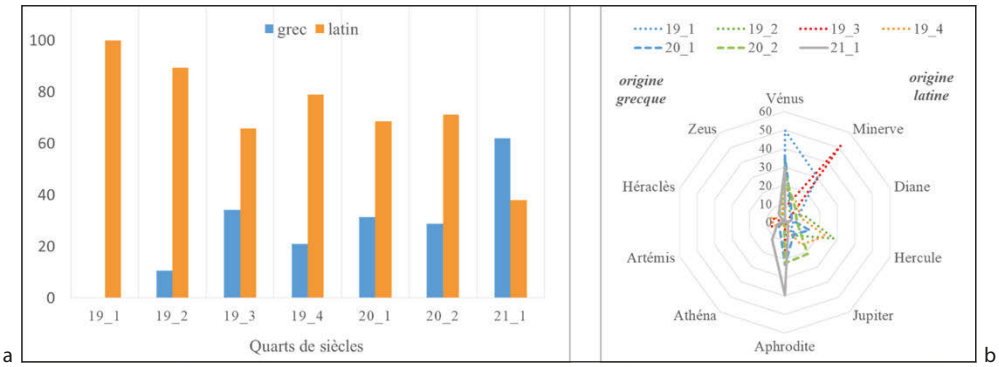


Fig. 9 – En haut: fréquence d'Aphrodite ou de Vénus d'Apelle ou de Praxitèle sur RetroNews (1680-1940). En bas: fréquence d'Aphrodite ou de Vénus d'Apelle ou de Praxitèle (de Cnide), sur Books NGram Viewer (1800-2019).

Précédemment, des analyses ont été menées à partir de toutes les appellations annotées extraites du corpus de référence. Parmi les problématiques explorées, voici l'une des plus simples: l'emploi de noms provenant du latin pour nommer les personnages représentés, même s'ils sont grecs.



a b

Fig. 10 – a) Fréquence des noms grecs (à gauche en bleu) et latins (à droite en orange) dans le corpus de référence MonumenTAL (1800-2023). b) Fréquence des noms différenciés, en grec (à gauche et en bas) et latin (à droite et en haut), dans le corpus de référence MonumenTAL (1800-2023).

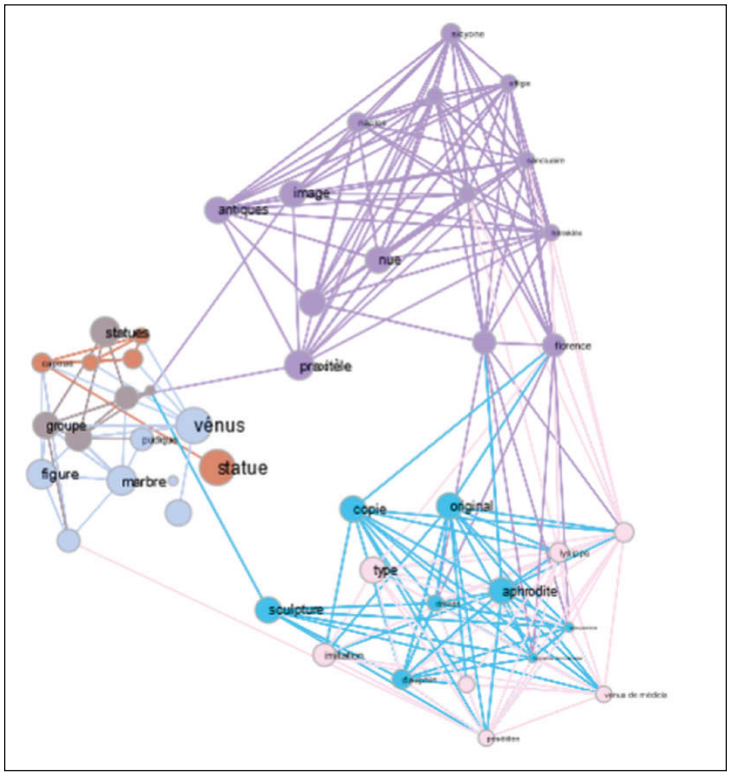


Fig. 11 – Datavisualisation GarganText générée par des données MonumenTAL sur Aphrodite/Vénus dans la sculpture.

L'hypothèse à confirmer est la prédominance de l'emploi de la version latine jusqu'au XIX^{e} s., que l'on constate sur une analyse de la fréquence des occurrences de représentations d'Aphrodite (ou Vénus) par Apelle ou Praxitèle dans la collection de presse française de la BnF (période allant de 1680 à 1940), mise en ligne sur RetroNews (https://www.retronews.fr/). Elle montre "Vénus de Praxitèle" (bleu foncé) nettement plus citée (Fig: 9, haut). La même analyse sur Books Ngram Viewer (1800-2019) montre une inversion dans la fréquence des noms grecs et latins à partir de la fin du XIX^{e} s. (Fig. 9, bas).

L'analyse de la fréquence des noms grecs ou latins, par quart de siècle (du XIX^{e} au XXI^{e} s., sauf les publications de la deuxième moitié du XX^{e} s., encore sous droits) appliquée directement aux contenus des appellations annotées extraites du corpus de référence MonumenTAL montre une évolution similaire mais plus tardive pour les noms Aphrodite/Vénus, Athéna/Minerve, Artémis/Diane, Héraklès/Héraclès/Hercule, Zeus/Jupiter, groupés sur la Fig. 10a, séparés sur la Fig. 10b.

Enfin, une expérience d'analyse fondée sur la fouille de texte a été commencée fin 2023 sur la plateforme institutionnelle GarganText (https://gargantext.org/), dont certaines fonctionnalités sont encore en cours de finalisation. GarganText reçoit les textes, les segmente, génère des dictionnaires de termes paramétrables en ligne ou en reçoit par téléchargement, puis affiche des résultats sous forme de datavisualisation. Quelques textes du corpus (TXT non annotés) traitant des représentations d'Aphrodite ou Vénus qui y ont été déposés pour une analyse, ainsi qu'une liste de termes, donnent un résultat qui montre des regroupements autour de notions liées à l'objet support d'image (à gauche: Vénus, statues, groupe, figure [équivalent à statue], marbre), ou au phénomène des copies de statues (en bas à droite: Aphrodite, sculpture, copie, imitation, original, type), ou encore à l'évocation de l'artiste (en haut: rapprochement de Praxitèle avec antiques, image, nue [comme son Aphrodite]) (Fig. 11).

9. Conclusion

Les objectifs du projet tels que la production de moyens de TAL pour le repérage et l'annotation automatiques des titres d'œuvres figurées antiques ont été atteints et ont permis d'élaborer le thésaurus OEUVRE. Son enrichissement par des titres d'images mythologiques sera assuré via celui du corpus d'iconographie de la mythologie LIMC-France pour garantir sa qualité. Il s'agit bien là des titres attribués à des œuvres précises. L'évolution du projet a permis de déplacer le curseur vers les appellations génériques traditionnelles forgées pour désigner des représentations, par exemple thématiques ou narratives. La production de données qui en résulte fait envisager

la création, dans LIMC-France, d'un vocabulaire – un référentiel – des types et des thèmes iconographiques, parallèle à OEUVRE, ce qui repose d'ailleurs le problème de leurs appellations communes et de leur différenciation, notamment pour l'interopérabilité des données et les alignements. Titre d'œuvre et type iconographique ne recouvrent pas la même notion. La marge de manœuvre offerte par les méthodes de TAL, qui a aussi permis d'inclure des désignations simples correspondant à des signalements d'artefacts figurés, même sans identité particulière ("statuette de musicienne"), ouvre la voie vers une utilisation pour de la veille informationnelle ou encore pour de l'annotation ou de l'indexation automatisée de corpus d'images, sur la base de la reconnaissance automatique de formes visuelles: l'indexation des documents visuels de LIMC-icon par TheA (LIMC-France), et donc par OEUVRE ou par les notions composant une appellation, peut contribuer à fournir un corpus visuel de référence et à exploiter des analyses des composants pour tenter de déterminer des sujets narratifs récurrents présentés sur des images. Il est aussi possible, comme en témoignent les publications du corpus de référence mêlant les artefacts produits dans des contextes différents, tels des catalogues de musée, d'exploiter la même typologie des appellations, le cas échéant en adaptant le vocabulaire, pour repérer des créations visuelles d'autres aires et périodes culturelles.

Anne-Violaine Szabados
CNRS, Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn – UMR7041)
Équipe ESPRI-LIMC, France
anne-violaine.szabados@cnrs.fr

BIBLIOGRAPHIE

de Biasi P.-M., Jakobi M., Le Men S. (eds.) 2012, *La Fabrique du titre. Nommer les œuvres d'art*, Paris, CNRS éditions.

Collin O., Guerraz A. 2015, *Classification d'entités nommées de type «film»*, in *Actes de la 22e conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles*, Caen, Association pour le Traitement Automatique des Langues, 364-370.

Cumont F. 1913, *Catalogue des sculptures et inscriptions antiques (monuments lapidaires) des Musées Royaux du Cinquantenaire*, Deuxième éd., Direction des Musées royaux d'art et d'histoire (https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k64650701).

Díez Platas M.L., Ros Muñoz S., González-Blanco E., Ruiz Fabo P., Álvarez Mellado E. 2021, *Medieval Spanish (12th-15th centuries) named entity recognition and attribute annotation system based on contextual information*, «Journal of the Association for Information Science and Technology», 72, 2, 224-238 (https://doi.org/10.1002/asi.24399).

Jaucourt L. 1765, *HERMATHENE,* in D. Diderot, J. Le Rond d'Alembert (eds.), *L'Encyclopédie* (https://fr.wikisource.org/wiki/L%E2%80%99Encyclop%C3%A9die/1re_%C3%A9dition/HERMATHENE).

Lessieux A., Eshkol-Taravella I., Szabados A.-V., Nazarian M. 2022, *Reconnaissance automatique des appellations d'œuvres visuelles antiques*, in Y. Estève, T. Jiménez, T.

Parcollet, M. Zanon Boito (eds.), *Traitement Automatique des Langues Naturelles*, Avignon, ATALA, 36-44 (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03701470).

Lessieux A., Szabados A.-V., Eshkol-Taravella I., Nazarian-Trochet M. 2023, *Ressources pour l'étude des appellations d'œuvres visuelles de l'Antiquité classique: corpus, dictionnaires et outil de reconnaissance automatique*, in *Terminologie & Ontologie: Théories et Applications. Actes de la conférence TOTh 2022 (Université Savoie Mont Blanc 2022)*, Terminologica Presses Universitaires Savoie Mont Blanc, 51-73 (https://hal.science/hal-04368609).

LIMC 1981-1997, *Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae (LIMC)*, Zürich, München, Düsseldorf, Artemis & Winkler Verlag.

LIMC-France, Corpus numérique LIMC-icon, site web LIMC-France et thésaurus TheA (http://www.limc-france.fr/).

Ministère de la Culture 2020, *Informatisation réglementaire des collections d'un musée de France*, 15 Décembre 2020 (https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/Musees/Pour-les-professionnels/Conserver-et-gerer-les-collections/Informatiser-les-collections-d-un-musee-de-France/Informatisation-reglementaire-des-collections-d-un-musee-de-France [consultation: 26.12.2023]).

Musées Nationaux, Louvre (Michon É.) 1922, *Catalogue sommaire des marbres antiques / Musée national du Louvre, Département des antiquités grecques et romaines*, Paris, Musée Nationaux (https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6237020f).

Nouvel D., Ehrmann M., Rosset S. 2016, *Named Entities for Computational Linguistics*, Wiley.

Paumier S., Guenthner F., Laporte É., Malchok F., Marschner C., Matineau C., Martinez C., Maurel D., Nagel S., Neme A. *et al.* 2021, *UNITEX 3.3. Manuel d'utilisation*, Université Paris-Est Marne-la-Vallée (https://hal.science/hal-03589598/file/Unitex-GramLab-3.3-usermanual-fr.pdf).

Paumier S., Nakamura T., Voyatzi S. 2009, *UNITEX, a Corpus Processing System with Multi-Lingual Linguistic Resources*, in *eLexicography in the 21st Century: New Challenges, New Applications (eLEX'09)*, France, 173-175 (https://hal.science/hal-00621564).

Prioux É. à paraître, *Les titres et désignations antiques des œuvres d'art célèbres*, in *Actes du colloque MonumenTAL (Nanterre 2023)*.

Reinach A. 1921, *Textes grecs et latins relatifs à l'histoire de la peinture ancienne: recueil Milliet. T. I, Paris, C. Klincksieck* (https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k11622612).

Roche C. 2008, *Faut-il revisiter les Principes terminologiques?*, in *TOTh 2008. Actes de la deuxième conférence TOTh (Annecy 2008)*, Annecy, 53-72.

Scheithauer H., Bénière S., Moreux J.-P., Romary L. 2023, *DataCatalogue: rétro-structuration automatique des catalogues de vente*, Webinaire Culture-Inria, Ministère de la Culture (https://hal.science/hal-04360229/document).

SKOS 2009, *SKOS Simple Knowledge Organization System Reference. W3C Recommendation 18 August 2009* (https://www.w3.org/TR/skos-reference/).

Szabados A.-V. 2015, *From the LIMC Vocabulary to LOD. Current and expected uses of the Multilingual Thesaurus TheA*, in S. Orlandi, R. Santucci, V. Casarosa, P.M. Liuzzo (eds.), *Information Technologies for Epigraphy and Cultural Heritage. Proceedings of the First EAGLE International Conference*, Collana Convegni 26, Roma, Sapienza Università Editrice, 51-67 (https://www.eagle-network.eu/wp-content/uploads/2015/01/Paris-Conference-Proceedings.pdf).

Tieck F. 1844, *Notice des sculptures antiques*, Berlin, Imprimerie de Moeser et Kühn (https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k64241091).

Widlöcher A., Mathet Y. 2012, *The Glozz platform: A corpus annotation and mining tool*, in *Proceedings of the ACM Symposium on Document Engineering (Paris 2012)*, Paris, 171-180 (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01023774).

ABSTRACT

The NLP tools for the automatic recognition and annotation of titles of figurative artworks from The Classical World, developed by the MonumenTAL project, have evolved through the digital modeling of linguistic patterns. These have helped to broaden the focus from the titles of specific artworks to the naming of generic iconographic types, and to add old and recent expressions specific to art historians and archaeologists. Thanks to this work based on a diachronic approach, a thesaurus of artwork titles (OEUVRE) gathering reference terms, variants and cacographies has been created and is now linked to the online LIMC-France database (corpus of Ancient artworks). The text corpus (Gold standard), from the 18th to the 21st century, and its annotations can now be exploited for statistical analysis or deep learning experimentation.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 215-232
doi 10.19282/ac.35.1.2024.15

CQARCHAEO: A PYTHON PACKAGE FOR COSINE QUANTOGRAM ANALYSIS AND MONTE CARLO SIMULATIONS

1. Introduction

In 1974, D.G. Kendall published a seminal article addressing the archaeological challenge of identifying the presence of a 'quantum' in a numerical sample when its size is not known in advance. Using the case study of megalithic sites and testing the hypothesis that many dimensions were expressed in terms of a 5.44 ft (1.66 m) quantum, Kendall designed a statistical technique – Cosine Quantogram Analysis (CQA) – to assess the potential presence of one or more basic units in a sample.

The CQA, often integrated with Monte Carlo simulation, has been extensively employed in archaeology for studying prehistoric weight systems (e.g. Petruso 1992; Pare 1999; Rahmstorf 2010; Pakkanen 2011; Hafford 2012; Ialongo *et al.* 2021) and weight-regulated money (Ialongo *et al.* 2018; Ialongo, Lago 2021; Montalvo-Puente *et al.* 2023), becoming the standard methodology for metrological studies. Before drawing any meaningful interpretation on CQA results, it is necessary to assess their significance in statistical terms. This evaluation is customarily conducted by running a Monte Carlo simulation, that is, by performing CQA on a certain number – conventionally not less than 100 – of randomized datasets (Kendall 1974).

The Monte Carlo simulation (see § 2.5), when performed without the assistance of programming languages, would require the manual repetition of mechanical operations. In addition to the evident inefficiency of the process – e.g., user-driven repetition may more easily lead to errors – the action may also involve a considerable time investment. Possible automation of the process could be achieved using macros integrated into spreadsheets. However, the optimal solution in terms of computational power and speed is only attainable through programming. Furthermore, since both Cosine Quantogram Analysis and Monte Carlo simulations are performed on the same sample and are integral parts of the same method, it is desirable to conduct the analyses within the same environment. While there are freely downloadable spreadsheets and an R package (https://github.com/maciejkasinski/quantatools/) for performing CQA (Ialongo 2019; Poigt 2022, 88), there is currently no equally straightforward way to perform the Monte Carlo simulation within the same analysis environment.

To fill this gap, we have developed a freely downloadable Python package (CQArchaeo) designed for researchers with some programming experience. We

have created a guided version of the script to run with Google Colab, suitable for researchers with minimal programming knowledge. More experienced programmers have access to the source code and can modify it according to their research needs (https://zenodo.org/records/10658914). This package enables the setting and execution of CQA and Monte Carlo simulations in a few seconds, allowing users to export results to a spreadsheet or print the 'Quantogram' along with the corresponding significance level. This package belongs to the category of so-called Little Minions, small collections of scripts that simplify specific tasks, often created by the research team itself (Thiery *et al.* 2021), but made available and downloadable via software sharing platforms such as GitHub (https://github.com/).

In this article, we outline the rationale of CQA and Monte Carlo simulations applied to archaeological data and the interpretation of the results. We illustrate the functionality of the Python package and offer detailed instructions for its proper use. We show various examples of application on archaeological data, and finally, we discuss the applicability and limitations of the analyses.

2. Methods: Kendall's formula and Monte Carlo simulation

2.1 *Cosine Quantogram Analysis*

CQA is used to determine whether the presence of one or more basic units can be hypothesized within a numeric sample. It is based on Kendall's formula (1974):

$$\phi(q) = \sqrt{2/N} \sum_{i=1}^{n} cos\,(\frac{2\pi\varepsilon_i}{q})$$

where N is the sample size, q is the targeted quantum, and ε is an error component. Each element i is divided for the tested quantum q, and ε is the remainder of this operation. The last part of the formula tests the error component ε for each single measurement in the sample of for each quantum in the analysis-range, is tested in a way that gives a score ranging between 1 (perfect fit, obtained when ε is =0 or very close to q), and -1 (no fit, obtained when ε is exactly in the middle between 0 and q) (Ialongo, Lago 2021, 5), and the individual scores of each error component are summed. Different quanta in an arbitrarily defined range are tested simultaneously, and the results are plotted in a graph that commonly goes by the name of 'Quantogram,' with the *y*-axis representing $\phi(q)$ (the test statistic), and the *x*-axis representing the quantum scale. Higher peaks of $\phi(q)$ indicate possible basic units in a numerical sample.

The CQA requires the preliminary setting of three parameters: 1) the range of values of the archaeological sample to analyze (henceforth 'analysis-range'), 2) the range of quanta to test ('quantum-range'), and 3) the interval between each tested quantum ('quantum-step'). All parameters are entirely arbitrary, but they partly depend on the actual extension of the sample to be analysed, and foremost on the initial guess of the approximate value of the relevant quantum one expects to find (i.e., the unit of measurement), as well as on the standard error of the measurement system one is trying to determine. In general, the choice of the analysis-range, quantum-range, and quantum-step depends on the hypothesis being tested through the analysis. Here we clarify how these settings work, by using past research on Bronze age weight systems in Western Eurasia as an example.

2.2 *Setting the analysis-range*

The analysis-range is an arbitrary sub-sample drawn from the complete sample of measurements. Extracting a sub-sample is a necessary step to exclude measurements that are either too much smaller or too much bigger than the expected best-fitting quantum. Simply 'feeding' the complete sample to the formula would determine the risk of producing false positives or false negatives. Before preparing the sub-sample, it is good practice to have an initial guess about the approximate value of the potentially relevant quantum one expects to identify. For example, when it comes Bronze age Western Eurasia, substantial research of the past 50 years or so has confidently established an overall interval for weight units ranging approximately between 8 g and 15 g (Ialongo *et al.* 2021). Once the initial guess q is defined, it is important that the analysis-range complies with two rules-of-thumb: 1) the minimum value of the analysis-range is only slightly smaller than the initial guess, and 2) the standard error of the maximum value of the analysis-range is not bigger than the initial quantum guess.

Setting the minimum value properly (i_{min}) is crucial as it significantly limits the chance of obtaining false negatives (Ialongo, Lago 2021). By testing measurements that are too much smaller than the guessed unit, in fact, one would inevitably obtain negative $\phi(q)$ scores. This is to say that, if we were to test a potentially relevant quantum of c. 10 g, we would inevitably obtain negative scores for every measurement in the analysis-range that is substantially smaller than 10 g. In a way, it would be like calculating the average height of the population of a country without excluding pre-adult individuals from the calculation. As a rule-of-thumb, i_{min} should be smaller than the initially-guessed quantum q but bigger than $q/2$.

The maximum value of the analysis-range (i_{max}) has a much smaller impact on the results of the analysis than i_{min} does. However, the reason why i_{max} should be set properly is that a potentially relevant small quantum (relatively

to the analysis-range) is likely not significant for measurements that are much bigger than the relevant quantum itself. The reason for this is that equal-arm balances (i.e., the only type of scales that existed in the Bronze age) always produce a measurement error that is relative to the mass of the object being weighed. This can lead to a situation in which a given quantum that is a good fit for small measurements can eventually become smaller than the standard error of bigger measurements, hence invalidating its significance for larger numbers. Let us consider an example accounting for the standard error of Bronze age weight systems, calculated based on textual, archaeological and experimental evidence as a Coefficient of Variation of c. 5% (Ialongo *et al.* 2021). A weight unit of 10 g ± 5% (i.e., 9.5 – 10.5 g) will be a very good fit for a measurement of 20 g ± 5% (19 – 21 g). However, it would be a much less accurate descriptor for a measurement of 200 g ± 5% (190 – 210 g), as it would be approximately equal to its error, which, in practical terms, means that we will never know if that measurement was intended to be 19, 20, or 21 times the unit.

A good rule-of-thumb for choosing the value of i_{max} is taking into account the standard error of the system we are attempting to analyse, and make sure that the error of i_{max} is at most roughly equal to the initial guess for the relevant quantum:

$$i_{max} \approx \frac{q}{k}$$

where q is the initial guess for the relevant quantum, and k is the known standard error of the system of measurement under analysis. For the known range of Bronze age weight units (c. 8 g – 15 g), an analysis-range of i_{min}=7 and i_{max}=200 provides consistent results throughout Western Eurasia.

2.3 *Setting the quantum-range*

The quantum-range defines the range of tested quanta that is eventually showed on the graph. As far as the aim of the analysis is simply to display potentially relevant peaks – without testing for statistical significance – there is no particular recommendation. In general, it would make sense to centre the quantum range around the value of the guessed relevant quantum, as this would provide greater visual clarity. In addition, the range should not be too stretched forwards or backwards, as – for the reasons discussed above – any potential peak that is too much bigger or too much smaller than the guessed quantum is at risk of being a false positive.

When the aim of the analysis is to obtain a test of statistical significance, however, it would be good practice to limit the quantum-range to a relatively small interval centred symmetrically around the peak that one wants to test. This is recommended, as the largest the interval, the likelier is for the Monte

Carlo simulation (see below) to obtain extreme values that may not be related to the value one wants to test. It follows that the final quantum-range for a Monte Carlo simulation should be set only after it is observed that the CQA actually produces an 'interesting peak' that is deemed worth testing. A good rule-of-thumb is to set the peak that one wants to test at the centre of the graph's x-axis, and set the quantum-range between c. 0.5 – 1.5 times the peak value. For example, if one wants to test a peak value of c. 10 g, the quantum-range should be set between c. 5-15 g.

2.4 *Setting the quantum-step*

Finally, the script also requires to define an incremental step for the range of quanta. This setting is entirely arbitrary, while keeping in mind that the smaller the step, the more detailed the analysis will be, but the more quanta are tested, the heavier will be the computational load and hence, the longer the time for the script to be executed. It is important to choose a step that is short enough to test a sufficient number of possible basic units, while not being excessively detailed, considering the characteristics of the values in the sample (integers, numbers with decimals, etc.).

2.5 *Monte Carlo simulation*

The Monte Carlo simulation involves generating a conventional number of datasets by randomizing the values of the original sample, and testing each of them individually through CQA. The script records the highest $\phi(q)$ value obtained in each iteration of the analysis and, at the end of the simulation, it counts how many simulations yielded a $\phi(q)$ value greater than that recorded for the original sample. The null-hypothesis is that the observed CQA results are simply generated by chance. i.e., they are not significant. The goal of the Monte Carlo simulation is to assess the likelihood that a slightly different dataset can give equal or better results than the real sample. The rationale is that, if a random dataset can give higher values of $\phi(q)$, than one cannot exclude that the peaks observed in the archaeological sample are simply due to chance. The script uses the two conventional significance (α) thresholds of 1% and 5%, and displays them as horizontal lines directly on the graph, which allows one to visually assess the results: if the peak given by the CQA is higher than the 1% and 5% thresholds, it means that there is a probability of, respectively, less than 1% and 5% that the observed peak is due to chance. Therefore, the null-hypothesis is rejected if the archaeological sample exceeds the established α level.

3. Methods: from the Kendall's formula to programming

We have developed a Python script that takes as input a spreadsheet (CSV or XLSX) containing the data to be analysed. The input dataset should

be a spreadsheet with a single column and a header row. It can include either integer numbers or float numbers with decimals preceded by a point (i.e., not a comma). The user needs to determine the data range to include in the analysis by setting the parameters of min_value (i_{min}) and max_value (i_{max}); the range of quanta to test by setting the parameters of min_quantum, max_quantum, and the step; whether to perform the Monte Carlo simulation (Montecarlo_sim = True) or not perform it (Montecarlo_sim = False). The Monte Carlo simulation has user-adjustable parameters, including the percentage to use for data randomization (mc_randomization), set by default to 15% (0.15), and the number of simulated datasets to create (mc_iterations).

After the parameters are set, the sample size *N* of the dataset is calculated based on the desired range. This allows for the computation of a coefficient used in the analysis, expressed in the first part of the Kendall formula. To solve the second part of the formula:

$$\sum_{i=1}^{n} \cos\left(\frac{2\pi\varepsilon_i}{q}\right)$$

a pandas DataFrame is populated with all the results obtained by testing each element for every quantum. The results obtained for each quantum are summed and populate the column of a DataFrame named 'Phi_q_values'. On the row with the same index, in the 'Quanta' column, there is the corresponding quantum for each sum.

In the final graph, there will be a plot of the $\phi(q)$ values for each quantum and a vertical line corresponding to the best quantum. The user can set the α level at 1% or 5% and plot it on the output graph as a horizontal line corresponding to the threshold value of $\phi(q)$.

4. CQArchaeo: instruction for use

The package is implemented using the Python programming language (https://www.python.org/) and is supported by a number of dependencies, including NumPy (https://numpy.org/) for scientific computing and data management, Pandas (https://pandas.pydata.org/) for tabular data management, and Matplotlib (https://matplotlib.org/stable/) and Seaborn (https://seaborn.pydata.org/) for plotting and visualisation. Although the package does not have a graphical interface, a number of precautions have been taken to make it as user-friendly as possible. Installation of the package is facilitated by the presence of the library in the PyPI online repository (https://pypi.org/). To install the package, simply use the following command in a terminal.

```
pip install cqarchaeo
```

the command will install the package and its dependencies. For convenience, we recommend using the Anaconda distribution (https://www.anaconda.com/) and creating a specific environment. To use the functions and perform the analysis, we recommend the use of Jupyter notebooks (https://jupyter.org/). These files allow Python code to be placed in cells that can be executed individually, providing a simpler, more intuitive interface that can be easily shared and can contain text, images, links and so on, in addition to code. Each code snippet provided from here on represents a single cell in the Jupyter notebook. For ease of use, a pre-compiled Jupyter notebook is available on the project home page, which can be easily modified to suit the user's needs thanks to its pre-defined structure. Returning to the code and structure of the package, functions need to be imported and used:

```
from cqarchaeo import CQAnalysis, compare_quantograms
```

Once the functions have been imported, we can create an instance of the CQAnalysis class named cqa with user-defined parameters.

```
cqa = CQAnalysis(data = 'measures.xlsx', min_value = 7,
max_value = 200, min_quantum = 4, max_quantum = 24, step
= 0.02, Montecarlo_sim = True, mc_parameter = 0.15, mc_it-
erations = 100)
```

Inside the parentheses are all the arguments that can be customised by the user: the date parameter indicates the path to the XLSX or CSV file containing the measurements (see § 3), while the other elements represent parameters specific to the analysis, such as the measurement range to be taken into account (min_value and max_value) and the limits of the quanta to be tested (min_quantum and max_quantum), together with the step defining the progressive number of quanta to be tested (step). These parameters have default values defined when the package was created but can be defined at will and in relation to the data to be analysed. The next parameters relate to the Monte Carlo simulation: it is possible to decide whether it should be carried out (Montecarlo_sim = True) and to set a number of parameters, including the number of iterations (mc_iterations = 100). The cqa variable created is an instance, which in a sense contains all the data and other functions that can be realised from that data. For example, it is possible to save the table of quanta and the corresponding ϕ value using the CQAnalysis.save_quanta() method, which allows the table of values to be saved in XLSX or CSV format.

In the case of our example:

```
cqa.save_quanta()
```

It is also possible to plot the quantomgram via the CQAnalysis.plot_quantogram() method:

```
cqa.plot_quantogram(figsize=(10,6), plot_best_quantum=True,
save=False, dpi=300, plot_alpha_5=True, plot_alpha_1=False)
```

This method has a number of customizable parameters, including the possibility to specify the plot width and height (in inches), save the image in PNG format, and display the confidence intervals of the Monte Carlo simulation (plot_alpha_1, plot_alpha_5). Finally, a function was developed to compare different quantograms. This is particularly interesting as it allows a number of distributions to be plotted on a single graph to compare them and check for any overlapping peaks. This function is useful when comparing 2 or more quantograms, which can be done as follows:

```
cqa1 = CQAnalysis(data = 'data1.xlsx', args, kwargs)
cqa2 = CQAnalysis(data = 'data2.xlsx', args, kwargs)
```

where data1.xlsx and data2.xlsx are the data to be analysed and args, kwargs are the customizable parameters. It should be emphasized that to get the best results from this type of analysis, the parameters must be the same for both instances. We can now use the function:

```
compare_quantograms(quantogram_list = [cqa1, cqa_2],
figsize=(10, 6), color_list=["black", "green"], al-
pha_list=[0.2, 1],label_list=None, plot_montecarlo_
bound=[True, True])
```

Note that most parameters take as input a list (in this case [cqa1, cqa2]) containing the two CQAnalysis instances. The different parameters (colour_list, alpha_list, plot_montecarlo_bound) must be lists of the same length as quantogram_list, where the first element corresponds to the first element of quantogram_list, the second element to the second element of quantogram_list, and so on. The function allows to save the image in PNG format with the save parameter. The full documentation and examples can be found on the project page (https://github.com/lrncrd/CQArchaeo), along with a link for the example notebook to Google Colab (https://colab.research.google.com), a platform for running Python code online, which can be used to test the package or perform analysis without having to download any additional programs to your own computer.

5. CQA in archaeological research

In this section, we present some archaeological case studies, highlighting situations where the CQA yields positive results; negative results; false negative



Fig. 1 – Fragmented, semi-finished and complete bronze objects from Late Bronze age battlefield of Tollense Valley (photo V. Minkus; courtesy of T. Terberger) (from Uhlig *et al.* 2019).

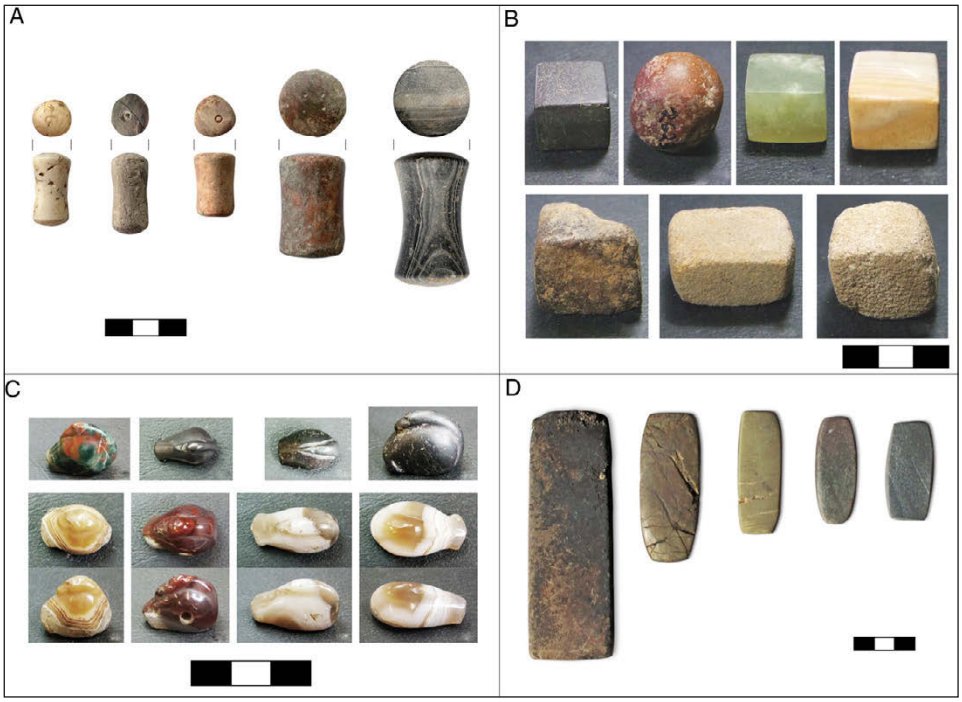


Fig. 2 – Examples of Western Eurasian balance weights of the Bronze age: A) spool-shaped weights from Tiryns, Greece (photo L. Rahmstorf); B) cubic weights from Dholavira, India (photo E. Ascalone); C) duck-shaped weights from Susa, Iran (photo E. Ascalone); D) parallelepiped weights from Lipari, Italy (photo N. Ialongo) (from Ialongo *et al.* 2021).

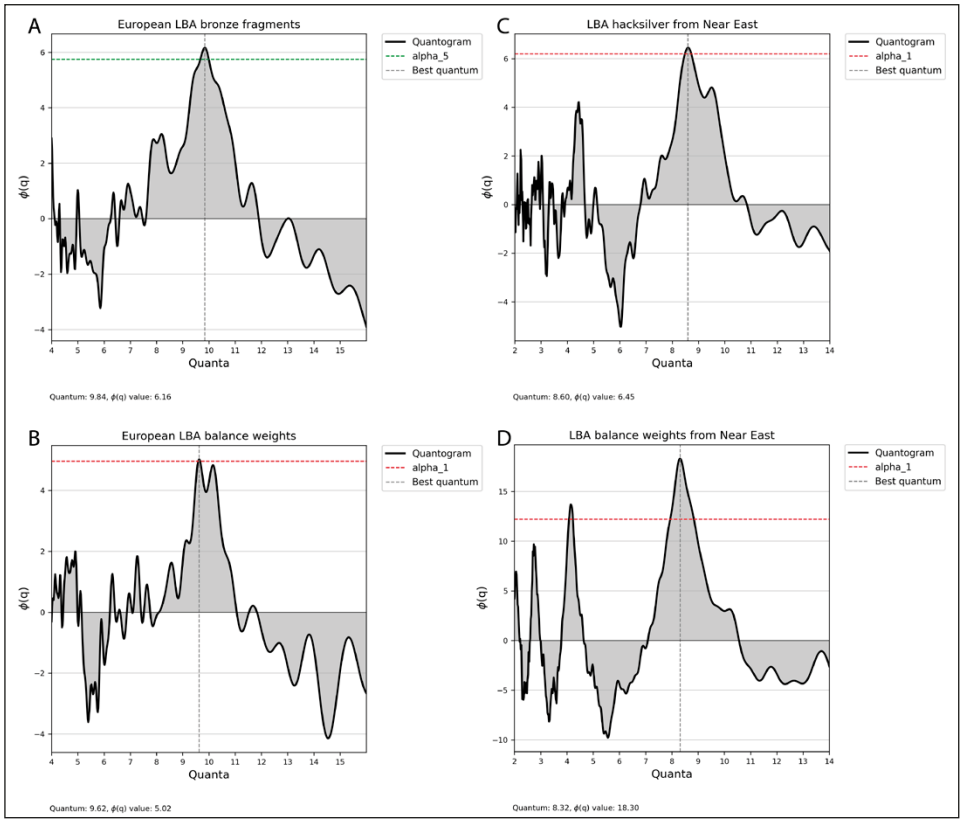


Fig. 3 – CQA and Monte Carlo simulations of weight (in grams): A) European Late Bronze age bronze fragments; B) European Bronze age balance weights; C) Late Bronze age hacksilver from Near East; D) Late Bronze age balance weights from Near East. Range (7-200 gr). Range of quanta (A-B: 4-16; C-D: 2-14). Step: 0.02.

results; false positive results. We use databases containing archaeological data that have already been published and are freely downloadable from the supplementary materials of the referenced articles.

5.1 *Positive results*

The most significant results of CQA in archaeology have been achieved in the study of weight systems and weight-regulated money. For example, the Eurasian Bronze age balance weights follow fairly clear sequences of multiples, consistent with various basic units in different regions (the complete data for the Indus valley, Mesopotamia, Aegean-Anatolia, and Europe were recently collected by Ialongo *et al.* 2021) (Fig. 2). In some of these regions,

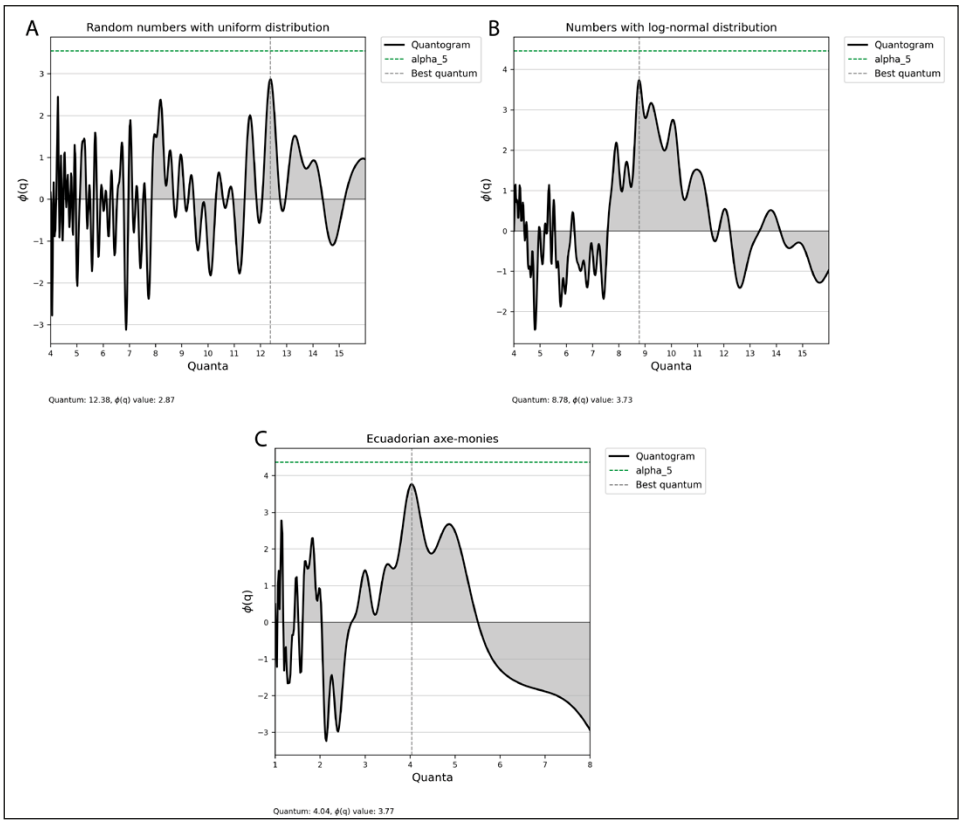


Fig. 4 – CQA and Monte Carlo simulations of weight (in grams): A) random numbers with uniform distribution; B) numbers with log-normal distribution; C) Ecuadorian axe-monies. Range (A-B: 7-200; C: 3-30). Range of quanta (A-B: 4-16; C: 1-8). Step: 0.02.

forms of money based on the weight-based fragmentation of metal have been recognized, following exactly the same system of multiples of balance weights (Europe: Ialongo, Lago 2021; Mesopotamia: Ialongo *et al.* 2018) (Fig. 1). The CQA confirms the existence of a possible basic unit, which is further validated by the Monte Carlo Simulation (1,000 iterations, α=0.01; α=0.05) (Fig. 3).

5.2 *Negative results*

For its purposes, the CQA works well for quantal distributions but yields negative results for other types of distributions. The null hypothesis for each CQA analysis is that the sample is randomly generated, and therefore

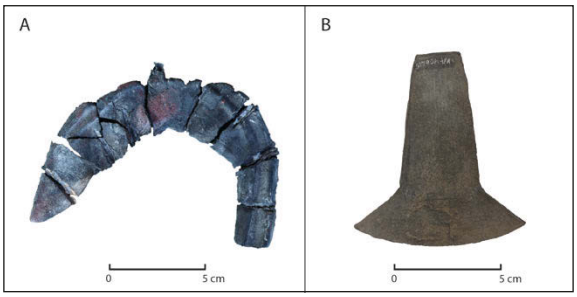


Fig. 5 – A) Replica of a bronze sickle broken during an experiment of weight-regulated fragmentation (from Lago *et al.* 2023); B) specimen of Ecuadorian 'axe-money' in arsenical copper alloy (AD 600-1532) from the Pre-Columbian Art Museum House, Quito (from Montalvo-Puente *et al.* 2023).

the observed peak is due to chance. In Python, we create two DataFrames: one containing 1,000 numbers generated randomly to follow a uniform distribution using the function provided within the numpy library's 'random' module, and the other containing numbers generated to follow a log-normal distribution using the 'lognormal' function within the same module. The results clearly show that the best quanta are, in fact, peaks of random values, well below the α level calculated with the Monte Carlo simulation (Fig. 4).

In the case of archaeological data, especially for pre-literate societies, we often do not know the processes that led to the formation of the data. However, we can hypothesize and test our assumptions. In the field of pre-contact archaeology on the South American Pacific coast, it has long been theorized those objects shaped like arsenical copper axes actually served as currency (Fig. 5, B). These objects, known as 'axe-monies', were presumably produced by carefully calculating their dimensions to result in multiples of 5 grams (Holm 1966-1967, 138).

Recently, a sample of over 700 axes was measured and weighed to test the hypothesis of a quantal distribution of weight or dimensions. The results of CQA and Monte Carlo simulation (1,000 iterations, α=0.05) have demonstrated that this hypothesis is not tenable, and the best quantum – which is around 4 grams and not 5 grams as previously assumed – is well below the established α level. It is not possible, therefore, to exclude that the observed peak is simply due to chance (Montalvo-Puente *et al.* 2023) (Fig. 4, C).

5.3 *False negative results*

The methodology is based on the idea that the Monte Carlo simulation helps establish the probability that the analysis result is random. However,

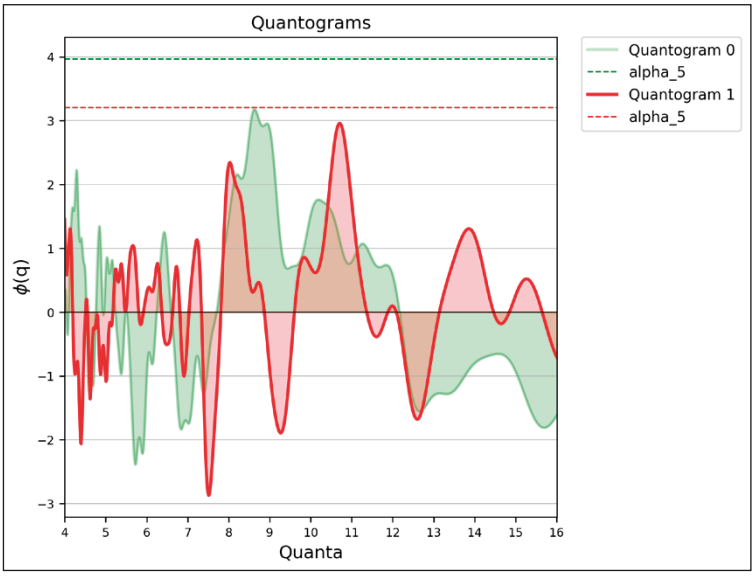


Fig. 6 – CQA and Monte Carlo simulations of weight (in grams): Quantogram 0. Bronze fragments from experimental weight-regulated fragmentation; Quantogram 1. Subsampling of archaeological fragmented sickles from European Bronze age hoards (n=117). Range (7-200). Range of quanta (4-16). Step: 0.02.

there are some circumstances that can lead to a result that is not significant enough (low $\phi(q)$) even in the presence of a dataset with a quantal distribution. A determining factor is, for example, the amount of data, especially in the presence of datasets characterized by statistical noise. A fundamental prerequisite for obtaining reliable results should be to have a large amount of data to analyze. Determining the minimum amount of data required is a problem that is challenging to solve through statistics, as it depends on the characteristics of the sample. For instance, bronze fragments of the European Bronze age are significant beyond the 0.05 α level threshold when analysing the entire published sample (n=1,397) (Ialongo, Lago 2021). By randomly subsampling the same dataset with a decreasing number of measurements and subjecting it to CQA and Monte Carlo simulation, it can be observed that the significance of the results diminishes each time. With smaller sample sizes, the best quantum is far from the α level. In this scenario, the limited amount of data may yield a false negative (Fig. 8).

Another example of how sample size influences analyses is provided by an archaeological experiment on weight-regulated fragmentation of some copper alloy sickles (Lago *et al.* 2023) (Fig. 5, A). From the breakage of 20 sickles replica, 138 fragments were obtained, of which 117 fell within the

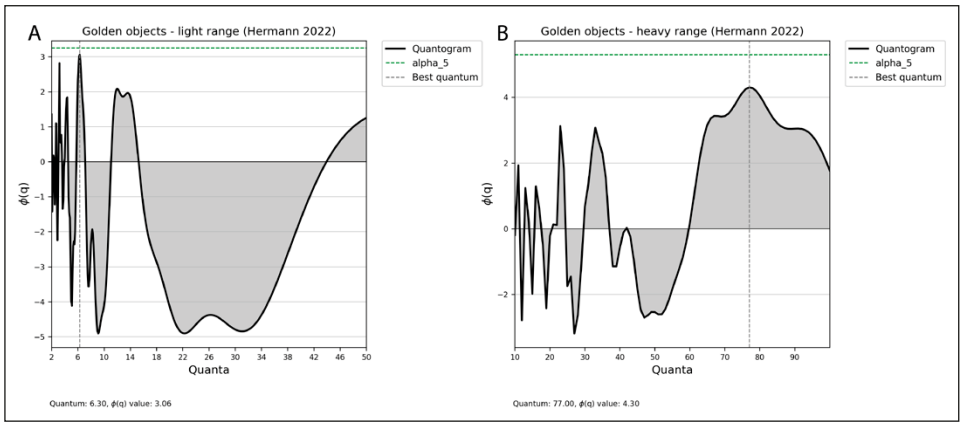


Fig. 7 – CQA and Monte Carlo simulations of weight (in grams): A) British gold objects from the Bronze age – light range; B) British gold objects from the Bronze age – Heavy range. Range (A: 1-60; B: 60-410). Range of quanta (A: 2-50; B: 10-100). Step (A: 0.1; B: 1).

value range of 7 to 200 grams. The goal of the experiment was to obtain fragments whose weight was consistent with certain multiples of 10 grams, attempting to simulate the fragmentation phenomenon observed in the European Late Bronze age (Ialongo, Lago 2021). Although concentrations of data corresponding to multiple of 10 grams were observable by the anlyses, the CQA returned a peak at approximately 8.63 grams, whose $\phi(q)$ is well below the significance threshold set at α=0.05.

We compared the results of CQA and Monte Carlo simulations derived from the experimental fragmentation with a sub-sampling of the same size (n=117) of a dataset with 1,533 fragmented bronze sickles from archaeological contexts (Lago *et al.* 2023) (Fig. 6). The comparison was performed using the compare_quantograms function integrated into our package (see § 4). It results that with the same amount of data, even the dataset of archaeological fragmented sickles – which, when analyzed in its entirety, exhibits a quantal configuration having 9.9 as best quantum and surpassing the significance threshold set at α=0.05 – does not appear to be quantally distributed. The higher peaks, corresponding to 8- and 11-grams ca., are similar but not the same as the established basic unit around 10 grams. Therefore, we can assert that an insufficient amount of data can yield incorrect results as well as false negatives.

5.4 *False positive results*

However, subsampling can also lead to false positive results. A few years ago, a sample of about 150 gold objects from the Bronze age in the British Isles and France had led to the hypothesis that these objects were used as

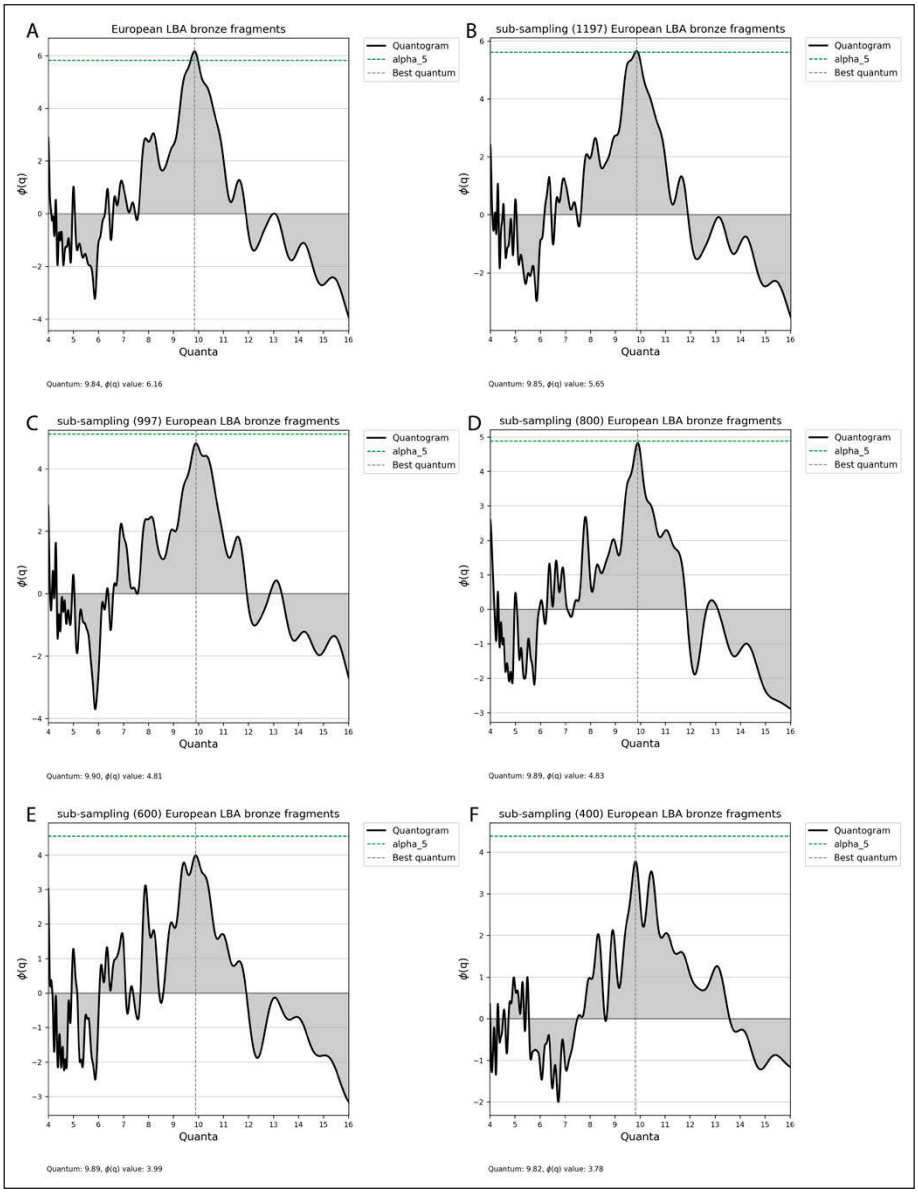


Fig. 8 – CQA and Monte Carlo simulations of weight (in grams): A) European Late Bronze age bronze fragments; B) sub-sampling (n=1,197) of European Late Bronze age bronze fragments; C) sub-sampling (n=997) of European Late Bronze age bronze fragments; D) sub-sampling (n=800) of European Late Bronze age bronze fragments; E) sub-sampling (n=600) of European Late Bronze age bronze fragments; F) sub-sampling (n=400) of European Late Bronze age bronze fragments. Range (7-200). Range of quanta (4-16). Step: 0.02.

'hackgold' weighing in exchange economies (Rahmstorf 2019). By subjecting the weight of some of these objects (bar torcs, penannular bracelets, and dress fasteners) to CQA, some peaks in value were identified that exceeded the 5% α level set. More recently, the sample of gold objects weighed from the British Isles has greatly increased (n=863), and new analyses have been conducted. By increasing the sample size, the results of the CQA do not allow to exclude that the observed peaks are due to chance (Hermann 2022) (Fig. 7).

6. Discussion and final remarks

The CQA is the standard procedure to verify the existence of quantal patterns that may be hidden behind archaeological datasets, while the Monte Carlo simulation is a highly effective tool for assessing the significance of the results. Even though the rationale of the analysis has been explained in dozens of archaeological articles, yet its applicability remains somewhat underestimated. In fact, although the CQA is suitable for the analysis of any measurable phenomenon (e.g. area, volume, distance, etc.) in the archaeological field, it has had widespread application only in metrological studies on weight. In this particular context, it has provided the best possible tool for validating/refuting various long-standing hypotheses (e.g. Petruso 1992; Pare 1999; Ialongo *et al.* 2021; Ialongo, Lago 2021; Hermann 2022; Montalvo *et al.* 2023). The analysis needs to be based on solid assumptions: precise measurements and large datasets; just as important are the criteria adopted in selecting the range to analyze and the quanta to test. If these premises are respected, the CQArchaeo package provides a precious free-to-use support for researchers who do not use programming languages.

Giancarlo Lago
Dipartimento di Beni Culturali
Università del Salento
Dipartimento di Scienze Economiche (DSE)
Università di Bologna
giancarlo.lago@unibo.it

Lorenzo Cardarelli
Dipartimento di Scienze dell'Antichità
Sapienza Università di Roma
Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
lorenzo.cardarelli@uniroma1.it

Nicola Ialongo
Seminar für Ur- und Frühgeschichte
Georg-August-Universität Göttingen
nicola.ialongo@uni-goettingen.de

REFERENCES

Hafford W.B. 2012, *Weighting in Mesopotamia. The balance pan weights from Ur*, «Akkadica», 133, 21-65.

Hermann R. 2022, *Weight regulation in British and Irish Bronze age gold objects: A reanalysis and reinterpretation*, «Antiquity», 96, 336-353 (https://doi.org/10.15184/aqy.2021.54).

Holm O. 1966-1967, *Money axes from Ecuador*, «Folk», 8-9, 136-143.

Ialongo N. 2019, *The earliest balance weights in the West: Towards an independent metrology for Bronze age Europe*, «Cambridge Archaeological Journal», 29, 1, 103-124 (https://doi.org/10.1017/S0959774318000392).

Ialongo N., Hermann R., Rahmstorf L. 2021, *Bronze age weight systems as a measure of market integration in Western Eurasia*, «Proceedings of the National Academy of Sciences», 118, 27, e2105873118 (https://doi.org/10.1073/pnas.2105873118).

Ialongo N., Lago G. 2021, *A small change revolution. Weight systems and the emergence of the first Pan-European money*, «Journal of Archaeological Science», 129, 105379 (https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105379).

Ialongo N., Vacca A., Peyronel L. 2018, *Breaking down the bullion. The compliance of bullion-currencies with official weight-systems in a case-study from the ancient Near East*, «Journal of Archaeological Science», 91, 20-32 (https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.01.002).

Kendall D.G. 1974, *Hunting quanta*, «Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Mathematical and Physical Sciences», 276, 231-266 (https://doi.org/10.1098/rsta.1974.0020).

Lago G., Cianfoni M., Scacchetti F., Pellegrini L., La Torre A. 2023, *Breaking sickles for shaping money. Testing the accuracy of weight-based fragmentation*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 49, 103968 (https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.103968).

Montalvo-Puente C.E., Lago G., Cardarelli L., Pérez-Molina J.C. 2023, *Money or ingots? Metrological research on pre-contact Ecuadorian "axe-monies"*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 49, 103976 (https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.103976).

Pakkanen J. 2011, *Aegean Bronze age weights, chaînes opératoires and the detecting of patterns through statistical analyses*, in A. Brysbaert (ed.), *Tracing Prehistoric Social Networks through Technology: Adiachronic Perspective on the Aegean*, London, Routledge, 143-66.

Pare C.F.E. 1999, *Weights and weighing in Bronze age Central Europe*, in *Eliten in der Bronzezeit: Ergebnisse zweier Kolloquien in Mainz und Athen*, Mainz-Bonn, Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, 43, 421-514.

Petruso K.M. 1992, *Ayia Irini. The Balance Weights: An Analysis of Weight Measurement in Prehistoric Crete and the Cycladic Islands*, Keos 8, Mainz, Philipp von Zabern.

Poigt T. 2022, *De poids et de mesure. Les instruments de pesée en Europe occidentale durant les âges des Métaux (XIV^{e}-III^{e} s. a.C.). Conception, usages et utilisateurs*, Bordeaux, Ausonius éditions Université Bordeaux Montaigne (https://doi.org/10.46608/dana8.9782356134165).

Rahmstorf L. 2010, *The concept of weighing during the Bronze age in the Aegean, the Near East and Europe*, in I. Morley, C. Renfrew (eds.), *The Archaeology of Measurement. Comprehending Heaven, Earth, Time in Ancient Societies*, Cambridge, Cambridge University Press, 88-105 (https://doi.org/10.1017/CBO9780511760822.012).

Rahmstorf L. 2019, *Scales, weights and weight-regulated artefacts in Middle and Late Bronze age Britain*, «Antiquity», 93, 1197-1210 (https://doi.org/10.15184/aqy.2018.257).

Thiery F., Visser R., Mennenga M. 2021, *Little minions in archaeology. An open space for RSE software and small scripts in digital archaeology*, Conference paper, «International Series of Online Research Software Events (SORSE)» (https://sorse.github.io/downloads/event-043.pdf).

Uhlig T., Krueger J., Lidke G., Jantzen D., Lorenz S., Ialongo N., Terberger T. 2019, *Lost in combat? A scrap metal find from the Bronze age battlefield site at Tollense*, «Antiquity», 93, 1211-1230 (https://doi.org/10.15184/aqy.2019.137).

ABSTRACT

Cosine Quantogram Analysis (CQA) is a statistical analysis employed in archaeology for the study of numerical datasets with hypothesized quantal distribution. To verify thesignificance of the results, the analysis is often combined with the execution of Monte Carlo simulations. In this article, we present a freely downloadable Python package (CQArchaeo) that integrates CQA and Monte Carlo simulations in the same environment, making the analysis customizable in the main parameters. We provide a guide that enables the use of this tool even for researchers with limited experience in Python programming and demonstrate the applicability, functioning, and main limitations of the analysis on some archaeological datasets.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 233-250
doi 10.19282/ac.35.1.2024.16

UN DATABASE CONDIVISO AD ACCESSO LIBERO PER LO STUDIO ARCHEOLOGICO DEI CIMITERI MEDIEVALI IN ITALIA SETTENTRIONALE

1. Introduzione

Dal IV secolo i defunti potevano essere sepolti fuori dalle mura cittadine nei cimiteri romani già esistenti o potevano essere utilizzate nuove aree cristiane, che erano state create già durante il III secolo dalle aristocrazie urbane e dai vescovi (Fiocchi Nicolai 2006, 2016; Chavarría Arnau 2023). Cominciano a documentarsi piccole aree cimiteriali anche all'interno dei limiti della città, secondo una tendenza destinata ad incrementarsi durante l'Alto Medioevo (Lambert 1997, 2003). Molti defunti venivano sepolti anche dentro e fuori le chiese, ma troviamo anche tombe sparse situate in edifici abbandonati o vicino ad aree dedicate ad attività produttive, nei pressi dei limiti delle proprietà o nelle vicinanze degli insediamenti. Anche le tipologie di sepoltura sono estremamente varie, andando da semplici tombe a fossa, a costruzioni in mattoni e/o pietra fino ai grandi mausolei con o senza corredo funebre (Härke 2014 per una sintesi). Questa diversità è dovuta a una molteplicità di fattori, tra cui la mancanza di regolamenti specifici relativi alle pratiche funerarie nella legislazione che avrebbe favorito un ruolo significativo delle scelte famigliari nella determinazione di dove e come seppellire i defunti, la convivenza di religioni o la frammentazione politica che l'Impero Romano ha sperimentato dopo la sua caduta (nell'Occidente) a partire della fine del V secolo (Chavarría Arnau, Marinato 2015; Chavarría Arnau 2018a, 2019).

Per studiare in modo più approfondito questa varietà di pratiche funerarie e la loro motivazione è necessaria, come sottolineato in altre regioni europee (cfr. paragrafo successivo), un'analisi ampia e accurata delle molteplici caratteristiche che interessano i siti cimiteriali, tra cui la loro topografia, l'orientamento, la struttura e le caratteristiche costruttive delle sepolture, la disposizione del defunto e gli oggetti di corredo, molti dei quali sono andati perduti, lasciando soltanto gli spazi vuoti dove originariamente erano stati deposti (Harrington *et al*. 2020)

In Italia la registrazione dei cimiteri nella bibliografia è ancora inadeguata e i dati e il vocabolario utilizzati nella loro descrizione sono spesso troppo eterogenei per permettere un confronto tra i diversi siti (Chavarría Arnau 2018b). Dall'inizio di questo secolo, i cimiteri e il materiale antropologico in essi rinvenuto sono diventati una fonte importante di informazioni per studiare la popolazione antica, in particolare gli aspetti demografici (attraverso studi antropologici e DNA), le caratteristiche fisiche e occupazionali (analisi

antropologiche e paleopatologiche), la salute (paleopatologia e DNA), la dieta (isotopi stabili) e le origini geografiche e genetiche (attraverso isotopi e DNA), nonché per conoscere la dinamica dello sfruttamento economico del territorio circostante (principalmente attraverso isotopi) (Buikstra, Ubelaker 1994; Ortner 2003; Waldron 2009; Richards, Britton 2020). Analisi comprendenti queste ultime tecniche svolte su diversi singoli cimiteri (per l'Italia: Marinato 2017b; Gismondi *et al.* 2020; Laffranchi *et al.* 2020; Fiorin *et al.* 2021), ma anche effettuando un confronto tra vari siti (per l'Italia: Marinato 2017a; Amorim *et al.* 2018; Rolandsen *et al.* 2019; Maxwell 2019; Paladin *et al.* 2020; Riccomi *et al.* 2020) e aree regionali (per l'Italia Marinato 2019 e adesso il database Mantile *et al.* 2023), ma anche con dataset più globali (Salesse *et al.* 2018; Cocozza *et al.* 2022), sono pubblicate costantemente. I dati stanno quindi crescendo ad un ritmo molto rapido, con il conseguente bisogno di strumenti che consentano il recupero di informazioni omogenee e il confronto su tutti gli aspetti legati a questo tipo di contesti archeologici.

M.M.

2. Il progetto CAMIS[1]

Dal 2011 un gruppo di ricercatori dell'Università di Padova guidato da A. Chavarría Arnau ha iniziato a lavorare sui cimiteri altomedievali con il progetto CAMIS (Cimiteri e Archeologia Medievale in Italia Settentrionale, http://arcmed.lettere.unipd.it/CatMedievale/CAMIS_home.html), una ricerca volta alla realizzazione di un catalogo sulle evidenze funerarie tramite un vocabolario standardizzato (Fig. 1). L'obiettivo era quello di analizzare sistematicamente e statisticamente i contesti funerari come prova storica primaria per ricostruire modelli generali e specifici sulla loro ubicazione e topografia, sulle caratteristiche delle tombe, sullo stato demografico e sociale della popolazione inclusa la salute, sull'occupazione e la dieta, così come sulle scelte ideologico-culturali.

L'intenzione iniziale era quella di coinvolgere i diversi gruppi di ricerca che lavorano sui cimiteri altomedievali e medievali, discutendo un approccio comune e un vocabolario unificato e creando una piattaforma unica in cui tutti i team potessero inserire i dati relativi ai propri studi. Tuttavia, questa idea è stata abbandonata poiché l'approccio tra i diversi gruppi e l'orientamento archeologico o antropologico di essi non hanno consentito di individuare una visione comune. Anche l'accesso aperto e gratuito che era previsto per la piattaforma ha

[1] Questo lavoro nasce all'interno del progetto CAMIS (Cimiteri e Archeologia Medievale in Italia Settentrionale) della cattedra di Archeologia medievale dell'Università di Padova e fa parte anche dei prodotti del progetto PRIN 2022 BIOLALIA 2022BTT2Y2 (Bioarchaeology of Climate Change. An investigation of the Late Antique Little Ice Age).



Fig. 1 – Homepage del progetto CAMIS.

trovato molti limiti organizzativi e amministrativi (sebbene si sia già dimostrato di successo in altri progetti dello stesso gruppo: ad es. la piattaforma Wiki per le chiese altomedievali, cfr. Chavarría Arnau, Vedovetto 2021).

Per questo motivo è stata presa la decisione di sviluppare il progetto in modo autonomo e di concentrarsi principalmente sulla documentazione dei cimiteri già pubblicati, pur con la consapevolezza della perdita del dato inedito che sarebbe un elemento fondamentale per avere una reale mappatura dei contesti cimiteriali e darebbe inoltre visibilità a quei contesti non ritenuti appetibili da una parte della comunità scientifica. L'arco cronologico considerato è attualmente quello compreso tra il III e il X secolo, ma sarà possibile includere i secoli successivi o precedenti se necessario.

Pochi sono i progetti che attualmente si svolgono in Europa e che hanno come obiettivo finale lo studio delle pratiche funerarie postclassiche in aree geografiche più o meno ampie utilizzando delle basi di dati esaustive su tutti gli aspetti che interessano questo tipo di siti. Il più completo è senz'altro il progetto THANADOS (https://thanados.net/) attivo dal 2019, che permette di visualizzare in open access le informazioni relative a più di 500 cimiteri includendo informazioni archeologiche e antropologiche. La pagina web del progetto permette inoltre la possibilità di svolgere anche analisi spaziali e

quantitative su questi cimiteri. Non è stato pubblicato online, ma risulta un punto di riferimento importante soprattutto dal punto di vista metodologico anche il progetto People and Place: The Making of the Kingdom of Northumbria AD 300-800, che ha creato un completo database di cimiteri al fine di documentare informazioni, come l'orientamento delle tombe, la posizione dei corpi o gli oggetti "minori" rinvenuti nelle sepolture, e riflettere sulla diversità dei rituali funerari durante il periodo considerato (Brookes *et al.* 2005; Brookes, Harrington 2008; Harrington *et al.* 2020).

M.M.

3. La storia evolutiva del database FileMaker Pro

3.1 *Creazione della scheda base*

Il primo passo del progetto è stata la creazione di una scheda cartacea di base, all'interno della quale sono riportate le informazioni sull'ubicazione del sito, le caratteristiche del contesto, la tipologia di indagine effettuata, la datazione della necropoli, le caratteristiche del cimitero, le informazioni tafonomiche e antropologiche degli individui sepolti, i corredi e la ritualità, concludendo con le informazioni bibliografiche. Le informazioni che sono state raccolte possono essere così suddivise:

– Ubicazione: dati geografici (regione, provincia, località e riferimenti cartografici) e visualizzazione tramite Google Maps. Inoltre, viene data una descrizione geografica per inquadrare l'area del cimitero, specificando eventuali elementi paesaggistici e la vicinanza o meno agli attuali centri urbani.
– Contesto: collocazione del sito al momento del suo utilizzo e frequentazione, possibili preesistenze (come ad es.: necropoli protostoriche o del periodo romano, ville tardoantiche, etc.) e possibili relazioni con edifici di culto e/o abitati coevi.
– Indagini: anno dell'intervento, tipologia dello scavo (estensione, ricognizione, d'emergenza) ed ente o società che ha svolto i lavori.
– Datazione: datazione del sito e metodi con cui è stata determinata.
– Caratteristiche del cimitero: tipologia, numero di tombe scavate, orientamento, disposizione spaziale delle sepolture, numero di individui presenti all'interno delle tombe, tipologia tombale (per normalizzare il vocabolario è stata creata una tavola esplicativa), presenza e caratteristiche delle coperture e dei segnacoli.
– Corredo: oggetti deposti insieme al defunto, posizione nella tomba, tipologia degli oggetti e datazione proposta.
– Elementi rituali: ulteriori informazioni sul rito funebre.
– Tafonomia: modalità di deposizione e di decomposizione degli individui, tipologia di deposizione (singola, multipla, collettiva o riduzione), posizione

degli arti superiori e del cranio ed eventuale presenza di un cuscino (con l'indicazione, ove possibile, del materiale) e del sudario.
– Analisi antropologiche: stato di conservazione dei resti scheletrici e informazioni sulla diagnosi di sesso, stima dell'età alla morte e della statura e stato di salute.
– Fotografie: fotografie e disegni editi che riguardano i vari aspetti del contesto cimiteriale.
– Bibliografia: riferimenti bibliografici dai quali sono stati ricavati i dati per la compilazione della scheda.

Lo schema proposto per la schedatura cartacea è stato considerato un buon punto di partenza, ragion per cui l'informatizzazione del dato ha seguito i punti esposti in precedenza apportando in alcuni casi delle modifiche al fine di ottimizzare le informazioni. Le undici classi di dati, dal sito alla bibliografia, sono state organizzate in 17 tabelle strutturate e collegate tra di loro, rispettando in particolare i vincoli di integrità.

3.2 *La scelta di FileMaker Pro*

Per quanto riguarda la progettazione fisica, ovvero il software impiegato, si è optato per l'utilizzo di FileMaker Pro 12 Advanced. La scelta di usare tale tecnologia è dovuta principalmente alle seguenti caratteristiche distintive: 1) compatibilità con tutti i sistemi operativi (IOs, Windows, Linux); 2) possibilità di creare facilmente database importando ed esportando i dati con estensione XML, Microsoft Excel e Bento; 3) possibilità di creare maschere ("formati", nella terminologia di FileMaker) in modo da semplificare l'inserimento dei dati anche da parte di un utente non esperto; 4) possibilità di realizzare grafici sia per la visualizzazione dei dati inseriti nel database sia di sintesi di tutte le informazioni raccolte; 5) condivisione del database sia via web che su dispositivi mobili (tablet e smarthphone) attraverso l'applicazione FileMaker Go.

Oltre a questi aspetti è importante sottolineare che FileMaker consente di definire all'interno dei database creati tutte le regole e i costrutti delle basi di dati, stabilendo le relazioni tra tabelle e rispettivi vincoli di integrità, la definizione degli attributi attraverso valori preimpostati e i privilegi di accesso per diversi utenti.

3.3 *Il formato di immissione dati: schede compilatore*

Dopo aver definito i vari campi nelle diverse tabelle, si è deciso di inserire all'interno del formato sito, oltre a tutti i campi della tabella sito, anche i campi correlati, suddividendo le varie informazioni per tematiche all'interno di riquadri. In questi, diverse informazioni di base sono state poste principalmente come semplice strumento campo/controllo, attribuendo in alcuni casi uno stile diverso o un menu a tendina (come ad es. al campo collocazione e a quello

della affidabilità cronologica), o un menu a discesa (come nel caso del campo comune e ai vari campi in cui sono inserite le informazioni sulle quantità presenti all'interno della necropoli). L'uso di un vocabolario concordato, suggerito all'interno dei diversi menu a tendina, permette di avere una diminuzione dei possibili errori durante la compilazione e una facilitazione per una ricerca e analisi statistica delle informazioni. Per una più rapida visualizzazione della collocazione del sito è stato creato un visualizzatore web. Questo strumento permette di visualizzare in un formato scheda un indirizzo di pagina web che può essere una costante o costruito utilizzando i dati estratti da specifici record. A tal proposito nel database è stata creata una visualizzazione del sito partendo dai dati della latitudine e della longitudine che vengono inseriti per ogni luogo, ottenendo quindi un indirizzo di rete calcolato: https://maps.google.com/maps ?q=+"&sito::latitudine&"+"&sito::longitudine&"&output=embed&iwloc=0.

Per affrontare campi correlati, quali preesistenza, relazioni del sito, tipologie tombali, modalità di deposizione e diagnosi di sesso, è stato sviluppato un portale. Questo oggetto di FileMaker consente la visualizzazione di multipli record associati, presentando in righe distinte i record selezionati dalla tabella correlata. Anche per alcuni campi inseriti all'interno dello strumento portale è stata applicata la modalità del menu a scorrimento per poter selezionare le diverse voci delle liste valori che sono state preparate. Infine, sempre per una miglior resa nella visualizzazione dei dati, per quanto riguarda la datazione si è cercato di costruire una "linea del tempo" attraverso lo strumento grafico. È stato creato un grafico utilizzando la visualizzazione a linee, collegando all'asse dello stesso il campo periodo della tabella datazione. Questo tipo di visualizzazione necessita dell'inserimento di numeri arabi, quindi nei casi di datazione generica (ad es., quando indicato il secolo o con formule come metà/fine/inizio secolo) si sono codificate le seguenti convenzioni: 1) secolo: x01-y00 (ad es. IV secolo=301-400); 2) inizio secolo: x20 (ad es. inizio IV secolo=320); 3) metà secolo: x50 (ad es. metà IV secolo=350); 4) fine secolo: x80 (ad es. fine IV secolo= 380). Nel caso in cui vengano indicati i periodi storici generici (ad es. tardoantico o altomedioevo) si sono proposte le seguenti convenzioni: 1) tardoantico: III-IV d.C.=201-400; 2) altomedioevo: V-X d.C.=401-1000; 3) bassomedioevo: XI-XV d.C.=1001-1500.

Una diversa struttura è stata applicata invece per la visualizzazione dei dati del corredo, il controllo struttura a schede. Questo oggetto è costituito da diversi pannelli strutturati a schede e permette di organizzare al suo interno i diversi campi, i controlli e gli strumenti del portale. Per quanto riguarda il corredo presente all'interno della necropoli, le informazioni sono catalogate utilizzando 5 pannelli, ognuno dei quali relativo ad una specifica tipologia di corredo: armi, elementi del vestiario, contenitori, monete e altro. All'interno di ogni pannello è stato inserito uno strumento portale correlato alla tabella specifica per ogni classe di materiale. Da questo formato è possibile

tornare alla homepage attraverso un'icona che è stata posta in alto a destra all'interno della pagina.

Menzione particolare merita il funzionamento della tabella raster in FileMaker; le immagini sono gestite fondamentalmente attraverso un'operazione di hyperlink, ovvero il collegamento del record su un server, dove sono fisicamente conservate le fotografie ad alta risoluzione. Questa scelta è dovuta alla necessità di non appesantire il database caricandolo con tutte le immagini delle necropoli, aspetto che avrebbe pregiudicato il funzionamento della banca dati. All'intero della base di dati l'operatore deve compilare esclusivamente il nome del file (nome_file), mentre il campo link provvede automaticamente attraverso l'espressione "nome_serve & nome_file" a fornire l'indirizzo corretto a cui accedere e visualizzare l'immagine ad alta risoluzione. Tuttavia, per una fruizione più agevole e immediata è stato predisposto un campo contenitore (immagine) dove si può inserire e visualizzare una miniatura. In questo ultimo campo è possibile porre dei file con un peso di pochi Kb (limite fissato a 100Kb) funzionali ad una visualizzazione rapida del contenuto del link e ininfluenti sulla memoria fisica della banca dati.

Per quanto riguarda il lato utente, la consultazione dei dati avviene attraverso un formato denominato "visualizzazione sito" che è anch'esso strutturato mediante la struttura a schede. È stata quindi creata una scheda con 8 pannelli a cui sono state applicate diverse etichette: inquadramento geografico, preesistenze e relazione sito, datazione sito, info necropoli, tafonomia, antropologia, corredo, note e bibliografia. All'interno dei diversi pannelli sono stati inseriti i medesimi campi con le rispettive tipologie di visualizzazione e di struttura che sono stati creati per il formato di compilazione. Anche in questo formato è stata posta l'icona che permette la navigazione del database e rimanda alla homepage; inoltre sono state aggiunte due icone, una per poter stampare o creare un file PDF dei record, mentre la seconda rimanda al formato fotografie.

M.M.

4. La mappa online e l'uso di PostgreSQL

Un secondo step nella condivisione dei dati raccolti nel progetto CAMIS è stata la creazione di una mappa georeferenziata che consentisse la visualizzazione e l'interrogazione online (tramite interfaccia web) di almeno una parte significativa dei dati raccolti. Un visualizzatore online per la fruizione di dati geospaziali richiede un sistema basato su una architettura più complessa rispetto ad un semplice database relazionale. Infatti, per eseguire una query spaziale, ad esempio una selezione, il database deve integrare un modulo di estensione spaziale. A tale scopo si è scelto di utilizzare PostgreSQL come database referenziale con estensione spaziale PostGIS come database referenziale in quanto progetto open source dotato di estensione spaziale (PostGIS),

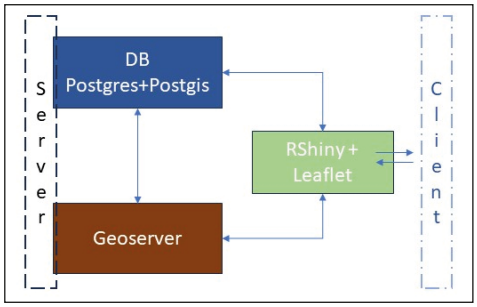


Fig. 2 – Architettura di CAMIS web. Il server contiene il database relazionale e il server geografico; il client è costruito con RShiny e Leaflet.

noto per la sua robustezza, le ottime performance ed economicità. Questa soluzione garantisce inoltre l'interoperabilità del dato ed è ampiamente utilizzata nell'implementazione di webGIS (Guarnieri *et al.* 2016).

Poiché FileMaker Pro è un software proprietario la cui struttura dati non può essere semplicemente esportata e ricreata automaticamente su PostgreSQL, è stato necessario tradurre e riadattare la struttura dati originaria in PostgreSQL, mantenendo le relazioni tra tabelle e i vincoli di integrità relazionale, ma ridefinendo delle tipologie di campo specifiche per il progetto CAMIS. Il duplice obbiettivo era di agevolare le future analisi e ridurre al minimo gli errori di inserimento. Una struttura dati robusta, con campi omogenei, ben descritti, con una sintassi chiara e standardizzata priva di ambiguità e omonimie è fondamentale per applicare correttamente i filtri di ricerca limitando al massimo gli errori e la perdita di informazioni dovuta a erronei inserimenti. Complessivamente è stato quindi generato un database PostgreSQL di 21 tabelle, con 1071 siti censiti. Questi siti e le tabelle afferenti sono stati popolati con dati revisionati, corretti, omogeneizzati e arricchiti con informazioni paleopatologiche.

Il database è installato su un server cloud, supportato da un server geografico, anch'esso open source, Geoserver, per la gestione di cartografie e primitive topologiche. In questa configurazione PostgreSQL gestisce la struttura dati, mentre Geoserver "trasforma" le coordinate dei luoghi di sepoltura in primitive topologiche, cioè punti, linee, poligoni, rendendoli disponibili sul web e sul browser dell'utente (client). L'interfaccia grafica è invece realizzata con RShiny, un pacchetto della suite di programmazione R specifico per lo sviluppo di applicazioni web che utilizza la libreria Leaflet. Questa libreria, implementata in JavaScript, consente la visualizzazione online di mappe, cartografie e strati informativi (layer) provenienti da diversi fonti, come ad esempio quelli forniti da Geoserver (Fig. 2).

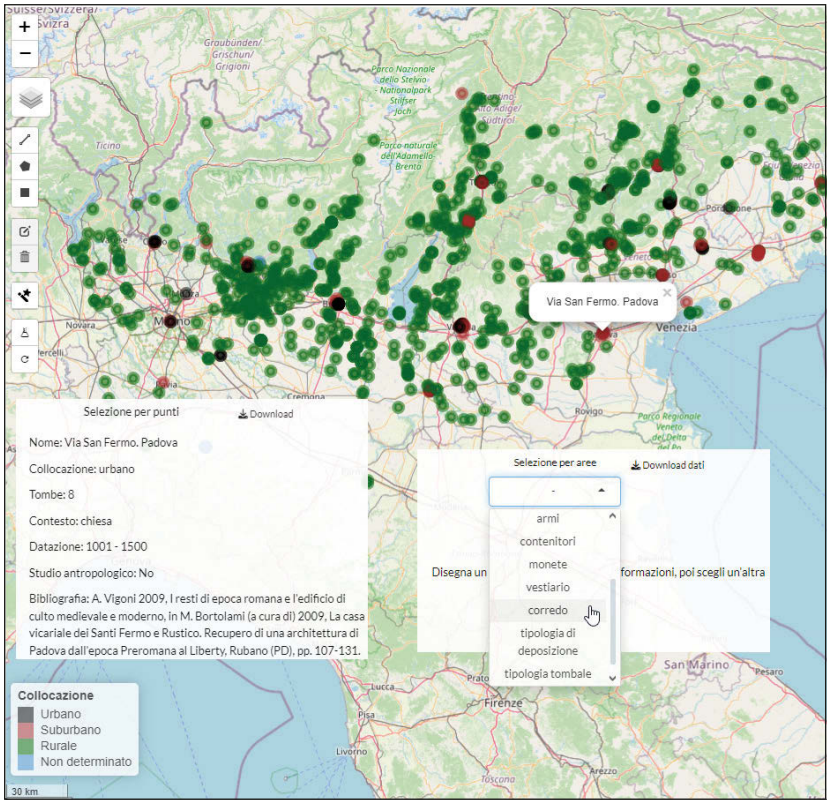


Fig. 3 – Schermata principale di CAMIS web. Sulla sinistra, il pannello di disegno e selezione per aree; in basso, la scheda risultati e un esempio delle query di selezione aree.

Dal lato client, l'utente visualizza una panoramica delle sepolture altomedievali nel Nord Italia, tematizzate secondo la collocazione delle stesse, ovvero sito urbano, suburbano, rurale e non determinato. L'interrogazione e il download dei dati avvengono sia per singoli punti che disegnando un poligono sulla mappa e filtrando spazialmente i dati. Un pannello permette di scegliere l'interrogazione da eseguire ovvero quale scheda visualizzare, come ad esempio la collocazione, il contesto, il corredo, etc. Le query di ricerca preimpostate facilitano le operazioni dell'utente, che non deve costruire la propria interrogazione, e garantiscono, al tempo stesso, che non possa essere introdotto un codice malevolo a livello del database. Le query di ricerca su base geografica, lavorando a livello server, sono processate dal database e il risultato estratto viene restituito da Geoserver e visualizzato nel browser (Fig. 3).

M.P.

5. Il geodatabase CAMIS: alcuni dati rilevanti

Nell'ambito del geodatabase CAMIS risulta attualmente censito un complessivo di 1071 cimiteri distribuiti su un totale di 26 province, comprese all'interno delle regioni di Lombardia, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Piemonte e Trentino-Alto Adige (Fig. 4). Tuttavia, è importante sottolineare che non tutte le province che fanno parte delle singole regioni sono adeguatamente rappresentate all'interno del geodatabase. Emerge in particolare una significativa carenza relativa alle province del Piemonte; mentre tutte le province della Lombardia e del Friuli-Venezia Giulia risultano indagate in maniera esaustiva o, quantomeno, rappresentate in modo soddisfacente.

Particolare attenzione va rivolta alla distribuzione geografica di tali cimiteri, la quale evidenzia al momento una concentrazione predominante nelle province di Brescia (146), Bergamo (135), Trento (114), Verona (103), Belluno (96), Torino (789), Udine (77) e Treviso (75), mentre le restanti registrano un numero di cimiteri compreso tra 1 e 50 (Fig. 5). Alquanto significativi risultano essere i dati relativi alla collocazione dei cimiteri, classificati come urbani, suburbani e rurali. Analizzando tali informazioni, emerge una netta prevalenza della collocazione in ambito rurale che, con 847 casi, caratterizza più della metà dei cimiteri censiti. Significativamente inferiore è invece il numero di cimiteri collocati in aree urbane e suburbane, rappresentati rispettivamente da 115 e 95 casi. Infine, per i restanti 14 cimiteri non è stata specificata alcuna indicazione in merito, pertanto la loro collocazione viene catalogata come "non determinata".

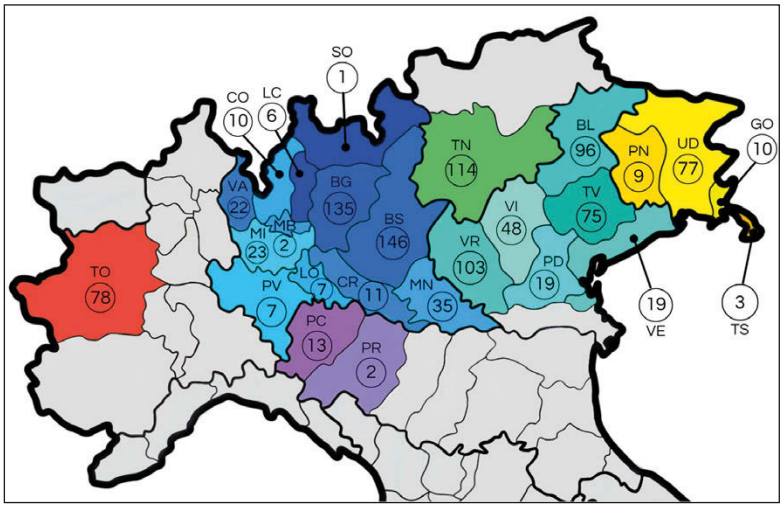


Fig. 4 – Numero dei cimiteri schedati nelle province dell'Italia settentrionale.

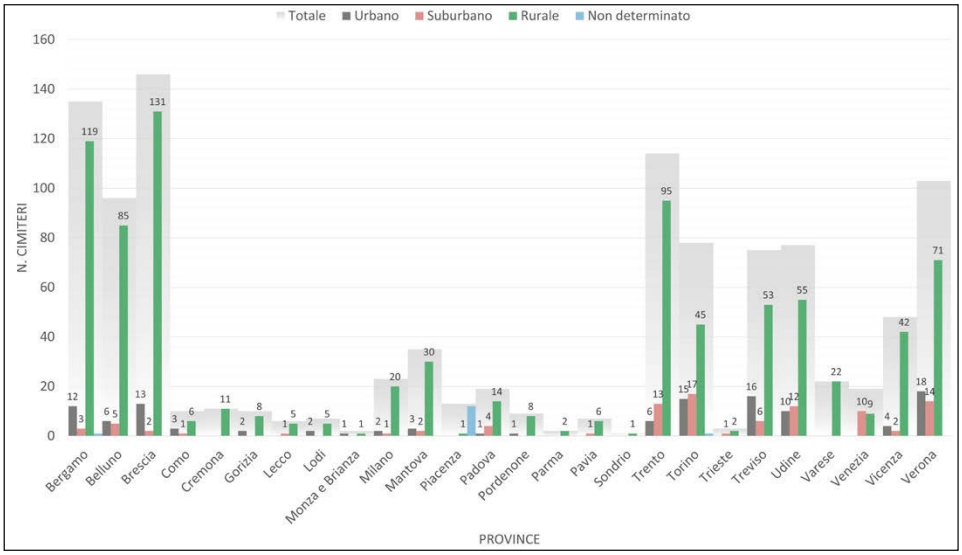


Fig. 5 – Numero dei cimiteri individuati nelle province suddivisi per collocazione ("urbana", "suburbana", "rurale" e "non determinata").

Risulta sorprendente come la maggior parte dei cimiteri sia molto piccola e conti al suo interno non più di una decina di tombe. Nel dettaglio, si riscontrano 551 aree cimiteriali con un numero di sepolture variabile da 1 a 9 ciascuna, mentre si registra un totale di 304 cimiteri in cui il numero delle sepolture risulta indeterminato. L'analisi dei dati compresi tra i valori precedenti ("da 1 a 9" e "indeterminato") rivela una tendenza prevalentemente decrescente, con una marcata diminuzione dei cimiteri caratterizzati da un elevato numero di tombe. Tuttavia, vanno notate alcune eccezioni in particolare per i cimiteri che contano tra i 100 e i 199 defunti, 10 nel complesso, e quelli con 200-299 defunti, 9 nel totale del database (Fig. 6). Relativamente ai dati sopra esposti, si nota come i cimiteri urbani, che contano complessivamente 540 sepolture, abbiano una media di 6 individui ciascuno, mentre quelli suburbani, caratterizzati da un numero sensibilmente più elevato di sepolture pari a 1964, abbiano una media di 25 defunti ognuno.

Per quanto riguarda la varietà di tipologie tombali, emerge chiaramente come la tomba a fossa terragna sia la più diffusa, contando un totale di 266 esempi, di cui 76 delimitati da ciottoli. Seguono poi per diffusione le tombe a cassa, sia in muratura con 179 casi, sia in cassa litica con 173, insieme alle tombe alla cappuccina delle quali si contano 104 esemplari. Nell'ambito delle strutture tombali, sono poi documentati altri tipi, quali le tombe in cassa di tegole o in cassa composita (realizzate principalmente con laterizi e pietre),

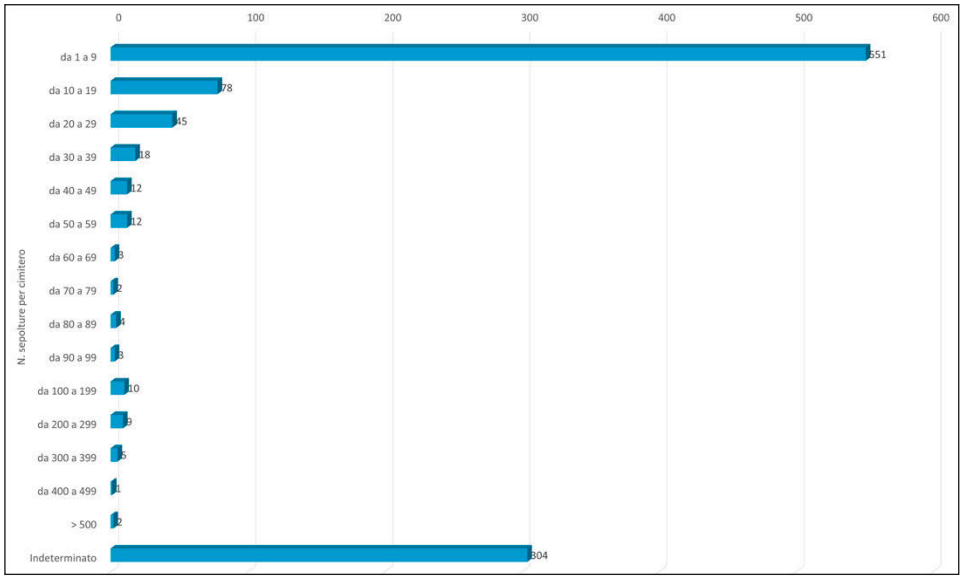


Fig. 6 – Grafico rappresentante il numero di sepolture individuate all'interno dei cimiteri.

sarcofagi, anfore, fosse tagliate nella roccia, loculi, tronchi d'albero, arcosoli e tombe a casa. Le ultime quattro tipologie elencate vengono indicate sotto la dicitura "altre tipologie" nel grafico a Fig. 7. È importante però notare come nel geodatabase per un considerevole numero di tombe la tipologia non venga specificata, classificando quest'ultime sotto le categorie "non determinato" (448) o "altro" (41).

Sono stati infine esaminati i dati concernenti le diverse tipologie di deposizione ed è emerso nuovamente come per la maggioranza delle sepolture la modalità di deposizione appare indeterminata in ben 696 casi. Tra le varie tipologie attestate, la sepoltura singola sembra essere la più comune con un totale di 362 esemplari, seguita dalle sepolture multiple che ne contano 161. Si aggiungono poi 11 casi di sepolture collettive, 4 ossari e, infine, si registrano solo tre casi di sepolture secondarie e due casi di riduzioni in relazione ai cimiteri schedati all'interno del geodatabase.

Già dalla schedatura effettuata all'interno del progetto CAMIS, si è potuto intuire che a livello di dato edito c'erano delle problematiche che avrebbero portato a una difficoltà di struttura del database. L'analisi complessiva mostra un'ampia eterogeneità del dato e di come è stato gestito all'interno del materiale edito. Le problematiche riguardano diverse tematiche, come ad esempio la modalità di rinvenimento: nella maggior parte dei casi è casuale e risalente alle fine dell'800 e ai primi anni del '900 e alle volte non se ne conosce il punto

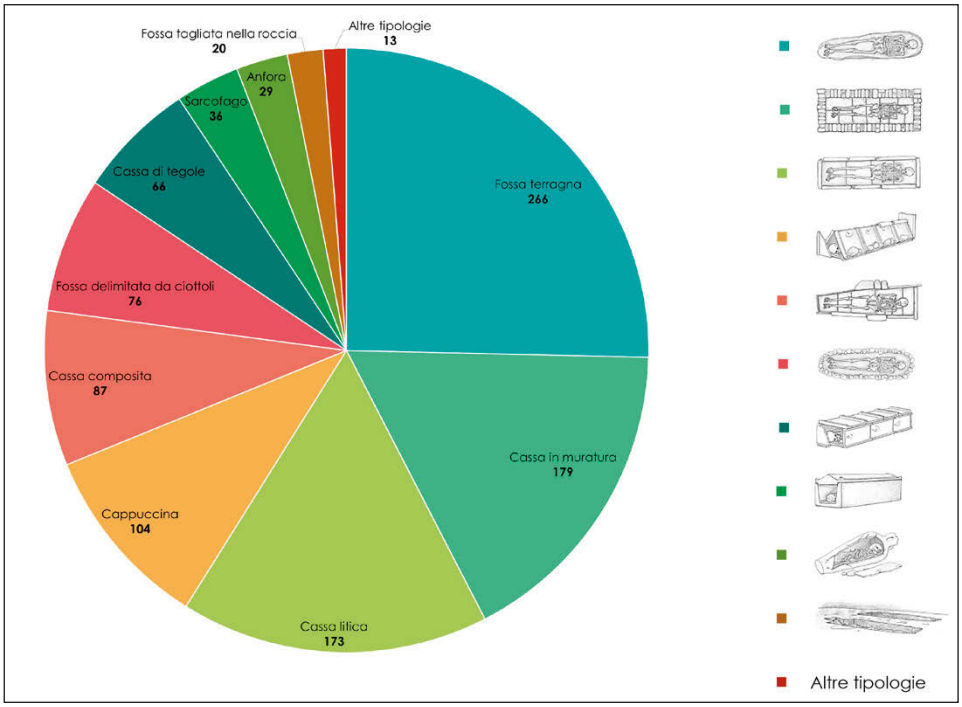


Fig. 7 – Tipologie tombali identificate all'interno dei cimiteri (disegni di A. Walczer Baldinazzo).

esatto. Le datazioni si basano principalmente sullo studio dei corredi e dei rapporti stratigrafici, soprattutto quando il cimitero è in rapporto a qualche struttura e/o edificio di culto; a volte la datazione viene dettata da una ipotetica tipologia delle strutture tombali anche se non esistono studi tipocronologici affidabili. In nessuno dei casi si possono comunque considerare informazioni affidabili, come succede con le misurazioni al radiocarbonio (^{14}C). Si osserva inoltre uno sbilanciamento nel numero dei contesti studiati e nella qualità delle informazioni a favore dei cimiteri del periodo di transizione (fine VI-VIII d.C.), dove all'interno si osserva la presenza di individui alloctoni.

In tale quadro ricadono i molti cimiteri longobardi che sono stati analizzati soprattutto dal punto di vista archeologico, sia sulla base della distribuzione delle tombe, sia dei corredi (per un'ampia sintesi si rimanda a Possenti 2014 e alla collana Archeologia Barbarica). Lo studio dei corredi funerari, che si possono suddividere in oggetti di vestiario e altri tipi di oggetti, rappresenta un tema ampiamente dibattuto e andrebbe sempre interpretato in rapporto a variabili quali il sesso, l'età, l'etnicità dei defunti, ma anche il loro status sociale e i legami familiari (Delogu 2007; Possenti 2014).

Inoltre, la presenza di piccoli oggetti nelle tombe, come monete, ossa animali, amuleti, oggetti devozionali, contenitori di diversi materiali e resti di banchetti funebri, introduce ulteriori lacune nella ricerca. Queste sono dovute spesso alla mancanza di informazioni sulla posizione esatta di tali oggetti all'interno delle sepolture, limitando così la comprensione di alcuni aspetti del comportamento sociale e delle pratiche funerarie delle comunità antiche. Inoltre, nel contesto dello studio delle sepolture, sarebbe opportuno esaminare ulteriori elementi, quali le dimensioni della sepoltura e la possibile presenza di spazi "vuoti" derivanti da oggetti e/o strutture in materiale deperibile. Questi dati spesso trascurati potrebbero rivelare nuove informazioni non solo sull'architettura interna delle tombe e sulla figura del defunto, ma anche sulle dinamiche socio-culturali delle famiglie e delle comunità nell'affrontare la morte. Questo approccio permette di comprendere meglio come queste persone si relazionavano con i loro defunti, rispettando norme e tradizioni che regolavano il loro comportamento reciproco e individuale (cfr. per recenti riflessioni sul tema Harrington *et al*. 2020; Conejo Delgado 2023).

Per gli aspetti antropologici e tafonomici si ha un quadro ancora più difficile, dal momento che le pubblicazioni presentano studi con diversi gradi di precisione: a partire da una minima diagnosi di sesso e stima dell'età alla morte degli individui, fino a rare ricostruzioni più complete del profilo biologico e dello stato di salute della popolazione.

B.B.

6. Ottimizzazione e sfide nella gestione dei dati

Come evidenziato nel paragrafo precedente, la presenza di informazioni eterogenee ha portato alla decisione di mantenere, all'interno della struttura del database, i campi relativi a questi aspetti come campi testuali aperti. Questa scelta, nella fase attuale, comporta una significativa limitazione in termini di possibilità di interrogazione (query) e analisi statistiche eseguibili attraverso il database. Tuttavia, è previsto che, nel momento in cui il database verrà implementato con l'importazione completa dei dati relativi alle sepolture censite, si procederà alla riduzione dei campi testuali aperti, mirando alla creazione di un vocabolario il più possibile standardizzato e semi-chiuso.

Per quanto concerne la struttura logica e la produzione fisica dei dati tramite FileMaker, occorre fare alcune precisazioni. In particolare, per quanto riguarda la tabella sito, si è preferito inserire in questa scheda alcuni campi, tra cui il numero di sepolture con corredo o quello relativo agli individui, in quanto le informazioni raccolte sono troppo generiche da poter essere specificate e poste nelle rispettive tabelle corredo o antropologia. All'interno di questa tabella, un altro attributo che necessita di alcune considerazioni è il

campo bibliografia. Dal punto di vista formale la relazione che intercorre tra il sito e la relativa bibliografia è del tipo molti-a-molti, nel senso che molti testi possono descrivere molti siti. In sintesi, questo significa che bisogna procedere alla schedatura sia dei siti sia della relativa bibliografia e realizzare una tabella intermedia con eventuali codici per risolvere la relazione logica. In questa fase della ricerca questo non è stato possibile, ragion per cui la bibliografia è stata inserita in un unico campo testuale; in una successiva fase si provvederà a estrapolare i dati da questo campo e strutturare specifiche tabelle bibliografiche da inserire nel modello dati.

Un altro aspetto da considerare è la gestione delle liste valori per assicurare l'utilizzo di un vocabolario chiuso. Nel database CAMIS sono stati impiegati due metodi: la creazione di una tabella dedicata o l'impiego di un campo con assegnata la rispettiva lista valori. È il caso ad esempio delle due tabelle sito_contesto e relazione_sito – per la tabella dedicata – o l'attributo Oggetti_elementi_vestiario per una lista. Sono entrambe due soluzioni valide per la gestione del dato all'interno dei database relazionali, che sono state qui testate. In ultimo il campo comune, come spiegato in precedenza, è caratterizzato da una lista valori in cui sono riportati tutti i nomi dei comuni dell'area presa in considerazione. Durante la compilazione vengono registrate in automatico le informazioni riguardanti la provincia, la regione e il codice ISTAT. Si è reputato utile inserire quest'ultima tipologia di dati al fine di collegare la banca dati CAMIS con altre informazioni, come i layer geografici del portale cartografico nazionale e considerando la possibilità di impiegare i dati all'interno di piattaforme GIS.

7. Conclusioni

La creazione di database online aperti è cruciale in un settore dove le pubblicazioni tendono a presentare dati molto frammentari, poco omogenei e difficili da analizzare in modo complessivo come l'archeologia funeraria. Sebbene la raccolta e l'organizzazione dei dati richiedano un lavoro molto ampio, la nostra esperienza ci conferma che è possibile gestire efficacemente il processo, purché l'inserimento delle informazioni non sia troppo oneroso. Rendere il database accessibile online, anche prima che sia completato, permette di mostrare lo stato corrente della ricerca, di mantenerla costantemente aggiornata, di acquisire nuove risorse e di ottenere una rappresentazione sempre più dettagliata, anche se complessa, che può fungere da fondamento per nuovi filoni di indagine. L'analisi di un ampio insieme di siti ci consente di riflettere su dati ancora non raccolti o che richiederebbero analisi più approfondite, come le cronotipologie delle strutture tombali (generalmente e per aree geografiche), le combinazioni di oggetti nei corredi funerari e i loro rapporti con i defunti.

I vantaggi nella circolazione dei dati includono un loro utilizzo più efficace, l'ottimizzazione delle risorse, l'opportunità di controllo qualitativo, la promozione della creatività scientifica e un confronto più critico tra gli specialisti. La vasta quantità di dati disponibili (e la prospettiva che molto di più si nasconda dietro l'interfaccia online) ha stimolato nuove collaborazioni internazionali, che stanno già dimostrandosi proficue per il nostro progetto e, a nostro avviso, per l'avanzamento di questo campo di studio.

M.M.

Brunella Berzellini, Maurizio Marinato
Dipartimento dei Beni Culturali
Università degli Studi di Padova
brunellab.19@gmail.com, maurizio.marinato@unipd.it

Marco Piragnolo
GEOMATICS Research Center, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali
Università degli Studi di Padova
marco.piragnolo@unipd.it

BIBLIOGRAFIA

Amorim C.E., Vai S., Posth C., Modi A., Koncz I., Hakenbeck S., La Rocca M.C., Mende B., Bobo D., Pohl W., Pejrani Baricco L., Bedini E., Francalacci P., Giostra C., Vida T., Winger D., Von Freeden U., Ghirotto S., Lari M., Barbujani G., Krause J., Caramelli D., Geary P.J., Veeramah K.R. 2018, *Understanding 6th century barbarian social organization and migration through paleogenomics*, «Nature Communications», 9, 3547, 1-11.

Brookes S., Harrington S. 2008, *The Anglo-Saxon Kent Electronic Database* (https://doi.org/10.5284/1000069).

Brookes S., Harrington S., Welch M. 2005, *Documenting the dead: Creating an on-line census of Anglo-Saxon burials from Kent*, «Archaeology International», 9, 1, 28-31.

Buikstra J.E., Ubelaker D. (eds.) 1994, *Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains, Proceedings of a Seminar at the Field Museum of Natural History*, Fayetteville, Arkansas Archeological Survey.

Chavarría Arnau A. 2018a, *People and landscapes in Northern Italy: Interrogating the burial evidence*, in P. Diarte, N. Christie (eds.), *Interpreting the Transformations of People and Landscapes in Late Antiquity and the Middle Ages*, Oxford, Oxbow Books, 163-178.

Chavarría Arnau A. 2018b, *Cemetery*, in G. Hunter, P.J.J. van Geest, B.J. Lietaert Peerbolte (eds.), *Brill Encyclopedia of Early Christianity Online*, General Editor David. (http://dx.doi.org/10.1163/2589-7993_EECO_SIM_00000584).

Chavarría Arnau A. 2019, *The topography of early medieval burials: Some reflections on the archaeological evidence from Northern Italy (Fifth-Eight centuries)*, in J. Escalona, O. Vésteisson, S. Brookes (eds.), *Polity and Neighbourhood in Early Medieval Europe*, Turnhout, Brepols, 83-120.

Chavarría Arnau A. 2023, *Late Roman burials in urban contexts: Old questions and new methods*, in G. Granier, C. Boyer, É. Anstett (eds.), *Death and Societies in Late Antiquity. New Methods, New Questions?*, Aix-en-Provence, Presses Universitaires de Provence, 11-19.

Chavarría Arnau A., Marinato M. 2015, *Frammentazione e complessità nelle pratiche funerarie altomedievali in Italia settentrionale*, in P. Arthur (ed.), *Atti del VII Congresso nazionale di Archeologia medievale (Lecce 2015)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 61-68.

Chavarria Arnau A., Vedovetto P. 2021, *Wiki loves churches! La piattaforma Wikicare per la catalogazione collaborativa delle chiese altomedievali in italia*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 291-306 (https://doi.org/10.19282/ac.32.1.2021.16).

Cocozza C., Cirelli, E., Gross M., Teegen W.R., Fernandes R. 2022, *Presenting the Compendium Isotoporum Medii Aevi, a multi-isotope database for Medieval Europe*, «Scientific Data », 9, 354 (https://doi.org/10.1038/s41597-022-01462-8).

Conejo Delgado N. (ed.) 2023, *Il valore dei gesti e degli oggetti. Monete e altri elementi in contesti funerari*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Delogu P. 2007, *Conclusioni*, in G.P. Brogiolo, A. Chavarria (eds.), *Archeologia e società tra Tardo Antico e Alto Medioevo, 12 Seminario sul Tardo Antico e l'Alto Medioevo (Padova 2005)*, Mantova, SAP, 401-404.

Fiocchi Nicolai V. 2006, *Gli spazi delle sepolture cristiane tra il III e il V secolo: genesi e dinamica di una scelta insediativa*, in L. Pani Ermini, P. Siniscalco (eds.), *La comunità cristiana di Roma. La sua vita e la sua cultura dalle origini all'Alto Medioevo*, Città del Vaticano, Libreria Editrice Vaticana, 341-369.

Fiocchi Nicolai V. 2016, *Le aree funerarie cristiane di età costantiniana e la nascita delle chiese con funzione sepolcrale*, in O. Brandt, V. Fiocchi Nicolai, G. Castiglia (eds.), *Costantino e i costantinidi: l'innovazione costantiniana, le sue radici e i suoi sviluppi. Acta XVI Congressus Internationalis Archaeologiae Christianae (Roma 2013)*, Città del Vaticano, Libreria Editrice Vaticana, 619-670.

Fiorin E., Moore J., Montgomery J., Lippi M.M., Nowell G., Forlin P. 2021, *Combining dental calculus with isotope analysis in the Alps: New evidence from the Roman and Medieval cemeteries of Lamon, Northern Italy*, «Quaternary International», 653-654, 89-102.

Gismondi A., Baldoni M., Gnes M., Scorrano G., D'Agostino A., Di Marco G., Calabria G., Petrucci M., Müldner G., Von Tersch M., Nardi A., Enei F., Canini A., Rickards O., Alexander M., Martínez-Labarga C. 2020, *A multidisciplinary approach for investigating dietary and medicinal habits of the medieval population of Santa Severa (7th-15th centuries, Rome, Italy)*, «PLoS ONE», 15, 1, e0227433 (https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227433).

Guarnieri A., Masiero A., Piragnolo M., Pirotti F., Vettore A. 2016, *A geodatabase for multisource data applied to cultural heritage: The case study of Villa Revedin Bolasco*, «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLI-B5, 267-271.

Härke H. 2014, *Grave goods in early medieval burials: Massages and meanings*, «Mortality», 19, 1, 41-60.

Harrington S, Brookes S., Semple S., Millard A. 2020, *Theatres of closure: Process and performance in inhumation burial rites in Early Medieval Britain*, «Cambridge Archaeological Journal», 30, 3, 389-412 (https://doi.org/10.1017/S0959774320000050).

Laffranchi Z., Mazzucchi A., Thompson S., Delgado-Huertas A., Granados A., Milella M. 2020, *Funerary reuse of a Roman amphitheatre: Paleodietary and osteological study of early middle ages burials (8th-9th century AD) discovered in the Arena of Verona (Northeastern Italy)*, «International Journal of Osteoarchaeology», 30, 4, 435-448 (https://doi.org/10.1002/oa.2872).

Lambert C. 1997, *Le sepolture in urbe nella norma e nella prassi (tarda antichità-alto medioevo)*, in L. Paroli (ed.), *L'Italia centro-settentrionale in età longobarda*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 285-293.

Lambert C. 2003, *Spazi abitativi e sepolture nei contesti urbani*, in J. Ortalli, M. Heinzelmann (eds.), *Abitare in città. La Cisalpina tra impero e medioevo*, Roma, Istituto Archeologico Germanico, 229-239.

Mantile N., Fernandes R., Lubritto C., Cocozza C. 2023, *IsoMedIta: A stable isotope database for medieval Italy*, «Research Data Journal for the Humanities and Social Sciences», 8, 1, 1-13.

Marinato M. 2017a, *Il contributo della bioarcheologia per lo studio dei longobardi: i casi delle province di Bergamo, Modena e Verona*, in G.P. Brogiolo, F. Marazzi, C. Giostra (eds.), *Longobardi. Un popolo che cambia la storia*, Catalogo della mostra, Milano, Skira, 72-75.

Marinato M. 2017b, *Analisi degli isotopi stabili sulle sepolture altomedievali*, in A. Chavarría Arnau (ed.), *Ricerche sul centro episcopale di Padova. Scavi 2011-2012*, Mantova, SAP, 151-154.

Marinato M. 2019, *Alimentazione, salute e mobilità della popolazione in Italia settentrionale tra IV e VIII secolo. Approcci bioarcheologici*, Mantova, SAP.

Maxwell A.B. 2019, *Exploring Variations in Diet and Migration from Late Antiquity to the Early Medieval Period in the Veneto, Italy: A Biochemical Analysis*, PhD Thesis, Tampa, University of South Florida.

Ortner D.J. 2003, *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*, London, Academic Press.

Paladin A., Moghaddam N., Stawinoga A.E., Siebke I., Depellegrin V., Tecchiati U., Lösch S., Zink A. 2020, *Early medieval Italian Alps: Reconstructing diet and mobility in the valleys*, «Archaeological and Anthropological Sciences», 12, 82.

Possenti E. (ed.) 2014, *Necropoli longobarde in Italia. Indirizzi della ricerca e nuovi dati*, Lavis (Tn), Esperia.

Riccomi G., Minozzi S., Zech J., Cantini F., Giuffra V., Roberts P. 2020, *Stable isotopic reconstruction of dietary changes across Late Antiquity and the Middle ages in Tuscany*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 33, 102546.

Richards M.P., Britton K. 2020, *Archaeological Science. An Introduction*, Cambridge, Cambridge University Press.

Rolandsen G.L., Arthur P., Alexander M. 2019, *A tale of two villages: Isotopic insight into diet, economy, cultural diversity and agrarian communities in medieval (11th-15th century CE) Apulia, Southern Italy*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 28, 102009.

Salesse K., Fernandes R., de Rochefort X., Brůžek J., Castex D., Dufour É. 2018, IsoArcH.eu: *An open-access and collaborative isotope database for bioarchaeological samples from the Graeco-Roman world and its margins*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 19, 1050-1055.

Walczer A. 2016, *Pettini in osso altomedievali in Italia settentrionale studio tecniche e statistico*, Tesi Magistrale, Università degli Studi di Padova.

Waldron T. 2009, *Paleopathology*, Cambridge, Cambridge University Press.

ABSTRACT

This paper presents the database and the open access georeferenced online map of the CAMIS project of the University of Padua, which aims to catalogue and analyse late antique and medieval funerary contexts as a response to the scattered documentation and partial publications on this subject. After describing the structure and software used for the database and the online map, some numbers are presented relating to the more than thousand sites already entered in the system and the kind of results that can be advanced, underlining some of the problems encountered. The paper calls for the optimization of data management to foster open archaeological research, highlighting the need for a unified approach to study complex historical phenomena. The CAMIS database, incorporating standardized vocabularies for systematic and statistical analysis, is vital for unlocking new research avenues and addressing gaps in current knowledge. The project exemplifies the power of open science, promoting collaboration and enriching archaeological research with a rapidly growing, vast dataset.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 251-268
doi 10.19282/ac.35.1.2024.17

FROM THE RIVER TO THE SEA OF THE SETTING SUN: ROUTE NETWORKS BETWEEN THE EUPHRATES AND THE MEDITERRANEAN DURING THE IRON AGE (1200-600 BCE)

1. Introduction

This article aims at analysing evidence of ancient roads connecting the Mediterranean to the Euphrates during the Iron Age. Evidence of goods circulation between the Euphrates and the Mediterranean and between the Euphrates, northern Syria and the western world are attested since prehistory (Broodbank 2015). These contacts intensified during the Iron Age, probably thanks to the expansion of the Neo-Assyrian empire, and to the intense activities of merchants, which facilitated the circulation of goods and people. Furthermore, the strategic position of northern Syria provided easy access to raw materials such as metals and wood, which were lacking in the Mesopotamian area.

The study of ancient roads has been important in understanding political, social, and cultural transformations of ancient trade networks and economies. In the Near East, landscape-oriented research has immensely contributed to the analysis of pre-modern road systems. However, while for Roman and medieval periods this method produced a dataset that implemented the rich corpus of historical information (Turchetto 2018; Matessi 2021), research on pre-Roman connectivity networks strongly relies on the archaeological record, mostly represented by data from surveys. The use of these data allows a long term and chronologically unprecise reconstruction of ancient itineraries. Therefore, gaps in the data are often filled by the transposition of later itineraries (Wilkinson 2014). This transposition risks to reiterate the idea that road networks are static, stable over a very long period. While this approach has the benefit to help in reconstructing road maps based on specific itineraries, it has been proven difficult when dealing with mapping the movements of people and material over these routes. Few attempts have been made to contextualise dynamic of changes in route networks over well-defined chronological spans by considering landscape analysis, textual and material sources (Palmisano 2018; Matessi 2021).

The methodology employed to analyse the connecting networks and the route landscapes from the Mediterranean to the Euphrates will apply the use of multiple datasets, including texts, survey data, and the trajectories of ancient roads. Very few texts dated to the Iron Age refer to connecting systems in use at the time. Some Assyrian texts describe the military campaigns the Assyrian kings were promoting to expand their empire (Yamada 2000; Dalley 2017). These texts do not provide precise data on the itineraries

followed by the Assyrian army and, while it is possible to establish the main road trajectories, it is difficult to assess the precise route undertaken.

To reconstruct the main road system employed to connect the Mediterranean to the Euphrates during the Iron Age, this research will take into account different datasets: 1) the analysis of data from surveys conducted in the Orontes, the Tabqa and Sajur and in the upper Euphrates areas; 2) geographic data on potential connectivity systems; 3) geographic information drawn from Roman and medieval itineraries and from 18th and 19th century CE travel accounts. This article will take into account three itineraries: 1) the route connecting the Syrian coast to the Orontes and the Amuq valleys; 2) the route connecting the Euphrates valley to the Orontes valley; 3) the route connecting Aleppo to the Orontes and the Amuq valley.

2. Historical and geographical setting

Northern Syria is characterised by fertile valleys, rough mountains and easy crossings, which facilitated the connection of Mesopotamia with the Mediterranean (Fig. 1). The Iron Age (1200-600 BCE) has been often defined as an age of connectivity (Osborne, Hall 2022). In the 10th and 9th centuries BCE the

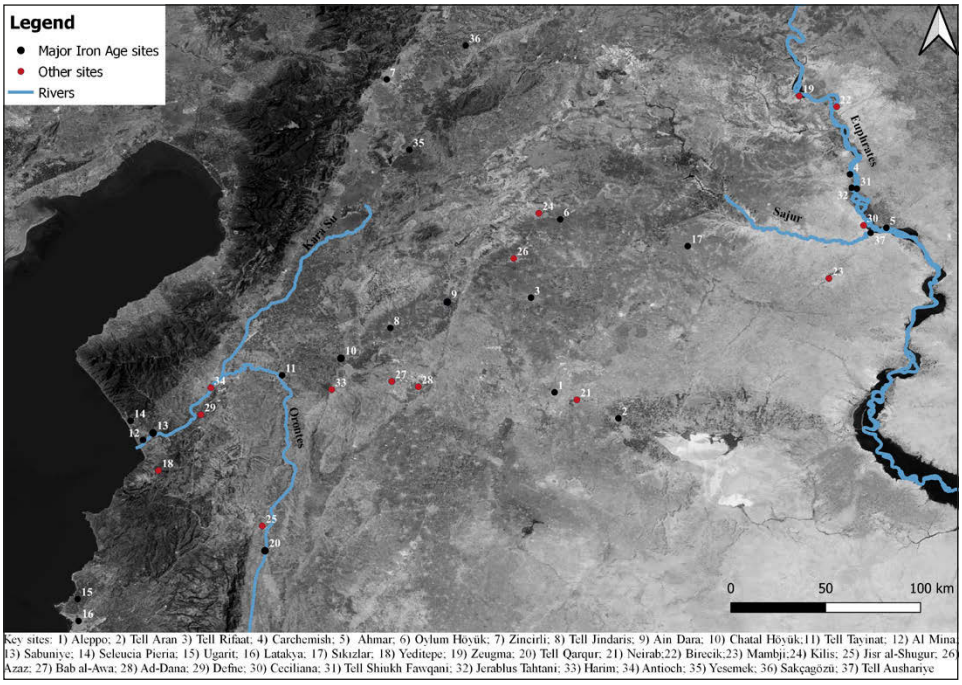


Fig. 1 – General map of the target area.

Neo-Assyrian empire began to expand outside northern Mesopotamia, while the Syro-Anatolian kingdoms were part of a dynamic city-state system (Osborne 2020). By the 8th century BCE, the Neo-Assyrian empire had conquered almost the entirety of the ancient Near East and it was during this period that the Assyrian capital cities yielded the majority of Syro-Anatolian objects, which have been obtained as tribute or booty. At the same time, objects manufactured in the Near East has been found in sites located in the eastern and central Mediterranean. However, the archaeological evidence for connectivity is reflected by a lack of contemporary documentation. There are no excavated archives of tablets detailing mechanism of trade. While Assyrian royal inscriptions mention Cyprus or the Aegean, they do not analyse economic relations. A way to start and explore the connectiveness existing between the Mediterranean and Mesopotamia is to analyse the possible route networks connecting them.

Northern Syria was famous throughout all the Near East to produce ivory carvings and bronze metalworks (Winter 2010). Evidence coming from Assyrian texts confirms that metal vessels were largely available in the North Syrian states, and they were highly requested as tribute by the Assyrian kings. Literary documentation confirms that at least three states belonging to the North Syrian core, Patina, Carchemish and Sam'al, had access to a quantity of



Fig. 2 – Metal and ivory objects found at Nimrud (© The Trustees of the British Museum).

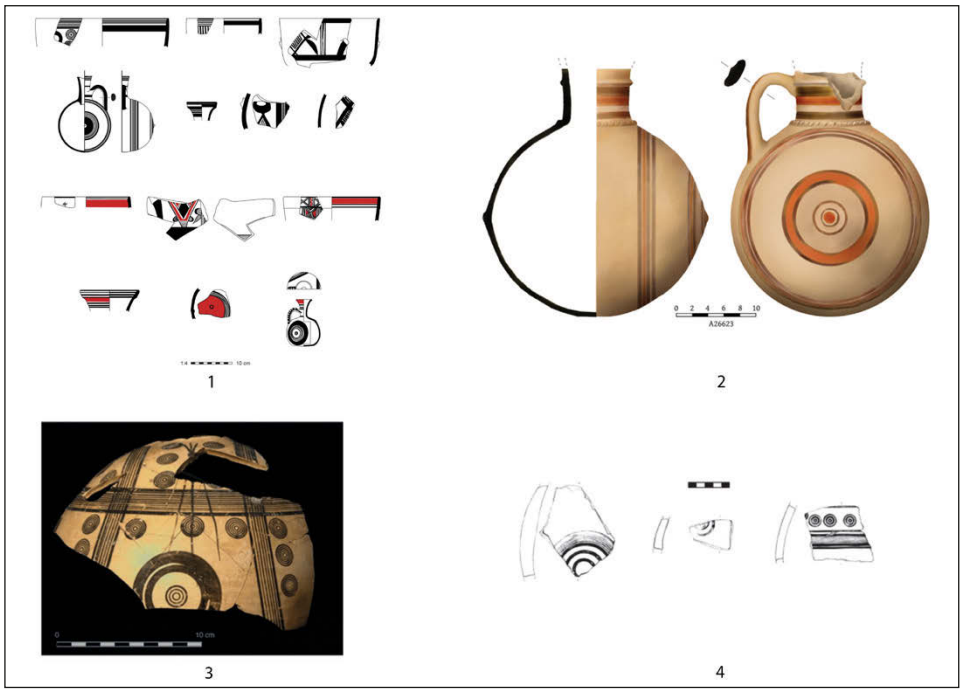


Fig. 3 – Cypriot pottery found at 1) Tell Tayinat (after Karacic, Osborne 2017); 2) Chatal Hoyuk (after Pucci 2019); 3) Tell Ahmar (after Bunnens 2022); 4) Arslantepe (after Manuelli 2010).

raw material to support bronze production (Luckenbill 1926). Although no trace elements analysis has been successfully performed on metalworks from North Syria and Mesopotamia so far, it is undeniable, at least from textual and stylistic evidence, that northern Syria was a production centre for highly valued metal objects (Fig. 2). Similarly, objects produced in the eastern and central Mediterranean world were sought after and circulated in the northern Levant. Cypriot and Euboean pottery have been found as far as across the Euphrates in the sites of Arslantepe (Manuelli 2010) and Carchemish (Woolley 1939). The circulation of such objects would have been supported by a wide system of route networks connecting the core of the Assyrian empire with the seaports located on the Mediterranean coast (Figs. 3, 4).

3. Methodology

Research on ancient route networks received a boost thanks to the development and implementation of Geographic Information System (GIS) packages. GIS provides a set of tools to model connectivity based on a digital



Fig. 4 – Euboean pottery found at 1) Tell Tayinat (after Osborne *et al.* 2019); 2) Chatal Hoyuk (after Pucci 2019); 3) Al Mina (after Vacek 2012).

map data. Least-Cost Pathway (LCP) is a well-known computational method for tracing routes based on topography and landscape features (Bevan 2010; Palmisano 2018). One limitation of this approach is that it can predict only one path, although several paths may exist between two points, thus ignoring the several possibilities of movement that may have existed, imposed by cultural or behavioural choices. One way to avoid generating only one path is to produce a Least-Cost Corridor (LCC) based on friction maps, to create a more comprehensive picture of possible transit areas (Palmisano 2018). The final LCC models represent a wide range of possibilities of movement rather than a single LCP. For this research it has been decided to employ both methods, to provide an extensive picture of connectivity networks in the area.

Data have been processed by using the open source software GRASS GIS 7.8v, the slope friction map has been created through the module r.slope. aspect on a digital elevation module (DEM) generated by the NASA's Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), which provides a coverage with a spatial resolution at 30 m. The cost surface upon which the LCC is based upon

has been generated by using the GRASS module r.walk.points. The LCP has been calculated by using the DEM generated by the NASA and modelled by using the GIS' least-cost path analysis. The LCCs and the LCPs have been computed based on key Iron Age sites situated in the a) Orontes delta, b) northern Syria, c) Islahiye valley, d) the Euphrates and e) on the Syrian coast:

a) Al Mina
b) Tell Tayinat; Aleppo; Jindaris; Tell Rifaat
c) Oylum Höyük; Zincirli
d) Tell Ahmar; Carchemish
e) Latakya plain

All these sites and regions were main cities or key nodes within networks of interaction during the Iron Age. Al Mina was a seaport, and, according to different studies, it was one of the main ports of entries of goods circulating between the Mediterranean and the Near East (Pamir 2013; Radner, Vacek 2020). Tell Tayinat is located in the Amuq valley, and it has been identified as Kunulua, the capital of the kingdom of Patina, and later as the regional capital of the Assyrian province of Kullania (Harrison 2016). Zincirli was the capital of the kingdom of Sam'al, which became part of the Assyrian empire (Hermann, Schloen 2016). Tell Ahmar/Til Barsip/Kar-Shalmeneser (Bunnens 2022) was one of the crossing points across the Euphrates. Carchemish was a capital city during the Iron Age. Its relevance in the Late Bronze and Iron Ages suggests that it was used as a crossing point, however it likely lost its importance during the Roman, medieval and Islamic period (Marchetti 2014). Tell Rifaat is in the western Afrin valley and has been identified by some scholars as the ancient city of Arpad, capital of the kingdom of Bit-Agusi (Seton Williams 1961). Tell Jindaris is in the Afrin valley. Remains dated to the Iron Age II-III (9th-6th century BC) consist of scarcely preserved domestic buildings (Weiss 1997, 118-119; Sürenhagen 1999).

Ain Dara, located in the Afrin, was a religious centre during the Iron Age (Abu Assaf 1990; Stone, Zimansky 1999). Oylum Höyük is located in the Kilis valley, and it has an uninterrupted stratigraphic sequence dated from the Late Chalcolithic period to the Roman times (Özgen, Helwing 2003). Aleppo, ancient Halab, dominates the plain in the northwest of Syria, on the eastern side of the Orontes river. During the pre-Hellenistic period, Aleppo was an important religious centre (Kohlmeyer 2009). The plain of Latakya was included in the Neo-Assyrian province of Simirra, likely created by Tiglat-Pileser III (Yamada 2005, 67). This province included several cities and trading posts located on the Mediterranean coast and its northern border was the Jebel el-Aqra (Radner, Vacek 2022). Perhaps the most important site during the Iron Age in this area was Ras ibn Hani. Excavations here yielded evidence of contacts with Cyprus and the Mediterranean area (Bordreuil 1981).

4. Route analysis and results

Most research has been based on the identification on ancient road networks between south-eastern Turkey, northern Syria and Iraq. A typical example of this research is the map of Mesopotamia proposed by H. Kiepert (1903), which represents an overlay on Ottoman Turkey of the road networks produced by the *Tabula Peutingeriana* (Fig. 5). Furthermore, research on road networks between Turkey, Syria and Iraq is summarised by the work of A. Comfort (2009, 2023), which proposed a gazetteer of cities and elements of the road networks preserved in this area. The analysis of ancient texts and itineraries and the evidence collected from modern travellers, maps, the location of roman bridges and satellite imagery pointed to the existence of several main roads connecting the Mediterranean to northern Syria and the Euphrates valley and then continuing towards Mesopotamia.

4.1 *Analysis of survey data*

Surveys conducted in the Amuq valley, the Aleppo region and the Upper Euphrates identified, through the analysis of a series of sites alignments, evidence

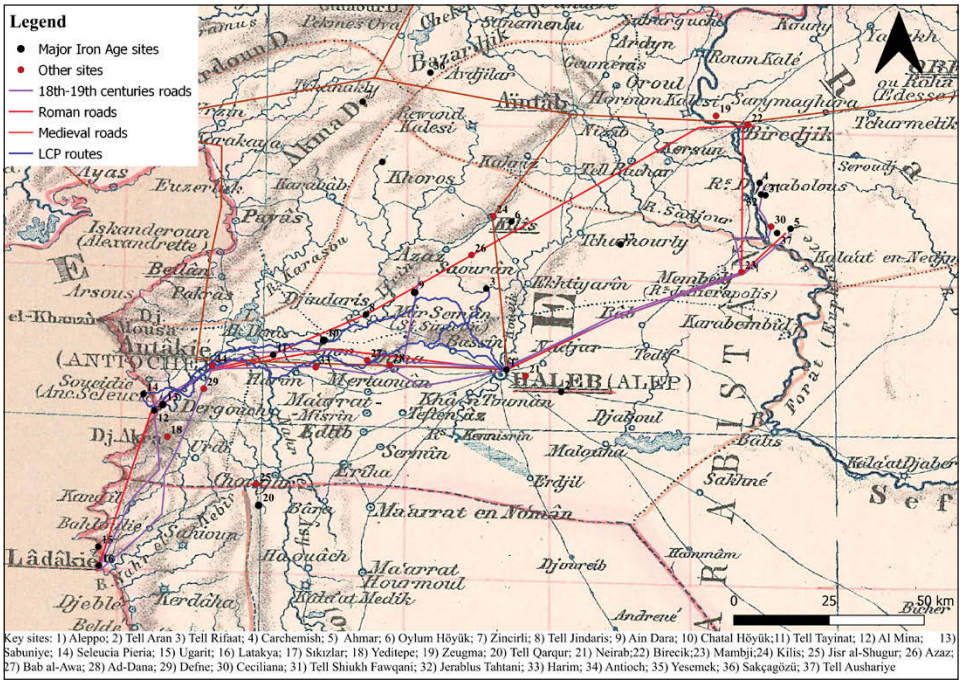


Fig. 5 – Map drawn by Kiepert (1903) with Roman, medieval and modern roads and LCPs results.

from texts, and physical traces of routes, the alignment of sites along presumed routes connecting Carchemish and the Euphrates with the rest of the Assyrian world and the Mediterranean (Wilkinson, Wilkinson 2016) and a series of roads leading to Aleppo (Del Fabbro 2012). Research conducted by analysing survey data from the Amuq valley (Braidwood 1937) and from various locations in Syria (Maxwell Hyslop *et al.* 1942; Tchalenko 1953-1958; de Maigret 1978; Matthers 1981; Schwartz *et al.* 2000; Del Fabbro 2012) identified a series of roads connecting Aleppo to the Amuq valley and to Mesopotamia. Two roads are evident: one departing from Aleppo to Carchemish via Tell Ahmar, and a second road connecting Aleppo to the Amuq valley via the valleys located at the fringe of the limestone massif. The road connecting Aleppo to Carchemish via Tell Ahmar may be the same road identified by the analysis of data coming from the survey conducted by the Land of Carchemish Project, departing from Carchemish, passing by the quarry at Sıkızlar, through Al Qana and directed towards Tell Rifaat and onwards towards the Amuq valley (Wilkinson, Wilkinson 2016, 224). The road connecting Aleppo to the Amuq valley was likely passing close to the sites of Ain Dara and Tell Jindaris, following the Afrin river to enter the Amuq valley.

In addition to this, the analysis of settlement patterns from survey data collected between the Mediterranean and the Euphrates (Amuq valley, Aleppo region, Upper Euphrates valley, Sajur valley) highlighted a significant growth in the number of occupied sites during the Iron Age (Morandi Bonacossi 2000). In parallel, with the exception of the main cities, the average site size is smaller than the one recorded for the previous periods. This means that the archaeological landscape was mainly characterised by rural villages dispersed in the countryside and dependent on the provincial capital or by fortresses or stronghold protecting routes or river crossings.

4.2 *Assyrian texts*

Textual evidence mentioning itineraries and dated to the Iron Age are the annals recording the military campaigns of Ashurnarsirpal II (883-859 BCE), Shalmeneser III (858-824 BCE) and Sargon II (721-205 BCE). Texts dated to the ninth and tenth campaigns of Ashurnarsipal II depict a general overview of the main roads system in Syria. Although the information is only marginally mentioned, it is possible to reconstruct two axes followed by the Assyrian army: one road connecting Carchemish to Tell Tayinat and following the piedmont road beyond the Euphrates (Churchill Semple 1919; Liverani 1992, 143) and the second one following a N-S axis linking Aleppo to Hama to Damascus (Liverani 1992, 143). The itinerary connecting Carchemish to Tell Tayinat was passing through the Afrin valley to reach Tell Tayinat and then continuing S by passing through the Jebel Quseir to cross the Orontes at Jisr esh-Shugur, located near the site of Tell Qarqur (Dornermann, Casana

2008). The presence of Neo-Assyrian reliefs (Taşyürek 1975; Harmansah 2014) in the Yayladağ mountains and records of a road connecting Jisr esh-Shugur with the mountains surrounding the Amuq valley, suggest that this itinerary has been used by the Assyrians.

Shalmeneser III records a similar route. He crossed the Euphrates at Tell Ahmar and passed through Tell Shiukh Fawqani. He then moved to Zincirli, touching the city of Lutibu, identified with Sakçagözü or with Yesemek (Kraeling 1918). The king reached the source of the Kara Su river, arrived in the Amuq valley and crossed the Orontes river to reach the Mediterranean (Yamada 2000, 100). The precise location of the seacoast reached by Shalmeneser III is not mentioned. However, he probably reached the coast either at the base of the Jebel el-Aqra, or somewhere in the plain of Latakya, probably using the road passing through the Yayladağ and Tell Qarqur (Yamada 2000, 101). Shalmeneser III reached Carchemish from Tell Ahmar by following the Sajur river. In the sixth-year campaign, he reached Aleppo from Tell Ahmar, passing through the territory of Bit Agusi (either through Tell Rifaat or Tell Arane) and he then proceeded towards Hama following the river Qoqueiq to the S and then westwards to reach the Orontes river close to Jisr esh-Shughur. From here he followed the road towards Latakya to reach the Mediterranean.

Sargon II mentions two itineraries: a southern route connecting the Euphrates to Hama following the Orontes river by approaching Tell Qarqur and Tell Acharneh and a northern route passing from Til Barsip to Neirab to Tell Tayinat (Melville 2016, 69). The most mentioned crossing point by the Assyrian annals is the one from Tell Ahmar to Tell Aushrariye. Additional crossing points mentioned by Assyrian kings include Tell Shiukh Fawqani (Fales 2005; Wilkinon, Wilkinson 2016, 218).

4.3 *Travellers' accounts*

The area was crossed by a number of routes, connecting the Mediterranean to Mesopotamia and beyond, recorded at least from the Roman period to modern times. The *Tabula Peutingeriana* mentions many roads connecting the modern region of Hatay, through Aleppo, to the Euphrates and the same road was likely part of the caravan routes connecting Antioch to Mesopotamia and eastern Asia during the medieval periods. The analysis of stations and routes mentioned in the *Tabula Peutingeriana*, of medieval caravanserai, and of medieval and modern travel accounts allowed to identify two routes connecting the Mediterranean to the Euphrates. These are starting from the Orontes Delta, passing through Antioch and diverging, going through the Afrin valley to Aleppo and through the Islahiye valley towards Zeugma. From Aleppo, the road would have followed the river Sajur, towards Mambji, with a crossing on the Euphrates at Ceciliana. Previous research conducted by C. Tavernari (2009) collected and georeferenced the caravanserai located in medieval Syria.

The analysis of these data allowed to reconstruct part of the road linking the Amuq valley to the Euphrates and passing through Aleppo and Mambji.

During the medieval period, travel across western Asia was facilitated by the presence of caravanserai distributed on the roads between major cities. While there are several research projects based on the study of caravanserai, the publication of results and datasets, with few exceptions, is limited (Tavernari 2009; Wilkinson 2014, 69-70). T.M. Ciolek's OWTRAD project (http://www.ciolek.com/owtrad.html) published a database with over 700 georeferenced caravanserais and routes nodes. Although this database is a work in progress, it is very useful in identifying itineraries during the medieval and Ottoman periods.

The analysis of ancient travel accounts (Pococke 1745; Garovaglio 1896; Baedeker 1898, 1906; Uboldi 2010) allowed the reconstruction of the roads connecting Aleppo to the Mediterranean and to the Euphrates used by travellers during the 18th and 19th century CE. While information on the location of medieval caravanserai is limited, the travel accounts are often accompanied by a brief description of the villages and sites located along the routes. These accounts mention four sets of routes connecting the Mediterranean to the Euphrates, sometimes joining different itineraries: one connecting Aleppo to Antioch and on towards the Mediterranean, another one connecting Aleppo to Urfa, one connecting Latakya to Aleppo, and Latakya to Antioch.

The analysis of ancient caravanserai roads and of modern itineraries allowed to notice that these networks were mostly following the itineraries recorded in the *Tabula Peutingeriana* and the *Itinerarium Antonini*, with some variations probably due to the abandonment of ancient sites and the settlement of new cities and villages. Travellers accounts mention two roads connecting Aleppo with the Euphrates: one passing close to Mambji with a crossing point at Tell Ahmar; the second one follows Mambji and reaches the Sajur river towards the city of Gaziantep to cross the Euphrates at Birecik. The preferred route to reach the Amuq valley from Aleppo passed through the valleys of Sarmada and Harim. Travellers accounts dated to the 19th century CE (Baedeker 1906) mention the road from Latakya to Antakya. This road reached the pass at Yayladağ and moved towards the eastern slope of the Jebel el-Aqra through Yeditepe. From here, the road reached the Orontes Delta at Seleucia and proceeded through Dephne towards Antakya. Roman sources cite this same route as an itinerary to reach Seleucia from Laodicea (De Giorgi 2016, 147-148). There are at least two options mentioned in 18th and 19th centuries travellers' logs (Pococke 1745; Baedeker 1898) to go from Aleppo to Carchemish: one road passed through Azaaz and Kilis and proceeded towards Gaziantep; the second road passed through Mambji and proceeded N towards Jerablus and Carchemish. The first road passed close to Tell Rifaat and Oylum Höyük before reaching Carchemish. The second road passed close to the quarry site of Sıkızlar, before reaching the Sajur river and proceeding N towards Jerablus and Carchemish.

5. LCC and LCP analysis and discussion

Least-cost analysis has been widely used in archaeology to model movement across past landscapes. Despite its widely use, this analysis has been often criticized due to the lack of validation of the modelling results. This is partly due to the lack of sufficiently detailed archaeological data to assess the realism of the model outcomes (Seifried, Gardner 2019). In order to get around some of the limitations of least-cost analysis, this research decided to use two different methods to model movements: LCPs and LCCs.

The basis for LCP algorithms is accumulated cost surfaces that draw from a friction map to compute the cost of movement from and to the selected points. However, these algorithms do not consider the human factor and the complexity of human movement that does not necessarily follows one path. In addition to this, the algorithm does not allow for cultural factors involved in the choice for a path, such as the presence of settlements and political boundaries among others. LCC provides a more comprehensive picture of transit areas (Matessi 2021; Palmisano 2018). The algorithm indicates the area of the least common costs between two points by combining the cumulative cost surfaces obtained for a source and a destination. The results of the LCC are a raster grid representing a wider range of possibilities for movement if compared to the single least-cost path. The main aim of this research is to provide a preliminary pattern of expected movement connectivity, to be tested against archaeological and historical data. For this reason, only friction costs determined by the topography, i.e. slope, have been considered as a base for the LCPs and LCCs analyses.

While previous research made use of satellite imagery (Wilkinson, Wilkinson 2016), least-cost analysis and archaeological data (Del Fabbro 2012; Matessi 2021) to identify route networks, this article aims at assessing the realism of the modelling outcomes provided by the LCPs and LCCs analysis. Therefore, the results have been compared to the location of settlements and to the presence of pre-modern routes. In particular, the analysis focused on comparing the LCPs and LCCs results against a) the location of settlements dated to the Iron Age extrapolated from published excavations and surveys conducted in northern Syria and southern Turkey; b) the routes used by the Assyrian army to move between the Assyrian capital, located in northern Mesopotamia, and the Mediterranean sea; c) Roman itineraries recorded in the *Tabula Peutingeriana*; d) the location of caravanserai used by travellers during medieval and modern periods; e) the routes used by 17th and 18th centuries travellers, with mentions of the travel time between one place and another by horse.

The roads extracted by these datasets have been compared to the analysis of the LCP and LCC. The cumulative results of the computational analysis sometimes show a different connectivity network from the one recorded on Roman and modern itineraries. The LCP model connecting Aleppo to Tell

Tayinat and Al Mina passes through Bab el-Awa, while accounts of travellers visiting the area during the 18th and 19th century CE were using the road passing through Harim.

1) The results of the LCC connecting the Syrian coast to the Orontes Delta and the Amuq valley follow the course of the Orontes river, crossing it at Jisr esh-Shugur and following one of its many tributaries to cross the Yayladağ and reach the Amuq valley. While the 18th and 19th centuries travellers' guides suggest a different route to reach the Orontes Delta and the Amuq valley, the analysis of Ashurbanipal II itineraries follows the same route suggested by the LCC analysis (Fig. 6).
2) The LCP analysis shows two roads connecting the Mediterranean to the Euphrates: one passed through the Amuq valley and Aleppo to reach the Sajur river and the Euphrates (Fig. 6); the other passed through the Islahiye valley passing by Zincirli and Sakçegözü to reach Birecik or Zeugma (Fig. 7).
3) The cumulative LCC models identify a series of corridors leading from Aleppo to the Mediterranean. Several passages connect Aleppo to the Amuq valley and the Orontes Delta. Nowadays the main axis of communication is represented by the Aleppo-Antakya Road, roughly copying the routes

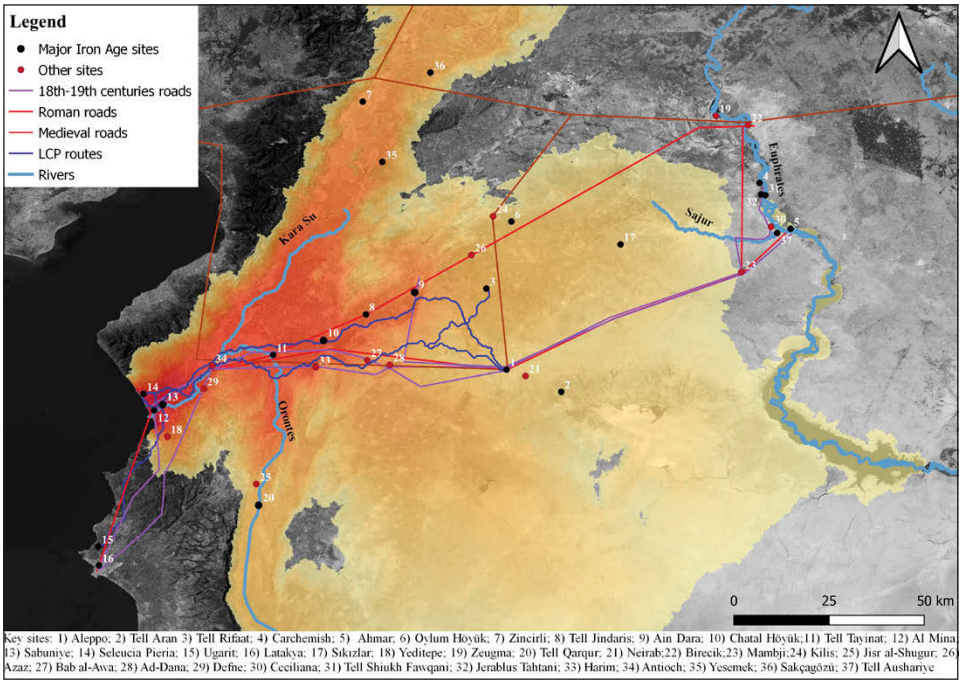


Fig. 6 – LCP and LCC analysis of the Syrian coast and the Orontes Delta.

predicted by the LCP model. However, the LCC splits, suggesting a different corridor between Aleppo and the Mediterranean. The second corridor is passing through the Ad-Dana and Harim valleys to enter the Amuq valley and then continuing towards the Mediterranean (Fig. 8).

The comparison between historical data and LCC analysis shows some discrepancies. Although there is a risk in assuming that major routes remained the same through long periods of time, the result of the computerised method shows the need to contextualise the conclusions obtained by employing the two different methods. For example, while it is true that Assyrian and Roman itineraries and the LCP from Aleppo to the Amuq valley passed through Bab el-Awa, following the modern road, the geographical layout of the landscape exposed this route to robbers, thus making preferable to use the route passing through Harim. In this case, the analysis of archaeological data and of ancient itineraries helps us contextualising the route. The location of archaeological sites dated to the Iron Age and the analysis of Roman remains and itineraries imply that the route through Bab el-Awa was in use at least until the Roman period and it probably fell in disuse sometime between the medieval period and modern times, as travellers' guides discourage its use during the 19th century CE

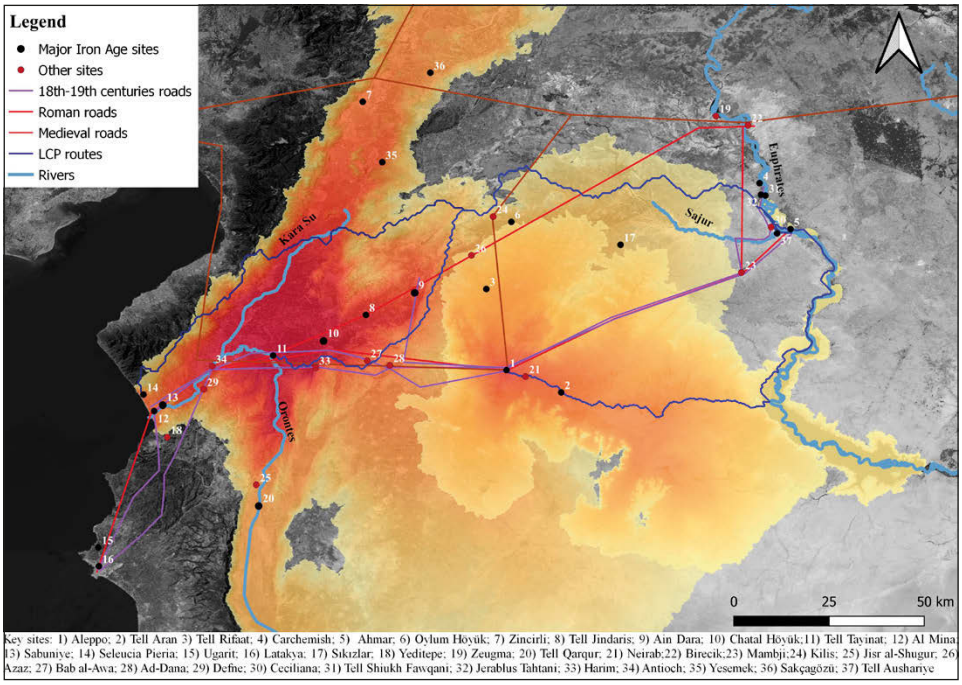


Fig. 7 – LCP and LCC analysis of the Mediterranean and the Euphrates.

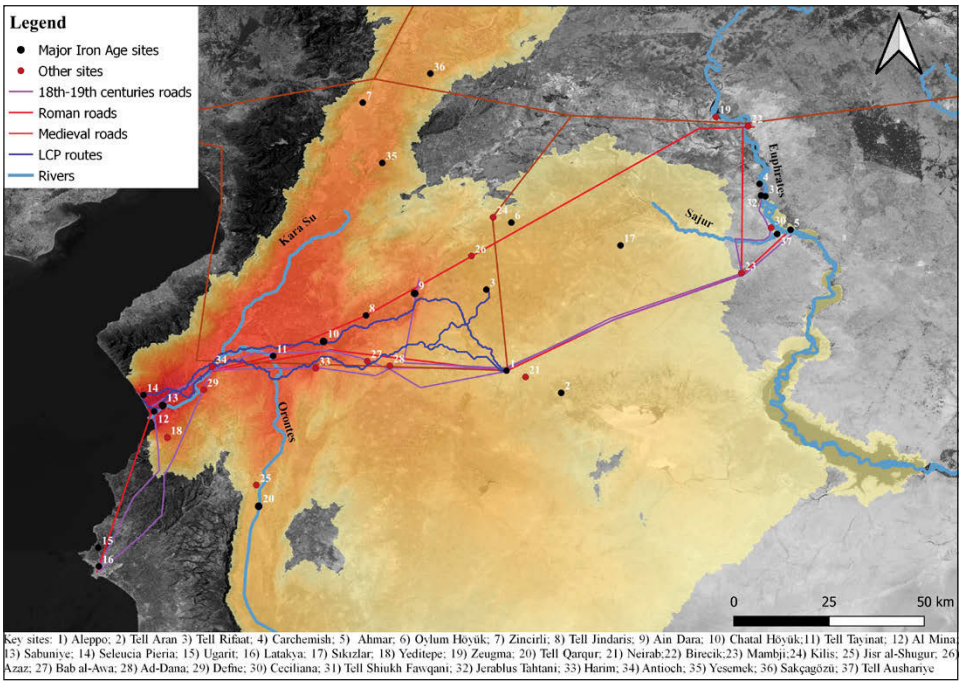


Fig. 8 – LCP and LCC analysis the routes between Aleppo and the Mediterranean.

(Baedeker 1906). However, the best way to reach the Euphrates from Aleppo according to the LCC analysis is to go southward to Raqqa and then to follow the river northwards to cross it at the confluence between the Sajur river and the Euphrates (Fig. 8), although the results of the LCP and evidence coming from Assyrian and modern texts, and from the analysis of archaeological data from the area, suggest that the route used to connect Aleppo to the Euphrates followed the Sajur river to the confluence with the Euphrates river.

6. Conclusion

Computational approaches to the study of past movement and of its related patterns have proven essential in the analysis of any archaeological context. The aim of this study was the reconstruction of ancient route networks located in northern Syria and connecting the Mediterranean to the Euphrates by combining historical and archaeological sources with modern computer aided LCC analysis. While direct evidence of individual categories of archaeological sources are rarely dense enough to be able to recover a detailed movement or to reconstruct route networks, there are different methods that can be used to

help reconstructing ancient routes: the traditional method assumes that roads remained the same through long periods of time and that data from better documented periods can be projected on the period of interest. The computational method is based on the principle of landscape continuity, in which routes are modelled on cost-surface GIS techniques (LCC) in association with relevant settlement data. It is important to remark that the proposed approach is not aimed at providing a significant new knowledge on the routes under analysis. It must be also considered that the approach used in this research is at a very general scale and therefore highlighting the main route networks and missing out on the itineraries connecting smaller settlements.

The combination of different data, integrating historical and archaeological approaches to route landscapes offers a better understanding of ancient route networks. Within this framework, the emergence of digital methods has changed the way we conduct archaeological research, sometimes improving or offering a different point of view to the research (Katsianis *et al.* 2022). However, the results of the study on ancient routes performed in this article highlighted the necessity to contextualise the results obtained with the computational method and to interpret them by using archaeological data. Although it has been argued that relying on the transposition of better-known routes in past landscapes risks to obliterate the dynamism of ancient networks, the use of an integrated approach, taking into account data coming from ancient routes, location of Iron Age sites, Assyrian texts, 18th and 19th century CE travellers' log and LCC analysis offers a critical interpretation of the Iron Age route network connecting the Mediterranean to the Euphrates.

Mariacarmela Montesanto
Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo
Università degli Studi di Firenze
mariacarmela.montesanto@unifi.it

REFERENCES

Abou Assaf A. 1990, *Der Tempel von ʿAin Dārā*, Mainz am Rhein, Philip von Zabern.

Baedeker K. 1898, *Palestine and Syria: Handbook for Travellers* (3rd edition), London, Dulau and Co.

Baedeker K. 1906, *Palestine and Syria: Handbook for Travellers* (4th edition), London, Dulau and Co.

Bevan A.H. 2010, *Political geography and palatial Crete*, «Journal of Mediterranean Archaeology», 23, 1, 27-54 (https://doi.org/10.1558/jmea.v23i1.27).

Bordreuil P. 1981, *Rapport préliminaire sur la quatrième campagne de fouilles (1978) à Ibn Hani (Syrie)*, «Syria», 58, 3-4, 215-299 (https://doi.org/10.3406/syria.1981.6736).

Braidwood R.J. 1937, *Mounds in the Plains of Antioch: An Archaeological Survey*, Chicago, Oriental Institute Publications.

Broodbank C. 2015, *The Making of the Middle Sea: A History of the Mediterranean from the Beginning to the Emergence of the Classical World*, London, Thames and Hudson.

Bunnens G. 2022, *Tell Ahmar on the Syrian Euphrates: From Chalcolithic Village to Assyrian Provincial Capital*, Oxford, Oxbow Books.

Churchill Semple E. 1919, *The ancient piedmont route of northern Mesopotamia*, «Geographical Review», 8, 3, 153-179.

Comfort A. 2009, *Roads on the Frontier between Rome and Persia*, PhD Thesis, University of Exeter.

Comfort A. 2023, *The Roman Frontier with Persia in North-Eastern Mesopotamia. Fortresses and Roads around Singara*, Oxford, Archaeopress.

Dalley S. 2017, *Assyrian warfare*, in E. Frahm (ed.), *A Companion to Assyria*, Hoboken, NJ, John Wiley and Sons, 522-533.

De Giorgi A. 2016, *Ancient Antioch. From the Seleucid Era to the Islamic Conquest*, Cambridge, Cambridge University Press.

Del Fabbro R. 2012, *The Roads from and to Aleppo: Some historical-geographical considerations in light of new archaeological data*, in G.B. Lanfranchi, D. Morandi Bonacossi, C. Pappi, S. Ponchia (eds.), *Leggo! Studies Presented to Frederick Mario Fales on the Occasion of His 65th Birthday*, Wiesbaden, Harrasowitz Verlag, 201-222.

Dornermann R.H., Casana J. 2008, *The 2007 season of excavations at Tell Qarqur*, «Studia Orontica», 1, 122-141.

Fales F.M. (ed.) 2005, *Tell Shiukh Fawqani. 1994-1998*, History of the Ancient Near East/ Monographs, 6, 1, Padova, Sargon.

Garovaglio A. 1896, *Viaggio nella Siria Centrale e nella Mesopotamia. Lettere famigliari*, Milano, Premiato Stabilimento Tipografico P.B. Bellini.

Harmansah Ö. 2014, *Stone worlds: Technologies of rock carving and place-making in Anatolian landscapes*, in A.B. Knapp, P. Van Dommelen (eds.), *The Cambridge Prehistory of the Bronze and Iron Age Mediterranean*, Cambridge, Cambridge University Press, 379-393.

Harrison T.P. 2016, *The Neo-Assyrian provincial administration at Tayinat (Ancient Kunalia)*, in J. Macginnis, D. Wicke, T. Greenfield (eds.), *The Provincial Archaeology of the Assyrian Empire*, Cambridge, McDonald Institute for Archaeological Research, 253-264.

Herrmann V.R., Schloen D.J. 2016, *Assyrian impact on Samʾal: The view from Zincirli*, in J. Macginnis, D. Wicke, T. Greenfield (eds.), *The Provincial Archaeology of the Assyrian Empire*, Cambridge, McDonald Institute for Archaeological Research, 265-274.

Karacic S., Osborne J.F. 2017, *Eastern Mediterranean economic exchange during the Iron age: Portable X-Ray fluorescence and neutron activation analysis of Cypriot-Style pottery in the Amuq valley, Turkey*, «Plos One» (https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166399).

Katsianis M., Kalayci T., Sarris A. 2022, *Bridging digital approaches and legacy in archaeology*, «Digital», 2, 4, 538-545 (https://doi.org/10.3390/digital2040029).

Kiepert H. 1903, *Mesopotamia. Asia citerior*, Berlin, Geographische Verlagshandlung Dietrich Reimer (Ernst Vohsen).

Kohlmeyer K. 2009, *The temple of the Storm God in Aleppo during the Late Bronze and Early Iron ages*, «Near Eastern Archaeology», 72, 4, 190-202 (https://doi.org/10.1086/NEA25754027).

Kraeling E.G.H. 1918, *Aram and Israel or the Aramaeans in Syria and Mesopotamia*, New York, Columbia University Press.

Liverani M. 1992, *Studies on the Annals of Ashurnasirpal II. 2. Topographical Analysis*, Roma, Università degli Studi La Sapienza.

Luckenbill D.D. 1926, *Ancient Records of Assyria and Babylonia*, 2, Chicago, Chicago University Press.

de Maigret A. 1978, *Fluttuazioni territoriali e caratteristiche tipologiche degli insediamenti nella regione del Matab (Siria). Nota preliminare*, in S. Moscati, P. Meriggi (eds.), *Atti del 1° convegno italiano sul Vicino Oriente antico (Roma 1976)*, Roma, Centro per le Antichità e la Storia dell'Arte del Vicino Oriente, 83-94.

Manuelli F. 2010, *Foreign influences and local tradition in the Iron Age pottery production from Arslantepe. Evidence from the new excavations of the Neo-Hittite levels*, «Mesopotamia», 45, 71-84.

Marchetti N. 2014, *Karkemish. An Ancient Capital on the Euphrates*, Bologna, Ante Quem.

Matessi A. 2021, *The ways of an empire: Continuity and change of route landscapes across the Taurus during the Hittite Period (ca. 1650-1200 BCE)*, «Journal of Anthropological Archaeology», 62 (https://doi.org/10.1016/j.jaa.2021.101293).

Matthers J. 1981, *The River Qoueiq, Northern Syria, and its Catchment*, BAR International Series 98, Oxford, BAR Publishing.

Maxwell Hyslop R., Du Plat Taylor J., Seton Williams M.V., D'arcy Waechter J. 1942, *An archaeological survey of the plain of Jabbul, 1939*, «Palestine Exploration Quarterly», 74, 8-40 (https://doi.org/10.1179/peq.1942.74.1.8).

Melville S.C. 2016, *The Campaigns of Sargon II, King of Assyria, 721-705 B.C.*, Norman, University of Oklahoma Press.

Morandi Bonacossi D. 2000, *The Syrian Jezireh in the Late Assyrian period. A view from the countryside*, in G. Bunnens (ed.), *Essays on Syria in the Iron Age*, Ancient Near Eastern studies, Supplement 7, Louvain, Peeters, 349-396.

Osborne J.F. 2020, *The Syro-Anatolian City-States: an Iron Age Culture*, Oxford, Oxford University Press.

Osborne J.F., Hall J.M. 2022, *Interregional interaction in the Eastern Mediterranean during the Iron Age*, in J.M. Hall, J.F. Osborne (eds.), *The Connected Iron Age: Interregional Networks in the Eastern Mediterranean, 900-600 BCE*, Chicago, Chicago University Press, 1-26.

Osborne J.F., Harrison T.P., Batiuk S., Welton L., Dessel J.P., Denel E., Demirci Ö. 2019, *Urban built environments in early 1st Millennium b.c.e. Syro-Anatolia: Results of the Tayinat archaeological project, 2004-2016*, «BASOR», 382, 261-312 (https://doi.org/10.1086/705728).

Özgen E., Helwing B. 2003, *On the shifting border between Mesopotamia and the West. Seven seasons of joint Turkish-German excavations at Oylum Höyük*, «Anatolica», 29, 61-85 (https://doi.org/10.2143/ANA.29.0.2015512).

Palmisano A. 2018, *The Geography of Trade: Landscapes of Competition and Long-Distance Contacts in Mesopotamia and Anatolia in the Old Assyrian Colony Period*, Oxford, Archaeopress.

Pamir H. 2013, *Sabuniye: A Late Bronze-Iron age port settlement on the northeastern Mediterranean coast*, in K.A. Yener (ed.), *Across the Border: Late Bronze-Iron Age Relations Between Syria and Anatolia. Proceedings of a Symposium held at the Research Center of Anatolian Studies, Koc University (Istanbul 2010)*, Leuven, Peeters, 173-194.

Pococke R. 1745, *A Description of the East, and Some Other Countries*, London, W. Boyer.

Pucci M. 2019 *Excavations in the Plain of Antioch III: Stratigraphy, Pottery, and Small Finds from Chatal Höyük in the Amuq Plain*, Chicago, Chicago University Press.

Radner K., Vacek A. 2020, *The site of Al-Mina, the port of Ahta and Mediterranean trade in the age of Assyrian Empire*, in C. Horst (ed.), *Der Alte Orient und die Entstehung der Athenischen Demokratie*, Wiesbaden, Harrassowitz Verlag, 107-171.

Radner K., Vacek A. 2022, *The settlement of Yauna, 'Ionian' identity and the Greek presence on the Syrian coast in the second half of the eighth century BC: A reassessment of two letters from the Nimrud correspondence*, «Journal of Hellenic Studies», 142, 65-99 (https://doi.org/10.1017/S007542692200012X).

Schwartz G.M., Curvers H.H., Gerritsen F.A., Maccormack J.A., Miller N.F., Weber J.A. 2000, *Excavation and survey in the Gabbul plain, Western Syria: The Umm el- Marra Project 1996-1997*, «American Journal of Archaeology», 104, 419-462.

Seifried R.M., Gardner C.A.M. 2019, *Reconstructing historical journeys with least-cost analysis: Colonel William Leake in the Mani Peninsula, Greece*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 24, 391-411.

Seton Williams M.V. 1961, *Preliminary report on the excavations at Tell Rifa'at*, «Iraq», 23, 68-87 (https://doi.org/10.2307/4199696).

Stone E., Zimansky P. 1999, *The Iron Age settlement at 'Ain Dara, Syria: Survey and Soundings*, Oxford, Archaeopress.

Sürenhagen D. 1999, *Tell Gindaris and the western Afrin valley*, «Les Annales Archéologiques Arabes Syriennes», 43, 159-167.

Taşyürek A.O. 1975, *Some new Assyrian rock-reliefs in Turkey*, «Anatolian Studies», 25, 169-180 (https://doi.org/10.2307/3642581).

Tavernari C. 2009, *The CIERA program and activities: Focus on the roads and wayside caravanserais in Medieval Syria*, ArchAtlas (http://www.archatlas.org/workshop09/works09-tavernari.php).

Tchalenko G. 1953-1958, *Villages antiques de la Syrie du nord. Le Massif du Bélus à l'époque romaine*, Paris, Institut Français d'archéologie de Beyrouth.

Turchetto J. 2018, *Per Cappadociae partem... iter feci: Graeco-Roman routes between Taurus and Halys*, Pisa, Fabrizio Serra Editore.

Uboldi M. 2010, *Viaggio nella Siria Centrale e in Mesopotamia*, in M. Uboldi, G. Meda Riquier (eds.), *Alfonso Garovaglio. Archeologo, collezionista. Viaggiatore*, Como, New Press Edizioni, 235-267.

Vacek A. 2012, *Greek and Related Pottery from Al Mina. A Case Study of Production, Consumption and Distribution of Greek Pottery in the Eastern Mediterranean from the 9th to the end of the 7th century BC*, unpublished PhD Thesis, Oxford University.

Weiss H. 1997, *Archaeology in Syria*, «American Journal of Archaeology», 101, 1, 97-148 (https://doi.org/10.2307/505899).

Wilkinson T.C. 2014, *Tying the threads of Eurasia. Trans-regional Routes and Material Flows in Transcaucasia, Eastern Anatolia and Western Central Asia, c. 3000-1500 B.C*, Leiden, Sidestone Press.

Wilkinson T., Wilkinson E.B. 2016, *The Iron Age of the Middle Euphrates in Syria and Turkey*, in J. Macginnis, D. Wicke, T. Greenfield (eds.), *The Provincial Archaeology of the Assyrian Empire*, Cambridge, Cambridge University Press, 213-228.

Winter I.J. 2010, *On Art in the Ancient Near East*, I. *Of the First Millennium B.C.E.*, Leiden, Brill.

Woolley C.L. 1939, *The Iron age graves of Carchemish*, «University of Liverpool Annals of Archaeology and Anthropology», 26, 11-37.

Yamada S. 2000, *The Construction of the Assyrian Empire. A Historical Study of the Inscriptions of Shalmaneser III (859-824 B.C.) Relating to His Campaigns to the West*, Leiden, Brill.

Yamada S. 2005, *Kārus on the frontiers of the Neo-Assyrian empire*, «Orient», 40, 56-90.

ABSTRACT

The study of ancient roads has been important in understanding political, social, and cultural transformations of ancient trade networks and economies. In the Near East, landscape-oriented research has immensely contributed to the analysis of pre-modern road systems. However, while for Roman and Medieval periods this method produced a dataset that implemented the rich corpus of historical information, research on pre-Roman connectivity networks strongly relies on the archaeological record, mostly represented by data from surveys. The use of these data allows a long term and chronologically unprecise reconstruction of ancient itineraries. Therefore, gaps in the data are often filled by the transposition of later itineraries, risking reiterating the idea that road networks are static, stable over a very long period. This article aims to contextualise connecting networks and route landscapes from the Euphrates river to the Mediterranean sea during the Iron Age (1200-600 BCE). The study will make use of an integrated approach by using multiple datasets. The research will argue that by considering different data, it is possible to offer a critical interpretation of the main route network employed during the Iron Age to connect the Euphrates area with the sea.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 269-284
doi 10.19282/ac.35.1.2024.18

LEAST-COST PATH ANALYSIS FOR THE RECONSTRUCTION OF THE COMMUNICATION NETWORKS BETWEEN THASIAN AMPHORAE WORKSHOPS AND OTHER SITES IN THE 4TH-3RD CENTURY BC

1. Introduction

This contribution illustrates the application of the Least-Cost Path (LCP) analysis to reconstruct the potential roads, pathways and maritime routes connecting the amphorae production sites with the other sites in the *chora* of Thasos and with the port of Thasos. The archaeological investigations in the ancient city of Thasos began in the 1930s by the École Française d'Athènes. From the 1970s, the entire territory was explored through surveys allowing the identification of about 350 sites dating to the Archaic until the Imperial period (Grandjean, Salviat 2000, 39; Brunet 2004, 80). The island of Thasos is located in the northern Aegean and has always been at the centre of commercial and cultural networks between inland Greece and Anatolia. Since its foundation by Parians settlers in around 680 BC, Thasos urban centre (*asty*) has been located at the island's northernmost point facing the maritime commercial route from Athens to the Black Sea (Fig. 1). The control of this route brought commercial advantages to Thasos since it allowed to export the Thasian wine, one of the greatest sources of wellness and self-sufficiency for the city together with minerals, marble and agricultural products, all over the eastern Aegean and the Black Sea (Brunet 1996, 54-57; 2008, 90; 2019, 53; Foxhall 2007, 57). The entire island is considered the territory (*chora*) of Thasos which is made up of scattered and isolated farms, clustered settlements, rural sanctuaries and craft production sites (Brunet 2019, 48).

The Thasian wine was exported overseas and circulated locally in amphorae with a unique shape immediately identifiable with the island. They have vertical handles and a button-shaped foot; the body was wide in the 5th century and became slimmer between the 4th and 3rd century BC (Garlan 1988, 12). Thasian amphorae regularly bear one or two stamps on their handles most likely to control the wine or ceramic production somehow. However, evidence from the workshops shows that a large quantity of them actually remained unstamped (Garlan 1999, 2007). The stamps have been the main focus of the archaeological research of the amphorae production sites because the stamps with the annual magistrate's name are important for the reconstruction of the chronology of the amphorae production. The stamping system can be divided into two main chronological groups: 1) the older stamping system used between ca. 430 and ca. 330 BC, where the two

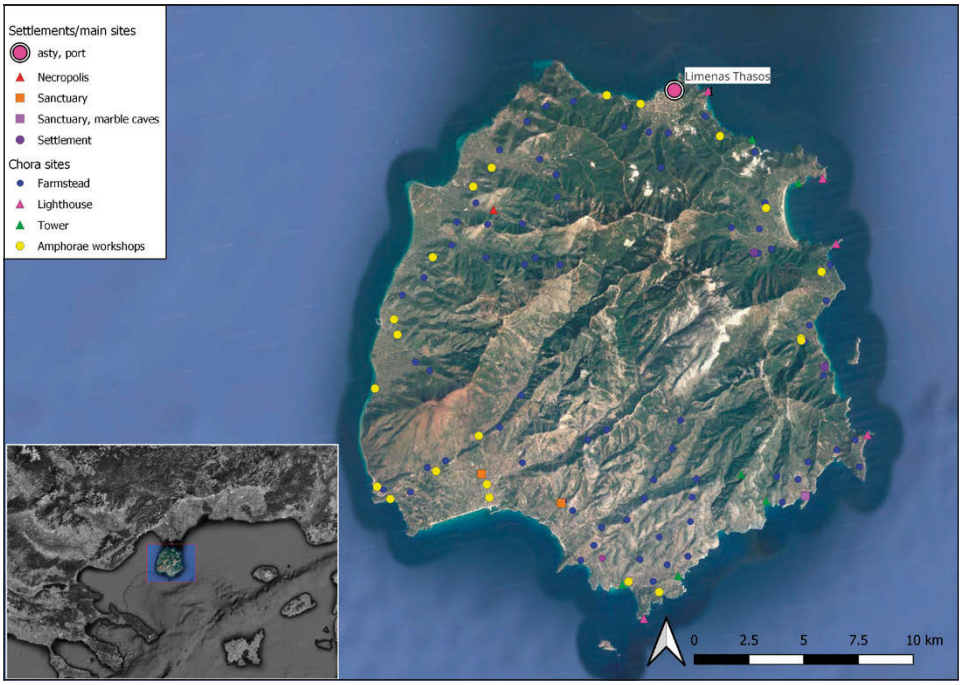


Fig. 1 – Location of the island of Thasos in the northern Aegean and sites distribution in the 4th-3rd centuries BC (elab. by the Author).

stamps indicated the name of the eponymous magistrate and the name of the 'manufacturer', as traditionally interpreted (Garlan 1999); 2) the later stamping system in use from ca. 330 to the 2nd century BC and it had only the name of the eponymous magistrate in combination with a symbol, that probably indicated the 'producer' (Garlan 1988, 18).

The surveys of the École Française d'Athènes allowed the identification of about 20 workshops producing wine amphorae, tiles and plain wares spread throughout the island along the coastlines (Brunet 2004; Garlan 2004, 312; Tomei 2022, 243) (Fig. 2). Eight workshops (Fig. 2, white dots) had been explored with archaeological excavations (Vamvouri Ammoudia, Kounophia, Kalonero, Koukos, Limenaria and Chioni), the others are known only by the surface collection of materials. Amid the 4th-3rd century BC workshops, only Vamvouri Ammoudia and Kounophia have remains of kilns. Vamvouri Ammoudia is located at the island's southern end, very close to the beach.

The excavations (1979-1980) revealed the firing area with three kilns: two small, U-shaped kilns 1.5 m and 0.9 long respectively and a large kiln with an oval-shaped combustion chamber (2×2.8 m) dug into the bedrock

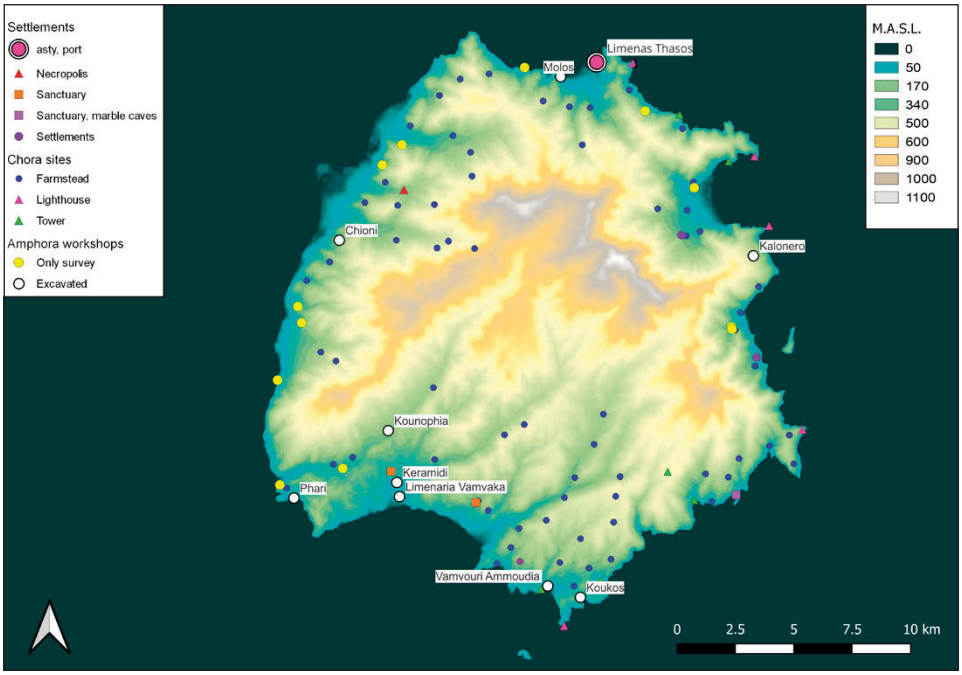


Fig. 2 – Distribution map of the amphorae workshops in the *chora* of Thasos (elab. by the Author).

and a stoking channel opened to the southwest (Garlan 1986, 205-207). The combustion chamber is surrounded by a square enclosure with thick walls made of stones and pebbles held together with clay, probably to insulate the kiln during the firing (Garlan 1986, 207). The ceramic materials found in the soundings include a great number of plain table ware, amphorae and tiles fragments, which were the main output of the kilns. Several amphorae and tiles were stamped with the later stamping system, dating the activity of the workshop from ca. 320 to 250 BC (Garlan 1986, 213-217).

Kounophia is situated in the southwestern part of the island on the hill slopes at an altitude of ca. 90 m asl. The fieldwork (1984) unveiled two phases of occupation: 1) a ceramic workshop, active from the beginning of the 3rd to the first quarter of the 2nd century BC; 2) a small rural necropolis with three tombs inside the abandoned kiln, probably connected to a Roman settlement nearby (Brunet 1986, 811). The kiln had a pear-shaped combustion chamber (diameter: 2.8 m) and like at Vamvouri Ammoudia, it was surrounded by a square enclosure of walls made of limestone blocks. The ceramic deposits included amphorae and tiles with ca. 700 stamps dating between ca. 290 and 170 BC, and plain wares including fragments of *pithoi* (Brunet 1986, 811).

The workshops without preserved remains of kilns (Kalonero, Koukos, Limenaria, Keramidi, Chioni, Molos) show large deposits of ceramic fragments, including kiln wasters and furniture, mainly amphorae sherds, tiles and plain wares, suggesting that they were not specialised only in the production of wine amphorae but produced also pottery for domestic use. For example, Kalonero is located on the eastern coast and the ceramic material recovered includes a significant number of plain ware fragments and some small black gloss ware fragments, although most of the sherds belong to wine amphorae. Amongst them, ca. 30 stamps belong to the older system and a further 30 handles bear the later system stamps, thus the activity of the workshop is placed within ca. 370 and 305 BC (Garlan 1986, 225). Koukos, in the southern end of the island near Vamvouri Ammoudia, has remains of a possible porch with walls made of limestone blocks and tiles and a big deposit of ceramic fragments which includes plain wares, *pythoi*, pyramidal and disk loom weights, kiln furniture, firing wasters and amphorae.

The stamps belong to the later system and date the site between ca. 340 and ca. 265 BC. However, the majority of the amphorae fragments were not stamped, with a proportion of 1 stamped to 3 unstamped (Garlan 1979, 225-229). The workshop of Koukos was active almost contemporaneously with Vamvouri Ammoudia and 14 names of eponymous magistrates found within the stamps at Koukos are also present at Vamvouri Ammoudia but associated with different symbols (Garlan 1979, 251). It is possible, therefore, that the two workshops produced wine amphorae for different landowners or middlemen at the same time (Tomei 2022, 254). The other workshops (Limenaria: Bechtsi, Theodoroudi 2017; Keramidi: Garlan 1985; Chioni: Garlan, Karadima-Matsa 1996; Molos: Garlan 2004) were also active between the beginning of the 4th to the 2nd century BC, according to the chronology of the stamps.

The position of the workshops along the coastline was strategic to ease the movement of the ceramic outputs in a predominantly mountainous territory towards the port of Thasos, from where most likely the stamped amphorae were shipped overseas. Indeed, a milestone dated to the mid-5th century BC found at the rural sanctuary of Aliki (Salviat, Servais 1964; Sintès 2008, 641), on the southern coast of the island, is important evidence of the existence of an ancient road connecting the city with the rest of the *chora*.

Its hypothetical coastal itinerary has been reconstructed by Bonias *et al.* (1990) and Sintès (2008) based on the inscription, the archaeological remains and the Ottoman pathways or *kalderimia*. The presence of roads and pathways was important for the ceramic workshops for connecting them with the marketplaces and for moving the raw materials (clay, temper, fuel) from

the source places. Likewise, the maritime routes along the coasts might have been used for transporting large quantities of ceramic materials, especially the amphorae, from the production sites to the main port, as the lighthouses along the eastern and southern coasts and the numerous mooring installations suggest (Brunet 2019, 48). Therefore, access to roads, pathways and the seaside were key factors in the settlement choice of the Thasian ceramic workshops, besides the proximity to raw material sources and potential marketplaces (Tomei 2022, 282).

2. The Least-Cost Path to trace the terrestrial roads

2.1 *Methodology*

The LCA assumes, at a general level, that «humans will tend to economize many aspects of their behaviour, encompassing everything from speech to movement» (Surface-Evans, White 2012, 2). This concept has been applied by archaeologists and social scientists to study human behaviour, including movement in the landscape. Indeed, humans prefer to travel and socially and physically interact with more accessible landscapes, where movement requires less effort (Surface-Evans, White 2012, 2).

The application of the Least-Cost Analysis (LCA) using GIS software to archaeological case studies has constantly increased in the last decade as a tool to address a wide range of research questions (Herzog 2014, 223). Indeed, the approach allows archaeologists to investigate past connections and networks between peoples and places that have social, political, and economic significance (Surface-Evans, White 2012, 2). The book edited by White, Surface-Evans (2012) collects a wide variety of applications of GIS LCA analyses to different archaeological research questions (White, Surface-Evans 2012). The most common applications of the LCA are the Least-Cost Site Catchment, the LCP and the Cost Surface analyses. The Least-Cost Site Catchment investigates the accessibility of resources in the area around a site (Pecere 2006; Herzog 2014, 223).

The LCP determines the minimal-cost route between two locations (Connolly, Lake 2006, 252-255; Herzog 2020, 333) and it is based on two cost models: the isotropic cost, that does not consider the direction of movement between the raster's cells, and the anisotropic costs, that, on the contrary, takes into account the direction (Herzog 2014, 227). LCP is frequently used to reconstruct old routes connecting sites within the landscape, but also to investigate the spatial pattern of distribution of sites in a certain area or to model water or terrestrial transport (Herzog 2014, 228). Archaeologists most commonly use the slope as the cost raster to calculate the LCP, which is an anisotropic model because the effort of travelling between the cells depends on the slope's direction (Herzog 2014, 227). The most popular slope-based

cost functions are the default Esri ArcGIS's[1] Slope, which measures topographic slope in percentage or degrees, and the Tobler hiking function, which provides a time estimate of the movement in the land (Herzog 2014, 233).

However, slope is not the only cost factor that influences the effort of movement: land use and the presence of rivers, creeks or lakes may be obstacles for people walking or travelling with wheeled vehicles or pack animals, so they should be taken into consideration in modelling human movement in the land (Herzog 2014, 235). Lastly, the Cost Surface Analysis models the travel time and energy consumption of an individual to move on the land through the analysis of grids simulating the geomorphology of the landscape and the presence of natural/artificial obstacles (Wheatley, Gillings 2002, 147-163; Pecere 2006, 185). As an example of archaeological application, Pecere (2006) models a surface based on travel costs and agricultural potential to study the settlement dynamics between the Iron Age and the Archaic period in Daunia (southern Italy).

For this research, the LCP has been used to model the possible paths connecting the ceramic workshops with the farmsteads spread in the territory and the port of Thasos. The analysis has been performed with the software ArcGIS 10. The ArcGIS Least-Cost Path tool uses two rasters: 1) the cost surface, which is a weighted raster that represents the ease of movement between the cells of the raster, and it may include topographic (slope and relief), natural (e.g., rivers) and anthropic (land-use) information (Newhard *et al.* 2008; Seaman, Thomas 2020); 2) the cost back-link raster, which defines «the direction or identifies the next neighbouring cell along the least accumulative cost path from a cell to reach its least-cost source» (Esri ArcGIS Pro 2023[2]).

The processing workflow is represented by a diagram (Fig. 3). The primary dataset required for the processing is the Digital Elevation Model (DEM) of the island, which has been downloaded from the European Environment Agency (EEA) Copernicus Land Monitoring Service Database[3] and has a spatial resolution of 25 m. From the DEM, the Slope is calculated, which is a raster representing the steepness of the land's surface expressed in degrees (Newhard *et al.* 2008, 93). Since it is not known the land use in the 4th-3rd century BC island of Thasos, only the reliefs, slopes and rivers as topographic and environmental constraints are considered (Newhard *et al.* 2008, 93).

The vector layer representing the rivers has been rasterised before

[1] The softwares preferred by archaeologists for the LCA are the Esri ArcGIS Spatial Analyst package which includes the Cost Distance and Path Distance as anisotropic cost models and the Cost Path to generate the LCP, and the open source GRASS r.walk which estimates walking time (Herzog 2014, 226).

[2] https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/resources; https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary.

[3] https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1/view.

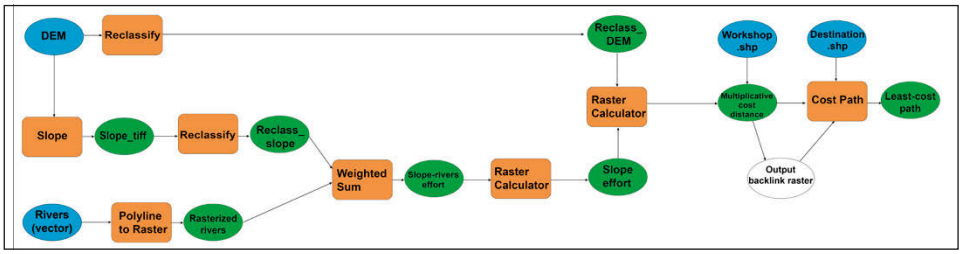


Fig. 3 – Diagram showing the workflow to calculate the Least-Cost Path in ArcGIS 10 (elab. by the Author).

applying the weighted sum with the Slope raster to get the 'slope river effort' surface, which reflects more accurately the areas with more expenditure cost to walk up and down (Newhard *et al.* 2008, 92). In order to perform the weighted sum and calculate the slope effort, it is necessary to reclassify the elevation model and the Slope because ArcGIS only considers positive values as valid for the processes. The slope effort surface is calculated with the Raster Calculator using the formula *tan(slope)/tan(1)* (Newhard *et al.* 2008, 94). Then, the slope effort is multiplied by the DEM, resulting in a cost surface (Multiplicative Cost Distance) that emphasises the slope information in high slope regions and elevation information in low relief areas (Newhard *et al.* 2008, 95). The Multiplicative Cost Distance has been used as the input cost raster to generate the Cost Distance, which calculates «the least cumulative cost from each cell to specified source locations over a cost raster» (Esri GIS Dictionary 2023). The Cost Distance generated also the Cost Back-Link raster. The Cost Distance and the Cost Back-Link are the basis on which the LCP is calculated. The source and destination points used to generate the Cost Distance and the LCP are vector features, in this case, points: the workshops as places of departure; the port of Thasos and the farmsteads as destinations.

2.2 *Results*

The results of the LCP analysis are shown in Fig. 4. The reconstructed paths follow the less steep zones, such as the coastal plains on the southern and eastern coasts, the lower slopes of the mountains on the western side of the island, and the river valleys. The hypothetical itinerary of the road (Fig. 5) known from the Aliki milestone, as already mentioned, on the information provided by the inscription, the remains of ancient routes and the Ottoman pathways (Bonias *et al.* 1990; Sintès 2008). The inscription indicates the distance in *orgyai*[4] between the city of Thasos and the sanctuary of Aliki,

[4] One *orgya* corresponds to ca. 1782 m (Sintès 2008, 647).

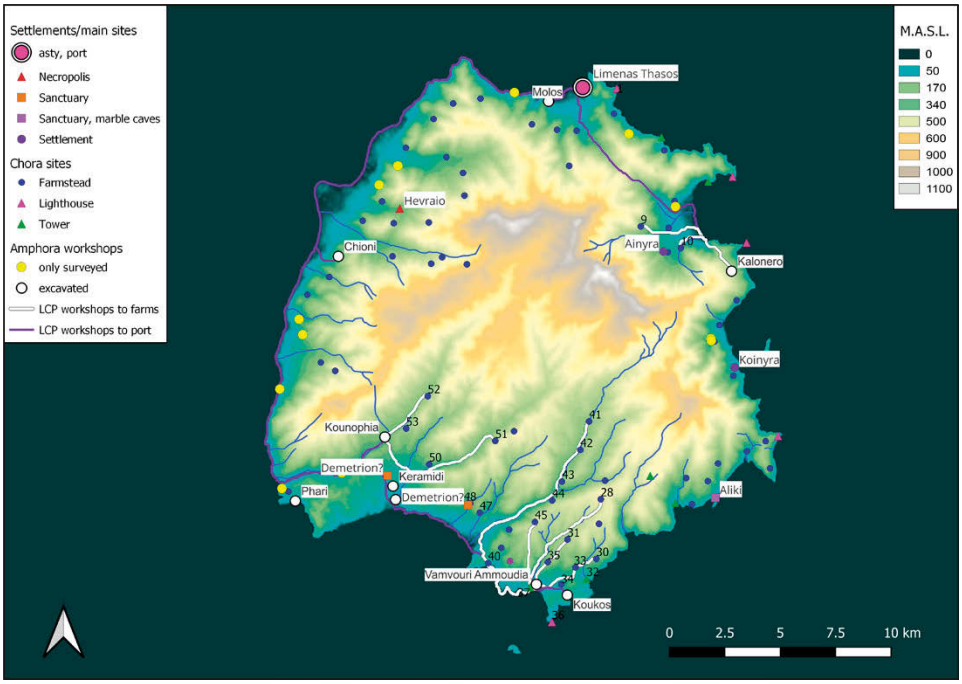


Fig. 4 – The resulting LCPs connecting the amphorae workshops with the port of Thasos (purple lines) and with the farmsteads (white lines) (elab. by the Author).

passing through the village of Koinyra on the eastern side of the island, which is about 20 km S of Thasos city. Then it mentions the distance between Aliki and the Diasion (sanctuary of Zeus) located at Demetrion, which was somewhere in the southern end of the island. After the sanctuary, the road follows the coast (Bonias *et al.* 1990, 76; Sintès 2008, 641). Therefore, it was a circular road following the coastal plains along the south-eastern, southern and western sides of Thasos; whereas, between the *asty* and Ainyra and Koinyra, it probably crossed the lower slopes of the mountains because on this side of the island the shores are very narrow and steep (Sintès 2008, 649).

The LCPs connecting the amphorae workshops with the city of Thasos have the same layout of the coastal road and it is particularly evident between Kalonero and Thasos and, on the southern coast, between Koukos and Phari (Fig. 4, purple line). The LCP, on the one hand, confirms the coastal itinerary of the road, and, on the other one, that the coastal road itself was the easiest way to travel between the amphorae workshops and Thasos port, where the wine amphorae were loaded into the ships and shipped overseas. Following the lower slopes of the mountains and the coastal plains, carts dragged by

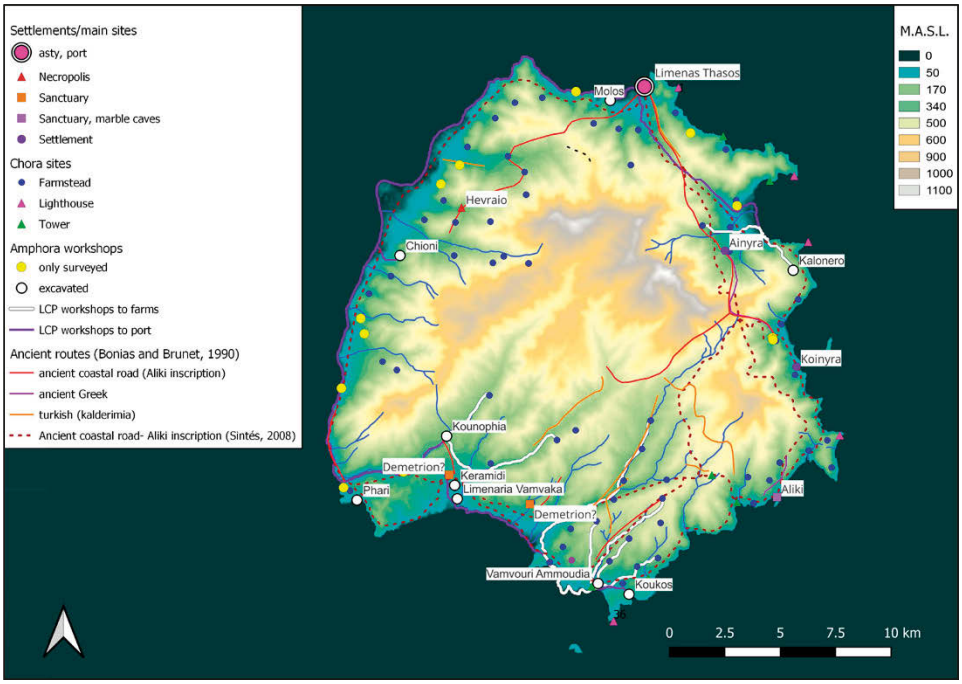


Fig. 5 – The resulting LCPs connecting the amphorae workshops with the farmsteads and the port of Thasos compared with the coastal road as reconstructed by Sintés (2008) and Bonias *et al.* (1990), and the Ottoman rural pathways (elab. by the Author).

donkeys or mules could safely transport the ceramic products with a low risk of breakages during the transportation.

Remains of ancient roads and the Ottoman rural pathways or *kalderimia* – which may have followed ancient pathways – crisscrossing the island (Fig. 4, orange lines) have been understood as evidence of an ancient network of pathways connecting the settlements and isolated farmsteads spread in the interior part of the island (Bonias *et al.* 1990, 76-78). Again, the LCPs calculated between the pottery workshops and some farmsteads (Figs. 3, 4, white lines) confirm the presence of such a network, which was important for the transportation of raw materials, products, and knowledge. In addition, the LCPs follow the same itinerary as the *kalderimia*, confirming that these modern rural pathways may have retraced ancient routes. The LCPs, as well as the Ottoman pathways, run along the creeks, the valleys and the lower slopes where the movement of wheeled wagons and pack animals was easier. For example, the LCP connecting Vamvouri Ammoudia with the farmsteads 41-44 traces a *kalderimi* and follows a stream valley (Fig. 6). Interestingly,

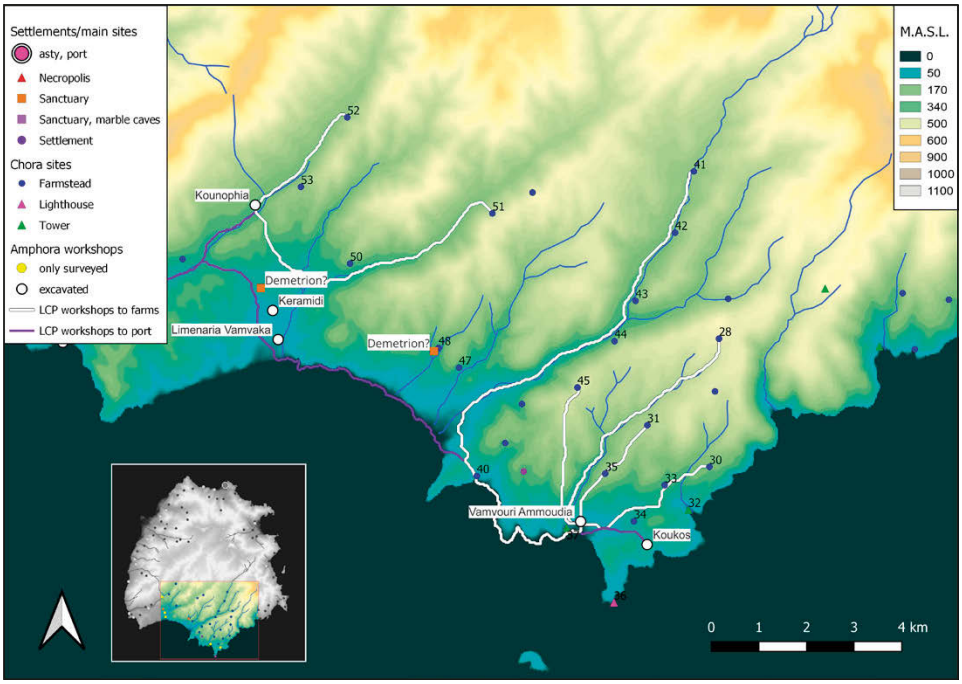


Fig. 6 – The LCPs (white lines) linking the southern workshops Kounophia, Vamvouri Ammoudia, and Koukos with the farmsteads scattered in the countryside (elab. by the Author).

the alignment of the farmsteads 41 to 44 indicates that along the stream there was an ancient route connecting the rural sites, or that the creek itself was used as a communication way perhaps when dry during the summer. Similarly, the LCP between Kounophia and the farmsteads 52 and 53 follows a stream and the lower slopes of the mountains (Fig. 6).

3. The Least-Cost Path to reconstruct maritime coastal routes

3.1 *Methodology*

As shown in Fig. 1, the majority of the amphorae workshops in Thasos are located on or close to the shoreline where ships could easily moor, and load those amphorae destined for overseas trade from the port of Thasos. Even though coastal navigation can be as dangerous as sailing on the open sea because the coastal topography can exacerbate the dangers caused by adverse conditions, Thasos is an island offering shelter against the prevailing winds (Morton 2001, 116-117, 146). Sailing around the island should normally be safe all year round, although Hesiod advises avoiding sailing from the end of October/beginning of

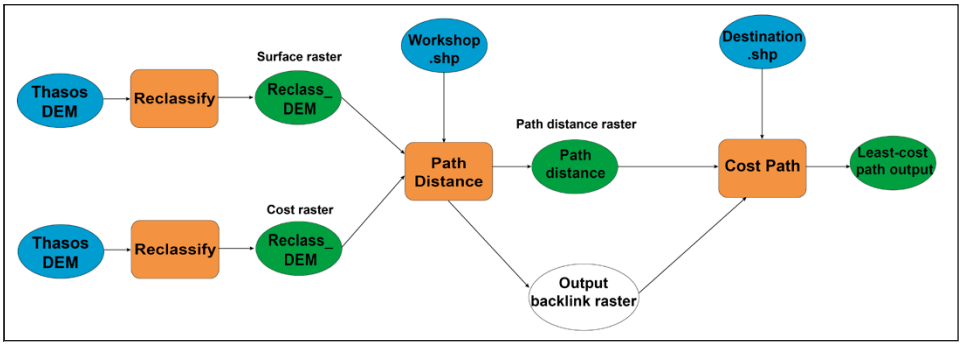


Fig. 7 – Diagram showing the workflow to model the sea routes using the Least-Cost Path analysis based on the Path Distance raster (elab. by the Author).

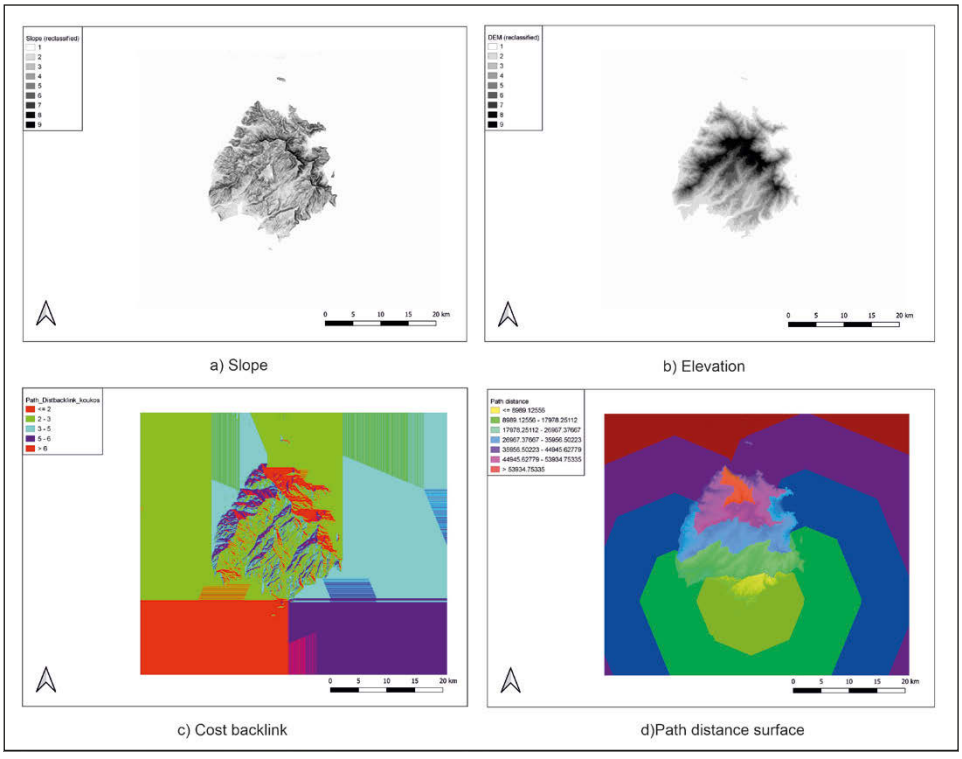


Fig. 8 – Main steps in the modelling of the cost surface and sea routes of Thasos (elab. by the Author).

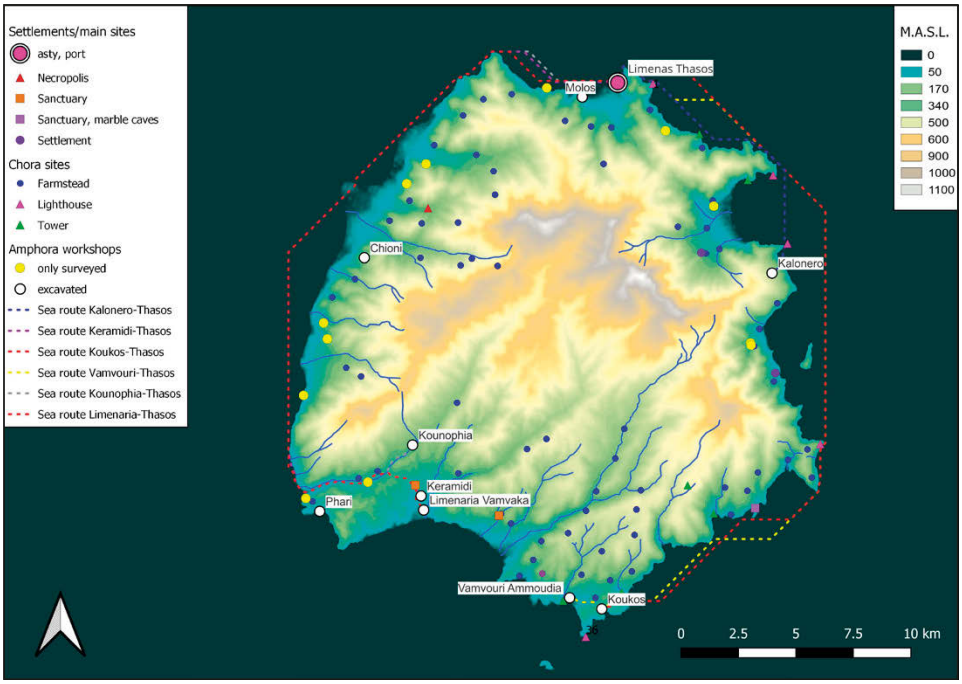


Fig. 9 – An hypothesis of the coastal maritime routes connecting the amphorae workshops with the port of Thasos as resulting by LCPs modelling (elab. by the Author).

November until summer as the winds are stronger (Hes. *ED*, 620-630). When sailing is possible under favourable weather conditions, travel distances should be short, since the circumnavigation of the entire island is 80 km.

Shipping by sea large quantities of amphorae from the workshops to the port is likely to have caused less damage to the products and been more efficient than carrying them on donkeys' shoulders or by carts across difficult and abrupt terrains. The model workflow (Fig. 7) used to reconstruct the sea routes along the coasts of Thasos is largely similar to the one described in section 2.1. However, instead of Cost Distance, the Path Distance is used to generate the cost surface necessary to calculate the LCP as indicated in Alberti's (2017) modelling of ancient sailing (Fig. 8). The Path Distance is similar to the Cost Distance since they both determine the minimum accumulative travel cost from a source to each cell location on a raster. Nonetheless, Path Distance calculates the accumulative cost over a cost surface while compensating for the actual surface distance that must be travelled and for the horizontal and vertical factors influencing the total cost of moving from one location to another (Alberti 2017, 3; Esri ArcGIS Pro 2023).

However, since wind direction and speed data (Alberti 2017, 4-5) were not easily available for this research, the sea routes are calculated as LCPs based on the Path Distance using the elevation as a vertical factor and the slope as a horizontal factor. In this way, the Path Distance is a helpful heuristic device to model and explore possible transport routes on the sea along the coasts of the island (Fig. 9).

3.2 *Results*

The LCPs show that navigation from the southern workshops, like Vamvouri Ammoudia and Koukos, was easier along the East coast, where the numerous remains of ancient lighthouses may suggest that it was a popular (although dangerous, as the coastline was high and jagged) route in antiquity (Brunet 2019, 48). From the workshops in the southwestern side, like Limenaria, Keramidi and Kounophia, the western route along the coast was preferable (Fig. 9). The comparison of the distance and cost values, calculated by GIS, between the terrestrial and maritime routes suggests that the maritime ways were more efficient because they saved on the effort to travel from the amphorae workshops to the port of Thasos (Tab. 1). However, choosing between terrestrial and maritime transport was not straightforward. Which way was more beneficial, depended on seasonality, load capacity and speed.

Workshop	Maritime routes		Land routes	
	Km	CostPath Value	Km	CostPath Value
Kalonero	14	16543	12	66517
Koukos	36	36639	48	67316
Vamvouri Ammoudia	37	38181	46	64452
Kounophia	34	35393	35	51156

Tab. 1 – GIS calculated comparison of the distance and the CostPath value between the land and the maritime routes from the workshops to Thasos.

4. Discussions and conclusions

The LCP analysis proves to be a valid approach to reconstruct the communication networks in the Thasian countryside during the 4th and 3rd centuries BC. In particular, it proves that the location of the amphorae workshops favoured the smooth connection with the other sites, especially the scattered farmsteads and the city of Thasos, and the easy transport of the ceramic products either through land travel or coastal navigation. Indeed, their location maximised access to the main coastal road – whose existence is known based on the Aliki inscription – which allowed the movement of people and goods with less effort because, according to the LCP analysis,

it runs along the areas of lower slope, such as the coastal plains and the valleys. The coastal road appears to be particularly helpful for the workshops located on the southern and western coasts of the island where the coastal plains are larger and ceramic products can safely travel on carts or donkeys' shoulders.

The workshops were also connected with scattered farmsteads by a network of smaller pathways, whose routes have been reconstructed either from visible archaeological remains, such as the Ottoman *kalderimia* or through LCP analysis. Therefore, travelling between workshops and farmsteads was possible by using pack animals and carts that supplied them with pottery, tiles and amphorae to be filled with wine. The road and the pathways also contributed to making more manageable the transport of raw materials for pottery making, like clay, temper and fuel, from the sources in the proximity of the workshops (Tomei 2022, 261-265).

Besides the land routes, LCP demonstrates that the location of most workshops on the shoreline, where the boats could easily moor and load the amphorae, favoured their transportation via coastal navigation. Indeed, the LCPs show that sailing from the workshops on the southern and eastern coasts was more efficient and save on travel costs in terms of distance and effort. This is particularly true in the eastern side of the island where the shores are more abrupt and the coastal plains are shorter, thus land travelling would be difficult and wine amphorae at risk of breakage. However, sailing cannot be practised all year round, so land travelling remained a valid option also for the eastern workshops.

Lastly, the LCP analysis confirms the layout of the coastal road that Bonias *et al.* (1990) and Sintès (2008) reconstructed basing on the epigraphical evidence of the milestone found in Aliki. Similarly, some of the LCPs connecting the workshops with sites located in the interior of the island follow the layout of the modern and Ottoman rural pathways, suggesting that they could have been used also in antiquity.

Francesca Tomei
IMT Scuola Alti Studi Lucca
francesca.tomei@imtlucca.it

REFERENCES

Alberti G. 2017, *TRANSIT: A GIS toolbox for estimating the duration of ancient sail-powered navigation*, «Cartography and Geographic Information Science», 45, 6, 510-528 (https://doi.org/10.1080/15230406.2017.1403376).

Bechtsi K., Theodoroudi E. 2017, Εργαστήριο αμφορέων ελληνιστικών χρόνων στα Λιμεναρια Θασου, in D. Mulliez, B. Zissis (eds.), *Thasos. Métropole et colonies. Actes du symposium international à la mémoire de Marina Sgourou (Thasos 2006)*, Athens, École Française d'Athènes, 335-342.

Bonias Z., Brunet M., Sintès G. 1990, *Organisation des espaces et cheminements antiques à Thasos*, in *Archéologie et espaces. Actes des rencontres, X^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (Antibes 1989)*, Antibes, Éditions A.P.D.C.A., 71-125.

Brunet M. 1986, *Kounophia. Thasos*, «Bulletin de Correspondance Hellénique», 110, 2, 809-812.

Brunet M. 1996, *Le territoire de Thasos*, in R. Étienne (ed.), *L'espace grec: 150 ans de fouilles de l'École Française d'Athènes*, Paris, Fayard, 34-50.

Brunet M. 2004, *Le territoire de Thasos: modèles et interprétation des données*, in F. Kolb (ed.), *Chora und Polis*, Berlin-Boston, De Gruyter (https://doi.org/10.1524/9783486594577-006), 79-86.

Brunet M. 2008, *Champagne et agriculture aux époques classique et hellénistique*, in O. Picard (ed.), *Économies et sociétés en Grèce ancienne, 478-88 av. J.-C: oikonomia et économie*, Paris, Editions Sedes, 81-110.

Brunet M. 2019, *La cité de Thasos: organisation et ressources. Le territoire*, in M. Brunet, A. Coulié, P. Hamon, B. Holtzmann, J.-Y. Marc, A. Muller, O. Picard (eds.), *Thasos. Heurs et malheurs d'un Eldorado antique*, Paris, Editions Picard, 45-54.

Conolly J., Lake M. 2006, *Geographical Information Systems in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Foxhall L. 2007, *Olive Cultivation in Ancient Greece: Seeking the Ancient Economy*, Oxford-New York, Oxford University Press.

Garlan Y. 1979, *Koukos*, «Thasiaca», Bullettin de Correspondance Hellénique, Suppl. V, 214-268.

Garlan Y. 1985, *L'atelier amphorique de Kèramidi*, «Bulletin de Correspondance Hellénique», 109, 884-888.

Garlan Y. 1986, *Quelques nouveaux ateliers amphoriques à Thasos*, in J.-Y. Empereur, Y. Garlan (eds.), *Recherches sur les amphores grecques. Actes du colloque international organise par le Centre National de la Recherche Scientifique, l'Université de Rennes II et l'École Française d'Athènes*, Paris, De Boccard, 201-229.

Garlan Y. 1988, *Vin et amphores de Thasos*, Sites et monuments 5, Paris, Diffusion de Boccard.

Garlan Y. 1999, *Les timbres amphoriques de Thasos. 1: Timbres protothasiens et thasiens anciens*, Études Thasiennes 18, Athènes-Paris, École Française d'Athènes.

Garlan Y. 2004-2005, *En visitant et revisitant les ateliers amphoriques de Thassos*, «Bulletin de Correspondance Hellénique», 128, 1, 269-329.

Garlan Y. 2007, *Le timbrage des tuiles à Thasos*, in R.F. Stolba, K. Gex (eds.), *Recherches recentes sur le monde hellenistique. Actes du colloque international organise à l'occasion du 60^e anniversaire de Pierre Ducray (Lausanne 1998)*, Bristol, Peter Lang, 191-198.

Garlan Y., Karadima-Matsa C. 1996, *Atelier amphorique de Chioni*, «Bulletin de Correspondance Hellénique», 120, 889-890.

Grandjean Y., Salviat F. 2000, *Guide de Thasos*, Athènes-Paris, École Française d'Athènes.

Herzog I. 2014, *A review of case studies in archaeological Least-Cost Analysis*, «Archeologia e Calcolatori», 25, 223-239 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF25/12_Herzog.pdf).

Herzog I. 2020, *Spatial analysis based on cost functions*, in M. Gillings, P. Hacigüzeller, G. Lock (eds.), *Archaeological Spatial Analysis. A Methodological Guide*, London-New York, Routledge, 333-358.

Morton J. 2001, *The Role of the Physical Environment in Ancient Greek Seafaring*, Boston, Brill (https://doi.org/10.1163/9789004351073).

Newhard J.M.L., Levine N., Rutherford A. 2008, *Least-Cost Pathway analysis and inter-regional interaction in the Göksu Valley, Turkey*, «Anatolian Studies», 58, 87-102.

Pecere B. 2006, *Viewshed e Cost Surface Analyses per uno studio dei sistemi insediativi antichi: il caso della Daunia tra X e VI sec. a.C.*, «Archeologia e Calcolatori», 17, 177-213 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=427).

Salviat F., Servais J. 1964, *Stèle indicatrice thasienne trouvée au sanctuaire d'Aliki*, «Bulletin de Correspondance Hellénique», 88, 267-287.

Seaman A., Thomas L.S. 2020, *Hillforts and power in the British post-Roman West: A GIS analysis of dinas powys*, «European Journal of Archaeology», 23, 4, 547-566 (https://doi.org/10.1017/eaa.2020.19).

Sintès G. 2008, *Géographie historique: itinéraires et organisation spatiale de la Thasos antique*, «Bulletin de Correspondance Hellénique», 132, 639-665.

Surface-Evans S., White D.A. 2012, *An introduction to the Least Cost Analysis of social landscapes*, in D.A. White, S. Surface-Evans (eds.), *Least Cost Analysis of Social Landscapes: Archaeological Case Studies*, Salt Lake City, The University of Utah Press, 1-7.

Tomei F. 2022, *Ancient Greek Pottery Workshops in their Rural Landscape Setting. Exploring the Intersection between Production, Environment, Society and Agrarian Economy*, Doctoral Thesis, University of Liverpool (https://doi.org/10.17638/03169006).

Wheatley D., Gillings M. 2002, *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, London-New York, Taylor&Francis.

White D.A., Surface-Evans S. (eds.) 2012, *Least Cost Analysis of Social Landscapes: Archaeological Case Studies*, Salt Lake City, The University of Utah Press.

ABSTRACT

This article explores the application of Least-Cost Path analysis to reconstruct potential transportation routes connecting amphorae production sites on the island of Thasos in northern Aegean. Characterized by wine production as a significant source of wealth during the Classical period, approximately 20 amphorae workshops-identified with surveys- date back to the 4th and 3rd century BC. By utilizing LCP analysis, the study demonstrates the strategic placement of these workshops and reveals their connectivity to the countryside and the port of Thasos. The proximity of the workshops to the main coastal road and maritime routes facilitated the efficient transportation of amphorae to the port. Furthermore, a network of rural pathways played a crucial role in linking the workshops with scattered farmsteads, ensuring a seamless supply chain for ceramic products. This research sheds light on the importance of spatial analysis in retracing ancient communication networks combined with historical and archaeological sources.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 285-304
doi 10.19282/ac.35.1.2024.19

ANALISI DI VISIBILITÀ DELLE FORTIFICAZIONI D'ALTURA DI EPOCA ARCAICA NELLA VALLE PELIGNA (ABRUZZO). IPOTESI, ANALISI INFORMATICHE E RICOSTRUZIONE

1. Introduzione

Proprio su questa rivista (Acconcia, Ferreri 2016), si esplorava la possibilità di una reinterpretazione degli insediamenti di altura di epoca arcaica nell'Abruzzo centrale. Da allora, salvo brevi menzioni in studi più ampi (cfr. ad es. Stek 2021), l'argomento ha ricevuto poca attenzione. La mancanza di nuovi scavi, unita ad una documentazione limitata, ha ostacolato ulteriori ricerche su questi insediamenti, non solo come singoli complessi archeologici, ma soprattutto come entità diacroniche in contesti di rapida trasformazione culturale. Dal momento della loro formazione fino alla completa romanizzazione, questi insediamenti hanno vissuto notevoli cambiamenti sociali ed economici, spesso non rilevabili nei dati a nostra disposizione a causa dei fenomeni erosivi tipici delle zone montane e della mancanza di campagne di scavo sistematiche.

Di conseguenza, la ricerca si è concentrata sull'analisi del paesaggio di epoca arcaica (d'Ercole 1993; d'Ercole, Martellone 2005; d'Ercole, Menozzi 2016), con particolare attenzione agli insediamenti d'altura (Bourdin 2006; Faustoferri *et al.* 2010) descritti negli ampi resoconti annalistici romani che ne riportano nomi, usi e localizzazione (Bourdin 2012). Tali studi hanno delineato una complessità nell'utilizzo degli insediamenti, spesso con conclusioni divergenti e pochi riferimenti cronologici.

Attualmente, in assenza di nuovi scavi, la prosecuzione delle ricerche nei siti di epoca arcaica si basa esclusivamente sull'analisi computerizzata dei dati preesistenti. L'applicazione di nuove tecnologie e metodologie di analisi offre l'opportunità di approfondire la conoscenza archeologica, costituendo un valido mezzo di progresso quando nuovi scavi non sono praticabili. La ricerca qui presentata nasce dalla necessità di leggere in chiave diacronica, a partire dal VI sec. a.C., la nascita e l'evoluzione degli insediamenti d'altura del centro Abruzzo, in particolare nella valle Peligna, e di classificare i siti in base a elementi archeologici per inserirli all'interno del contesto storico-sociale di epoca arcaica. Attraverso l'impiego di software dedicati e supportati da studi teorici di analisi spaziale, è stato possibile formulare ipotesi sulla differenziazione dei siti in base a diverse tipologie di visibilità. Tale caratterizzazione ha permesso la costruzione di un modello teorico che definisce uno spazio sociale e territoriale, con particolare attenzione ad una compagine etnica ben documentata nelle fonti: i Peligni.

2. Obiettivi e limiti

Nell'articolo viene approfondito il tema delle elaborazioni di visibilità quantitativa (ossia quanto spazio e/o elementi antropici sono visibili da uno osservatore), insieme alla definizione di una visibilità qualitativa (cioè cosa vede un osservatore all'interno di una visibilità ambientale, limitata alla capacità di vista e di udito). I risultati ottenuti non modificano sostanzialmente l'interpretazione degli insediamenti di altura in epoca arcaica, ma ne migliorano la leggibilità all'interno del territorio peligno, specialmente in termini di sfruttamento economico dei biomi di montagna e di viabilità. In accordo con gli studi pregressi, non è possibile delineare una gerarchia sociale degli insediamenti presi in esame, se non con qualche eccezione.

I risultati presentati sono frutto di una rielaborazione di dati provenienti da scavi, ricognizioni e ricerche già edite. A parte alcuni siti ricogniti dall'Autore, al fine di confrontare la visibilità simulata, non è stato effettuato un nuovo censimento. I risultati preliminari di questa rielaborazione sono però altamente significativi. Pertanto sono in via di programmazione ricognizioni sistematiche di tutti i siti d'altura, che permetteranno di elaborare i dati con analisi predittive, le quali, già in questo primo campione, risultano promettenti.

Infine, questo metodo è stato sviluppato per la ricerca degli insediamenti presenti nella valle Peligna, per cui sono a disposizione numerose fonti archeologiche, storiografiche ed epigrafiche che ben aiutano a ricostruire quello "spazio" dove sono attestati i fenomeni economici, insediativi e culturali, rintracciati dalle fonti e utilizzati come parametri di analisi computerizzata. Ciò non toglie che il metodo e le analisi proposte possano essere utilizzati in altre compagini culturali affini, sia in seno al territorio abruzzese, che in quello più propriamente sannita.

3. Le metodologie delle analisi di visibilità

I software open source di analisi spaziale hanno permesso una proliferazione di studi, metodi e strumenti per l'analisi dei più diversi contesti archeologici (Moscati 2019). Partendo da una base metodologica (Gillings *et al.* 2020) che contempla sia l'analisi spaziale sia il fenomeno archeologico (Brughmans, Brandes 2017), va ricordato il lavoro di Cardarelli (2006) sull'Appennino modenese, uno dei primi a sottolineare l'importanza della visibilità areale o ambientale, che indica come estensione di qualsiasi analisi di visibilità i limiti morfologici delle sommità prospicienti. Simile a questa impostazione è il lavoro sulle fortificazioni arcaiche abruzzesi di Acconcia, Ferreri 2016. Una diversa impostazione del problema è quella utilizzata da Putzolu (2015, 2016) e basata sulle teorie di Higuchi (1988). Putzolu

indica come raggio di visibilità non tanto la quantità di distanza espressa in misure, quanto la percezione ambientale dell'area. Tale metodo prende in considerazione più parametri, che nel loro insieme consentono di analizzare organicamente il concetto di visibilità; inoltre, riguardo al punto di stazionamento, perno sul quale si costruisce l'analisi spaziale, lo studio di Wheatley, Gillings (2000, 6-7) critica l'unicità del punto di osservazione che esclude, di fatto, la mobilità dell'osservatore.

I lavori sopracitati costituiscono l'ossatura del modello teorico a cui questo lavoro fa riferimento. Per i metodi di analisi spaziale, ricordiamo il caso studio di Vaste (Mastronuzzi, Vizzino 2020), nel quale sono analizzate le potenzialità della grafica tridimensionale per la lettura dei risultati delle analisi di viewshed. Un ulteriore lavoro estremamente promettente per le sue ricadute teoriche riguarda il sito di Montecorvino (FG), nel quale viene esplorata la valenza delle analisi di viewshed insieme alle elaborazioni di least-cost paths (D'Altilia, Favia 2019).

Per quanto riguarda le analisi di visibilità effettuate nel territorio dell'Abruzzo interno, in Acconcia, Ferreri 2016 sono state sviluppate le reti di intervisibilità, ossia quella trama di punti e linee che connettono i siti del territorio in un network di visibilità. Tale analisi prevede che un sito capace di vederne altri assuma una posizione privilegiata all'interno del territorio antropico. Ciò implica che anche la sua funzione debba essere privilegiata o comunque gerarchicamente superiore rispetto agli altri. Al contrario, un sito non connesso alla rete, o connesso debolmente, risulta essere un sito in una posizione marginale (in senso sia territoriale sia gerarchico). La schematicità di questa ricostruzione non tiene conto, però, dei dati provenienti dai singoli siti, o perché assenti o perché estremamente eterogenei tra di loro. Inoltre, non analizza gli aspetti qualitativi, basati sulla relazione che intercorre tra la distanza dell'osservatore e il numero di elementi riconoscibili. Per fare un esempio, al diminuire della distanza, gli elementi riconoscibili (strutture, individui, strade, boschi, campi, etc.) sono maggiori. Ma durante la notte, con l'utilizzo di fonti luminose, il paradigma cambia radicalmente, in quanto il contrasto tra fonti luminose e ambiente notturno offre all'osservatore una diversa qualità dell'informazione sul territorio.

4. Strutturazione dell'ambiente GIS e viewshed analysis

L'ambiente digitale per l'elaborazione della visibilità è stato simulato tramite il software QGIS 3.22 "białowieża": sono stati adoperati file raster DEM provenienti dai prodotti open source OpenDEM (passo di 25 m) e TINItaly (passo di 10 m). La cartografia digitalizzata proviene per lo più dalla cartografia IGM (scala a 1:25.000, 1:100.000), dalla CTR del 2007 della regione Abruzzo (scala 1:5000) e da un insieme di ortofoto e immagini

satellitari provenienti dai maggiori gestori open source commerciali e pubblici. L'elaborazione di visibilità è stata generata impostando l'altezza dell'osservatore a 1,5 m e ripetuta in diversi punti dell'altura scelti dall'Autore dopo una ricognizione dei siti. I dati di output sono stati uniti in un unico file raster al fine di avere la sommatoria di visibilità del singolo sito per un raggio di 20 km. Come controllo, sono state fatte alcune ricognizioni sui siti al fine di provare l'attendibilità delle simulazioni. I risultati delle analisi di viewshed sono stati trasposti anche a livello tridimensionale, attraverso il plug-in Qgis2threejsExporter, al fine di vagliare la possibilità di presentazione dei dati come nel caso di Vaste (Mastronuzzi, Vizzino 2020, 58).

5. Stato della questione: area di ricerca e popolamento di età arcaica

L'area di ricerca utilizzata per testare la nuova metodologia è la valle Peligna, la quale è compresa per maggior parte all'interno della provincia dell'Aquila e in misura minore in quella di Pescara (Comune di Popoli). Il nome deriva dai Peligni, popolo pre-romano originario del gruppo Sabellico (d'Ercole *et al.* 1990; Buonocore, Firpo 1991). Storicamente i Peligni sono attestati anche nella prospiciente valle Subequana (Campanelli 1998; d'Ercole 1998; Tulipani 2011) e nella valle del Sagittario (Dioniso 2015). Le maggiori catene montuose che circondano la valle Peligna sono il gruppo Morrone-Maiella a E; il gruppo Monte Mitra-Monte Rotella a S; il Monte Genzana a SO; il gruppo Monte Prezza a O e il Monte Mentino-Svolte di Popoli a N. La valle Subequana è delimitata dal gruppo del Monte Urano a E e dal massico del Sirente a O. Nel complesso, i massicci montuosi sono compresi tra i 1000 e i 2500 m s.l.m. L'orografia dell'ambiente è caratterizzata da gole (gole del Sagittario, gole dell'Aterno, gole di Popoli) e passi di montagna (passo San Leonardo, forca Caruso, valico della Forchetta, passo di Monte Serra), i quali sono stati sin dall'epoca antica i principali passaggi viari interregionali.

Come si evince dallo studio delle fonti antiche (Letta 1972, 2005) e dalle analisi territoriali e archeologiche (Mattiocco 1981; Van Wonterghem 1984; d'Ercole 1993), in Abruzzo è attestato il modello della fortificazione d'altura già dalla prima età del Ferro. Nel settore peligno, si conoscono pochissime tracce risalenti alla prima metà del I millennio a.C., di cui anche una fortificazione d'altura scavata in tempi recenti (Acconcia, d'Ercole 2018).

Va sottolineato che i siti nella letteratura di riferimento sono spesso privi di indicatori cronologici affidabili. Ciò è dipeso dall'utilizzo di termini come "età del Ferro" "età protostorica", "età preromana", "età ellenistica", "età arcaica" e "periodo italico" in maniera arbitraria e spesso senza un corrispettivo scioglimento in cronologia assoluta. Con termini così generici, e in

assenza dei materiali provenienti da questi siti (salvo alcune immagini edite negli studi), non è possibile inquadrare ulteriormente il dato cronologico.

Sepolture di quest'epoca, tutte scavate nel secolo scorso e di cui solo raramente si conservano i reperti, sono attestate un po' ovunque nel territorio. Completamente assenti sono i relativi insediamenti, i quali non sono mai stati identificati. Di conseguenza, le fortificazioni d'altura risultano essere gli elementi archeologici più consistenti e meglio studiati di tutto il periodo protostorico peligno. Esse si differenziano per dimensione, posizione, areale, tecniche costruttive e depositi archeologici. I principali studi sul settore, che spaziano dalla catalogazione dei siti (Van Wonterghem 1984; Dioniso 2015), all'analisi dei siti d'altura (d'Ercole 1993) con le rispettive campagne di scavo (Mattiocco 1981), fino all'analisi degli scavi moderni di siti di età del Ferro (Cosentino, Mieli 2006), ipotizzano una strutturazione diversificata, con compiti diversi da sito a sito, legati perlopiù allo sfruttamento del territorio e alle vie di comunicazione transregionali.

6. Dati

Dei 23 siti fortificati presenti in letteratura, solo 18 presentano un orizzonte cronologico che inizia dalla fine del VI sec. a.C., per interrompersi quasi sempre durante la piena età imperiale. Di conseguenza siti di sicura attribuzione alla prima età del Ferro (ad es. Colle Cipolla e altri: Acconcia, d'Ercole 2018) sono stati esclusi da questa analisi. I 18 siti restanti, che presentano informazioni estremamente eterogenee, sono stati rielaborati a seconda del loro grado di "affidabilità". I tre valori individuati per questa prima rielaborazione sono: siti con valore "sicuro" (tracce archeologiche visibili o non visibili registrate tramite documentazione scientifica, come fotografie, relazioni di scavo, scansioni tridimensionali, etc.); siti con valore "affidabile" (tracce archeologiche non visibili, registrate tramite documentazioni prescientifiche, come resoconti e diari di scavo); e siti con valore "ipotizzato" (tracce archeologiche non visibili, registrate tramite informazioni acquisite sul posto, per via orale e prive di documentazione). I risultati ottenuti sono di 4 siti "sicuri", 4 siti "ipotizzati" e 10 siti "affidabili" (Fig. 1). Riguardo alle dimensioni, 17 siti su 18 sono al di sotto dei 5 ettari di areale (con una media di 2,5-3 ettari). Grande eccezione è la fortificazione di Monte Mitra (Fig. 1, n. 10), che, racchiudendo un'area di 88 ettari, può essere inserita tra le fortificazioni preromane più grandi del centro Italia. Appare chiaro come l'enorme squilibro dimensionale di questo sito rispetto agli altri porti ad una interpretazione politico/gerarchica dell'intero territorio.

Il posizionamento orografico dei siti è stato analizzato a seconda della tipologia del rilievo su cui insiste la fortificazione. Questa elaborazione è stata eseguita tramite lettura dei siti su carta topografica: il risultato elaborato è

la presenza di 10 siti su rilievi "di versante", mentre i restanti 8 si trovano su rilievi "apicali". La differenza di queste due situazioni, entrambe ben note in letteratura, dipende dalla morfologia del rilievo su cui si imposta la fortificazione: se l'insediamento è posto sulla sommità di un rilievo su cui spostarsi equivale a scendere di quota, il sito verrà indicato come "apicale". Invece, se il sito si posiziona lungo la costa di un rilievo più grande, il sito verrà identificato come di "versante". È bene ricordare come questa classificazione, benché sia stata ridimensionata (Tuteri 2006; Faustoferri *et al.* 2010; Mattiocco 2010) a favore di una lettura più olistica del paesaggio e delle sue trasformazioni, non deve, a parere dell'Autore, essere completamente rigettata. La morfologia dei rilievi, da cui dipende la visibilità territoriale analizzata in questa ricerca, insieme al controllo della viabilità, la presenza di acqua e l'accesso a zone di montagna di sfruttamento stagionale è fondamentale per ricostruire i possibili utilizzi della fortificazione. Pertanto il posizionamento "apicale" o di "versante" è un elemento da tenere in stretta considerazione. Infine, l'altimetria di ogni sito è stata assegnata utilizzando i dati cartografici: i siti si dispongono da un minino di 515 m s.l.m. (Fig. 1, n. 18), ad un massimo di 1218 m s.l.m. (Fig. 1, n. 17).

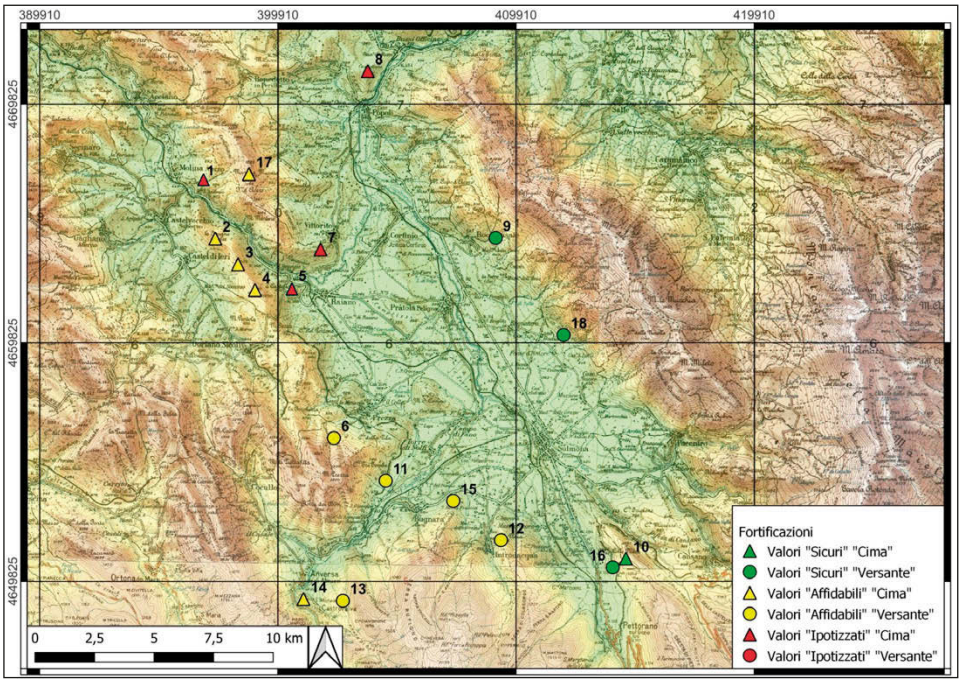


Fig. 1 – Carta delle fortificazioni in base al loro grado di affidabilità e di posizionamento in relazione all'orografia del rilievo (base cartografica IGM 1:100.000; elaborazione GIS dell'Autore).

7. Risultati e classificazione: la visibilità d'interazione

Le analisi di visibilità sono state eseguite su ogni sito con due diversi parametri spaziali. La prima, avente raggio di 20 km, è chiamata visibilità "ambientale". Essa permette di considerare l'ambiente che si vede dall'insediamento, comprendendo gli ostacoli orografici e i diversi biomi, entrambi ben visibili a questa distanza durante il giorno. Durante la notte, a questa distanza è possibile individuare con molta facilità fonti di luci artificiali, prodotte dalla combustione anche di piccola entità. La seconda visibilità, che chiameremo di "interazione", è stata calcolata con raggio di 5 km dal punto di osservazione ed è la distanza massima entro la quale sono ipotizzati quegli elementi che rendono possibile l'interazione visiva, ossia il riconoscimento di elementi antropici mobili e immobili, avente come scala di riferimento quella di un individuo.

Attraverso le ricognizioni effettuate in alcuni dei siti citati, è stato calcolato da chi scrive che entro questo raggio di visibilità è possibile identificare gruppi di individui in movimento. Di conseguenza, uno degli elementi più importanti che coinvolgono attivamente il movimento di individui sono gli assi viari, i quali sono sempre dipesi dalla complessa morfologia del comparto territoriale (Van Wonterghem 1984, 51-64), dall'età del Bronzo (Tozzi 1968, 253-254) fino e oltre l'età romana (Staffa 2000).

Non solo la visibilità, ma anche il suono è stato preso in considerazione per questa distanza come elemento d'interazione. È molto difficile elaborare dei parametri per l'interazione sonora: a differenza della visibilità, che varia a seconda della luce e delle condizioni atmosferiche, il suono viaggia a seconda della differente lunghezza d'onda tra i suoni gravi e i suoni acuti (Bertoldi *et al.* 2022). Per quanto i suoni gravi per le loro caratteristiche fisiche possono viaggiare per distanze maggiori, il suono acuto può essere direzionabile e soprattutto più potente. La ricezione del suono umano è legata alla pressione atmosferica, all'ambiente circostante e alla presenza di ostacoli, pertanto è difficile immaginare una ricezione, anche minima, oltre i 3 km. Ai fini di questo studio, non sono stati presi in considerazione gli elementi arborei come ostacolo alla visibilità, a causa della mancanza di dati paleo-ambientali. Inoltre, è ragionevole ipotizzare che le fortificazioni d'altura siano state libere dalla vegetazione per ovviare agli utilizzi delle strutture stesse (Gillings 2017).

Definiti gli "spazi" di visibilità, sono state approfondite le analisi riguardo la tipologia detta d'interazione: i file raster elaborati sono stati analizzati quantitativamente in base ai valori contenuti nei pixel del DEM. I risultati ottenuti per singolo sito sono stati inseriti all'interno di istogrammi visualizzando la quantità delle celle raster e divisi per il valore di ognuna. Di conseguenza, si è potuto visualizzare la quantità (espressa dal numero di celle) di visibilità, divisa per valori altimetrici (espressa dal valore delle singole celle). Lo studio di questi grafici ha portato ad una divisione dei siti, denominati "A" e "B".

7.1 *Visibilità di "tipo A"*

I siti di tipo "A" presentano una visibilità d'interazione espressamente incentrata a quote molto elevate (in media 890 m s.l.m.). Inoltre, il numero di celle (e di conseguenza dell'areale) comprende superfici molto limitate. Un esempio è il sito di Castrovalva (Fig. 1, n. 14; Figg. 2-3). Come si evince dalla Fig. 2, la visibilità non copre un vasto areale, ma al contrario mira essenzialmente a tre diversi passaggi in entrata della valle: a S, nei pressi del probabile sito fortificato in località Vignale (Fig. 1, n. 13), dove è attestata la viabilità verso il settore dei laghi di S. Domenico e di Scanno (Romana Del Fattore *et al*. 2018); a N, verso Anversa degli Abruzzi e Cocullo (Van Wonterghem 1984, 294-298); e ad E seguendo il fiume Sagittario verso il fondovalle Peligno. Tutti i passaggi sono all'interno della visibilità d'interazione. Questa analisi permette di ipotizzare una sorta di specializzazione del sito rispetto alla visibilità delle vie interregionali. È possibile infatti pensare che questo tipo di posizionamento debba aver giocato un ruolo chiave nella funzione del sito, in quanto la fortificazione cinge una sommità

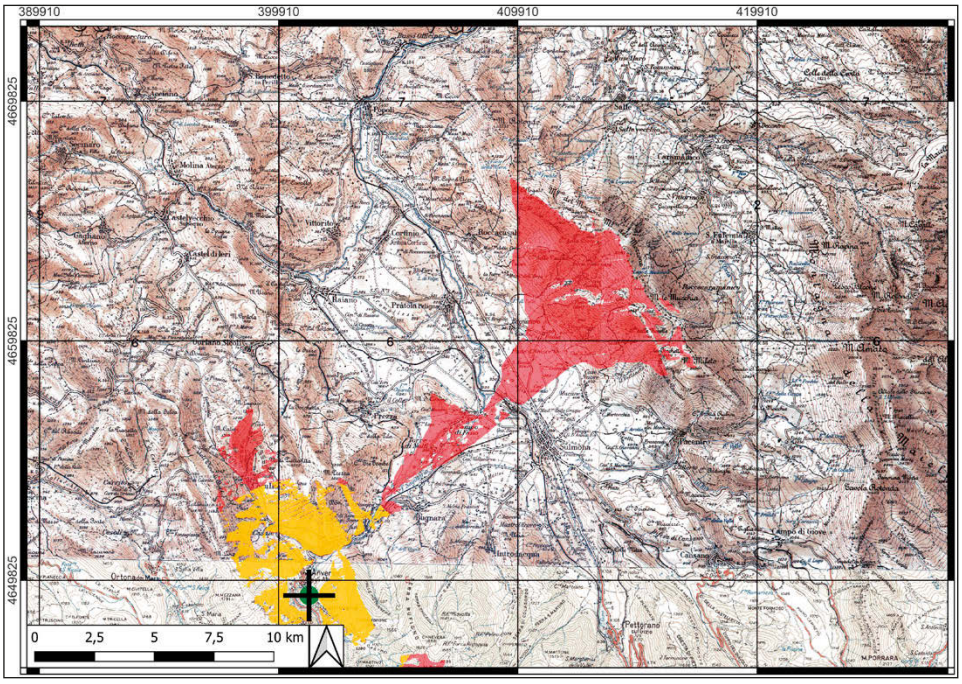


Fig. 2 – Carta della visibilità del sito fortificato di Castrovalva (sito n. 14). In rosso: la visibilità totale; in giallo: la visibilità d'interazione; la croce nera rappresenta il punto di osservazione (base cartografica IGM 1:100.000; elaborazione GIS dell'Autore).

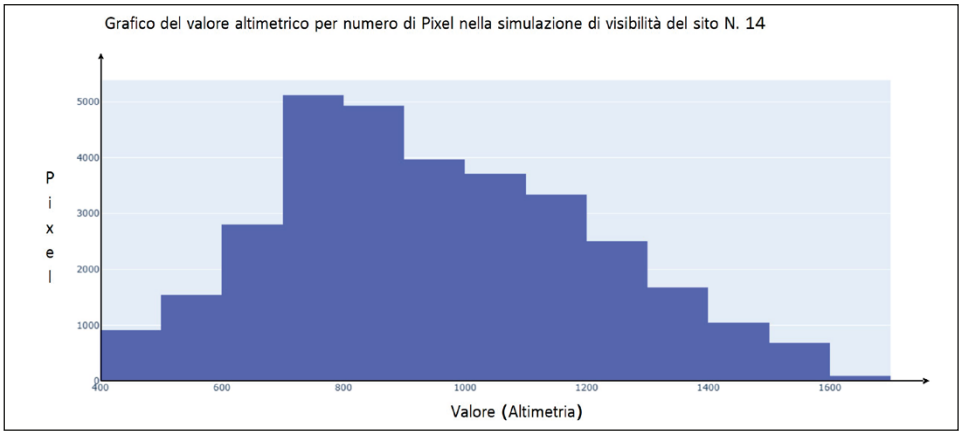


Fig. 3 – Risultati delle analisi raster della visibilità d'interazione (5 km) dalla fortificazione di Castrovalva (sito n. 14). Il diagramma è stato elaborato dall'Autore tramite la funzione "istogramma raster" di QGIS 3.22.

estremamente frastagliata a causa delle rocce affioranti, che la rendono poco adatta ad un insediamento stabile. Da una ricognizione puntuale del sito è stato possibile confermare la visibilità simulata dal GIS, in cui sono ben visibili i punti di passaggio sopra menzionati. Riassumendo, questa tipologia di sito presenta una visibilità areale condizionata dall'orografia circostante, in relazione con i passaggi in entrata e in uscita della valle. Ciò è confermato dall'analisi quantitativa di visibilità d'interazione, che mostra come la maggior parte della visibilità sia associabile a quote tra gli 800 e i 1000 m s.l.m.

7.2 *Visibilità di "tipo B"*

I siti di tipo "B" presentano una visibilità d'interazione estremamente più grande e la maggior parte dei valori altimetrici è ascrivibile al fondovalle (sotto i 500 m s.l.m.). Inoltre il numero di celle è estremamente più elevato rispetto ai siti di tipo "A", in quanto arriva anche a più di cinque volte il valore nominale. Un esempio è il sito di Colle delle Fate (Fig. 1, n. 9; Figg. 4-5). I siti di tipo "B" presentano una vasta visibilità territoriale poco influenzata dall'orografia del territorio, oltre ad un posizionamento su alture meno impervie e più accessibili. Da una prima analisi, questi siti sorgono prevalentemente su sommità di mezzacosta dei versanti montuosi, presentando di conseguenza un lato esposto al fondovalle e un altro verso la montagna. Un'altra caratteristica della tipologia è l'assenza dei passaggi viari transregionali all'intero della loro visibilità d'interazione. Ciò è dettato dal fatto che le principali vie di comunicazione sono situate o nei passi di montagna (a quote superiori gli

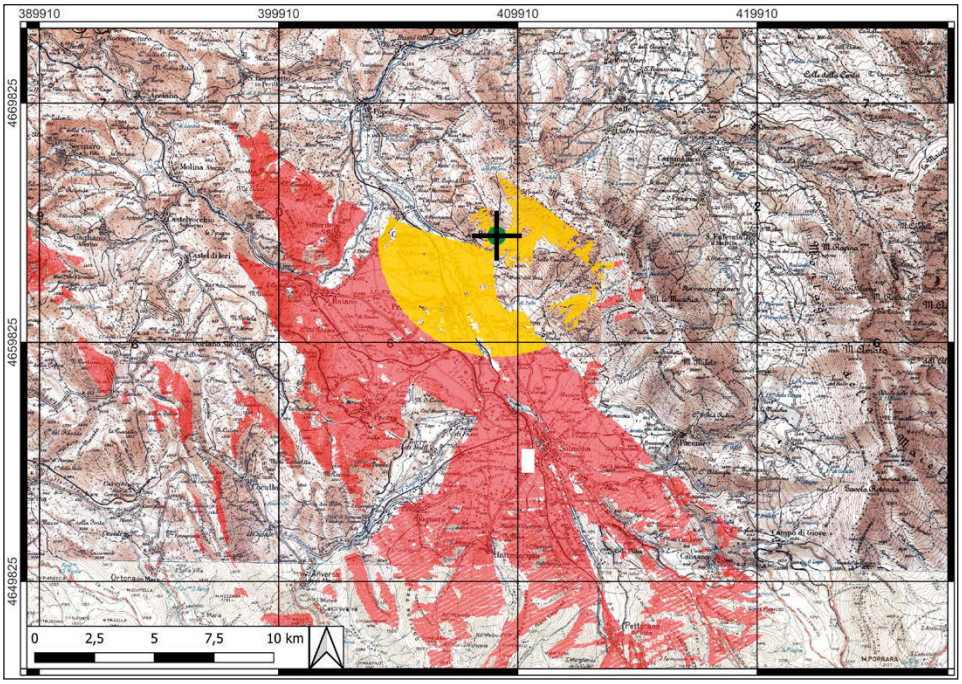


Fig. 4 – Carta della visibilità del sito fortificato di Colle delle Fate (sito n. 9). In rosso: la visibilità totale; in giallo: la visibilità d'interazione; la croce nera rappresenta il punto di osservazione (base cartografica IGM 1:100.000; elaborazione GIS dell'Autore).

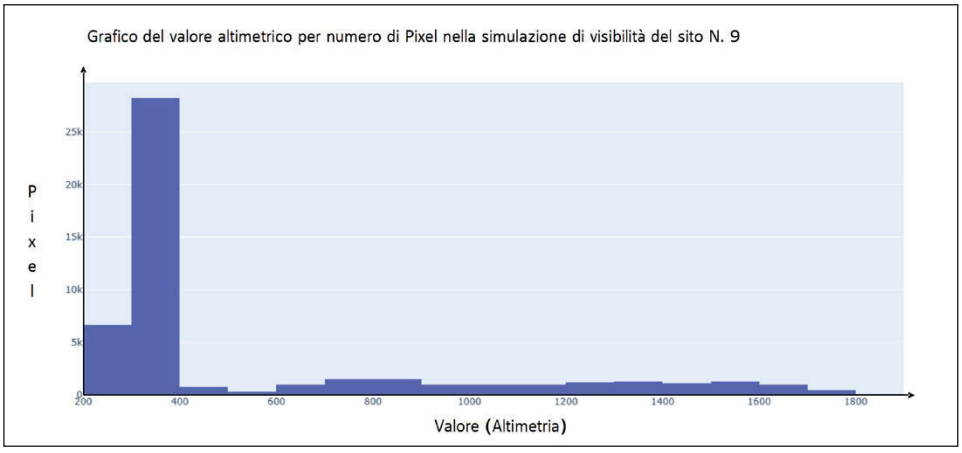


Fig. 5 – Risultati delle analisi raster della visibilità d'interazione (5 km) dalla fortificazione di Colle delle Fate (sito n. 9). Il diagramma è stato elaborato dall'Autore tramite la funzione "istogramma raster" di QGIS 3.22.

800 m s.l.m.), o nelle gole fluviali. Riassumendo, l'areale di visibilità simulata di questi siti posizionati lungo gli assi di viabilità interna è incentrata al controllo del fondovalle, a discapito del controllo dei passaggi in entrata e in uscita della valle. Come molti altri siti della stessa tipologia, Colle delle Fate presenta una cima molto più pianeggiante, dove tracce di un insediamento tardo arcaico e romano sono state individuate dagli scavi (Mattiocco 1981).

7.3 *La classificazione come strumento: siti "ibridi" e interpretazione*

La classificazione proposta non mira a semplificare in modo schematico la complessità dei siti d'altura. Il processo di identificazione e catalogazione deve necessariamente includere quei siti caratterizzati da elementi misti e non è limitato a una mera raccolta di dati. Piuttosto, è parte di una strategia di ricerca più ampia che permette di formulare ipotesi sull'uso non solo di un singolo sito, ma dell'intero sistema territoriale. Questo approccio non solo arricchisce la nostra comprensione dei singoli siti, ma apre anche la possibilità di comprendere le dinamiche complessive che caratterizzano l'interazione tra diversi siti all'interno di una stessa area geografica. Pertanto, la metodologia di classificazione applicata è funzionale alla lettura dei siti d'altura da un punto di vista unitario, così come già evidenziato da diversi studi comparativi dei sistemi insediativi arcaici (d'Ercole 1993; Acconcia, Ferreri 2016).

Un esempio che presenta caratteristiche simili alle due diverse tipologie è il sito fortificato di Monte Urano (Fig. 1, n. 4; Fig. 6). La vasta visibilità, che non sembra essere influenzata dall'orografia del territorio, potrebbe indurre a classificarlo come sito di tipo "B". Ma nell'analisi quantitativa del raster di visibilità d'interazione notiamo come, nonostante il picco di visibilità di quote sia ascrivibile tra i 300 e 400 m s.l.m. (tutta incentrata nella visibilità della Gola di San Venanzio e non del fondovalle), la maggior parte della visibilità è data da celle con valori compresi tra i 700 e 900 m s.l.m. (Fig. 7). Non solo, il totale delle celle non è caratterizzato da pochi valori, ma è frammentato in valori molto distanti tra loro, come avviene più frequentemente nei siti di tipo "A". Altre analogie con i siti del tipo "A" sono la posizione sulla sommità di un rilievo, la sua quota (1046 m s.l.m.) e la presenza di un'importante via di comunicazione, come il valico di Monte Serra, punto di passaggio di fondamentale importanza nel territorio, che mette in comunicazione la valle Peligna con la valle Subequana. Questo valico sarà utilizzato anche in età romana con il passaggio della *via Claudia Valeria* (Gardner 1920; Van Wonterghem 1984; Mattiocco 2010). Non è da escludere che i siti di Monte Urano (Fig. 1, n. 2-3-4) siano da considerare come un unico sistema, dove però solo la fortificazione del sito n. 4 ha una visibilità tale da poter comprendere nel suo raggio d'interazione il valico di Monte Serra.

Una situazione simile, ma sicuramente più organica, è la fortificazione di

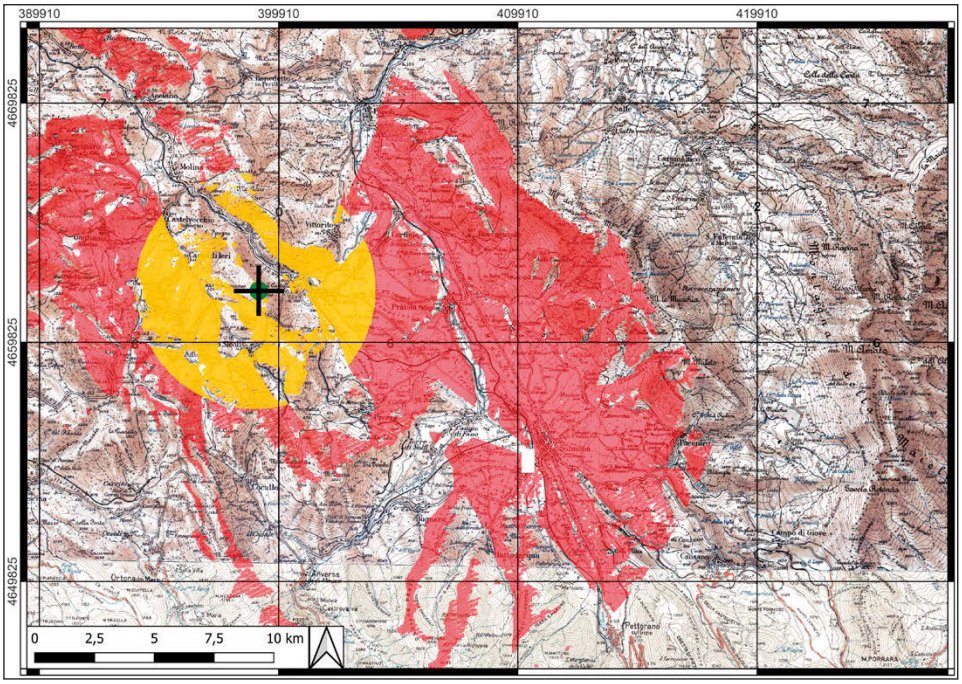


Fig. 6 – Carta della visibilità del sito fortificato di Rava del Piede Mozzo (Monte Urano) (sito n. 4). In rosso: la visibilità totale; in giallo: la visibilità d'interazione; la croce nera rappresenta il punto di osservazione (base cartografica IGM 1:100.000; elaborazione GIS dell'Autore).

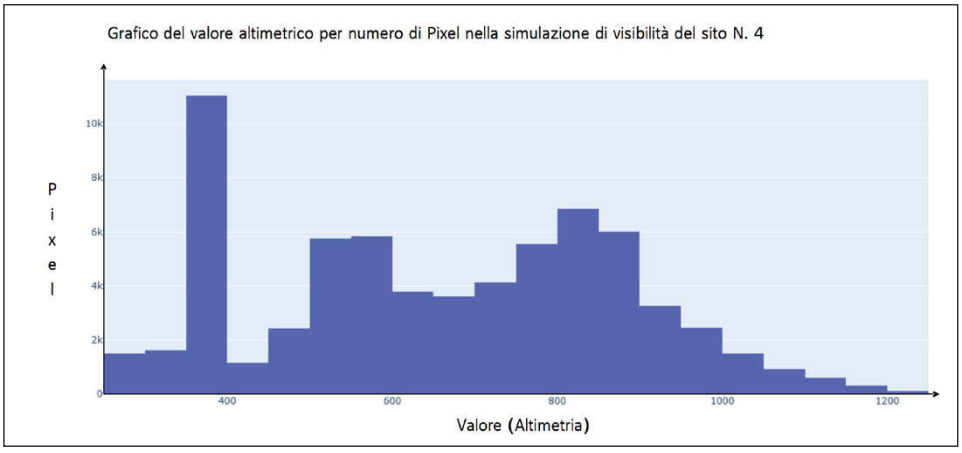


Fig. 7 – Risultati delle analisi raster della visibilità d'interazione (5 km) dalla fortificazione di Rava del Piede Mozzo (sito n. 4). Il diagramma è stato elaborato dall'Autore tramite la funzione "istogramma raster" di QGIS 3.22.

Valle del Pacile (chiamata anche Monte Mitra; Fig. 1, n. 10). Essa presenta un sistema di cime non diverse da quelle di Monte Urano (Fig. 1, nn. 2-4), con la presenza di un'unica cortina muraria che cinge le varie alture (Mattiocco 1981). Comprendendo la vallecola di Fonte Pacile, circondata da diverse cime, la fortificazione chiude all'incirca 80 ettari di areale, divenendo così la fortificazione più grande e più complessa dell'intera zona. All'interno della sua visibilità di interazione, la fortificazione ha un immediato accesso al millenario percorso interregionale N-S che mette in comunicazione l'Abruzzo interno con il Sannio Pentro. Come nel caso di Monte Urano, il collegamento con il Sannio sarà ristrutturato durante il periodo romano (Mattiocco 2010). Nonostante la sua indubbia diversità rispetto alle fortificazioni della zona, sia in termini di areale che di elementi archeologici, la visibilità d'interazione calcolata e analizzata risulta essere concentrata quasi esclusivamente a quote altimetriche di montagna, laddove è presente il suddetto passaggio interregionale verso il Sannio Pentro.

7.4 *Riepilogo dell'analisi dei dati*

Ogni sito fortificato ascrivibile all'età arcaica è stato classificato attraverso le due tipologie di visibilità, assegnate tramite i risultati delle analisi spaziali. I siti di tipologia "A" sono mediamente lontani più di 5 km dal fondovalle e pertanto un osservatore all'interno del sito non ha possibilità di identificare gli elementi antropici ivi presenti, i quali distano anche 8 km dalla cima fortificata. Ciò ha ripercussioni sul grado di accessibilità della fortificazione, il quale deve essere inteso anche come grado di difficoltà (non misurata) per raggiungere il sito. Trovandosi a cime mediamente più elevate, o in situazioni morfologiche particolari, i siti di tipo "A" richiedono maggiore sforzo (in termini di pendenza) e tempo (in termini di distanza). Al contrario, i siti di tipologia "B" sono molto più collegati al fondovalle, in termini di visibilità e di viabilità locale.

Nella Fig. 8 sono visualizzati i risultati delle analisi spaziali: i siti di tipologia "B" sono attestati prevalentemente su cime di versante. Anche se non si può definire questo elemento come probante di un insediamento stabile, la tipologia della cima è sicuramente un elemento da considerare nella costruzione delle nostre interpretazioni. Anche la quota del sito è strettamente legata alla tipologia di visibilità: il trend analizzato dimostra il cambiamento della tipologia di visibilità al crescere della quota assoluta.

Le analisi dei risultati di visibilità mettono in luce una correlazione tra quota del sito, morfologia dell'areale fortificato e visibilità. Aggiungendo a questa serie di correlazioni degli elementi "terzi", ossia gli elementi del paesaggio che non sono fortificazioni, ma biomi, viabilità e passaggi obbligati (valichi, passi, gole, etc.), si può cominciare a definire uno spazio "interattivo" tra siti, ambiente e controllo del territorio (Figg. 9-10).

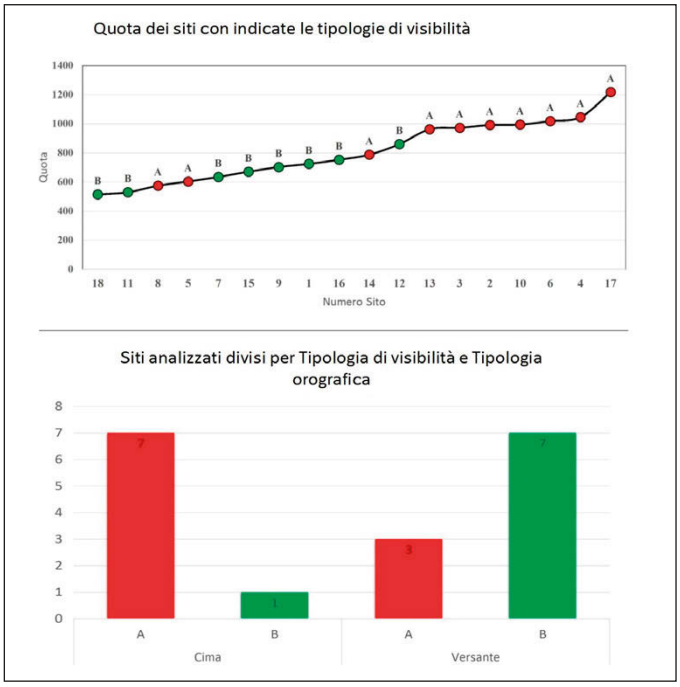


Fig. 8 – Grafici riassuntivi delle analisi dei siti. In alto: il grafico con i siti in ordine di altimetria assoluta con indicata la tipologia di visibilità; in basso: la catalogazione dei siti su base orografica divisa per tipologia di visibilità. I diagrammi sono stati elaborati dall'Autore con esportazione dei dati da QGIS 3.22 in formato tabellare.

ID	Comune	Toponimo	Orografia	Quota	Affidabilità	Tipologia
1	Molina Aterno	Colle Castellano	Versante	725	Ipotizzato	B
2	Castel di Ieri	Rave Fracide	Cima	992	Affidabile	A
3	Castel di Ieri	Rava del Barile	Cima	973	Affidabile	A
4	Castel di Ieri	Rava del Piede Mozzo	Cima	1046	Affidabile	A
5	Raiano	Castellone	Versante	604	Ipotizzato	A
6	Prezza	Castiglione	Versante	1019	Affidabile	A
7	Vittorito	Forcella, Belvedere Peligno	Cima	635	Ipotizzato	B
8	Popoli	Castiglione	Cima	575	Ipotizzato	A
9	Roccacasale	Colle delle Fate	Versante	703	Sicuro	B
10	Pettorano	Valle del Pacile	Cima	995	Sicuro	A
11	Bugnara	Monte Prezza	Versante	530	Affidabile	B
12	Introdacqua	Monte Plaja	Versante	861	Affidabile	B
13	Anversa degli Abruzzi	Capo di Valle Donica	Versante	963	Affidabile	A
14	Anversa degli Abruzzi	Castrovalva	Cima	788	Affidabile	A
15	Bugnara	Colle Tassito	Versante	671	Affidabile	B
16	Pettorano	Castiglione	Versante	753	Sicuro	B
17	Molina Aterno	Mandra Murata	Cima	1218	Affidabile	A
18	Sulmona	Santuario di Ercole Curino	Versante	515	Sicuro	B

Fig. 9 – Tabella riassuntiva dei siti esaminati (elaborazione grafica dell'Autore).

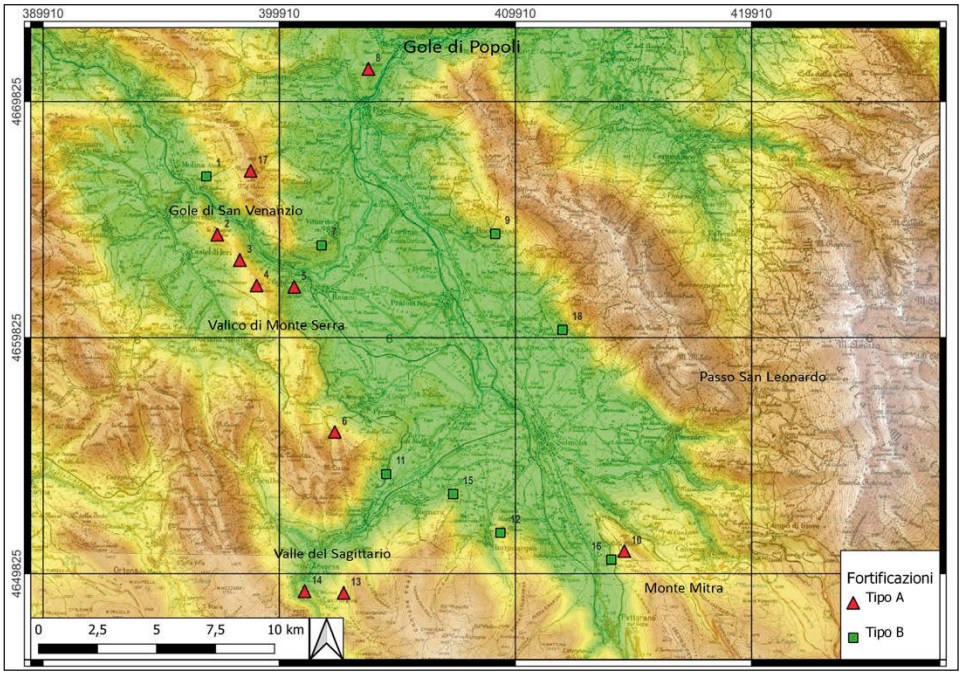


Fig. 10 – Carta riassuntiva dei siti presi in esame classificati a seconda della tipologia di visibilità (base cartografica IGM 1:100.000; elaborazione GIS dell'Autore).

8. Analisi dei risultati e conclusioni

I risultati dell'analisi mettono in luce un complesso sistema di specializzazione dei siti d'altura, basati sul controllo dei diversi biomi e delle vie di comunicazione. Questi risultati concordano con le analisi, già presenti nella storia degli studi, riguardanti i sistemi economici basati sullo sfruttamento silvo-pastorale (Mattiocco 1990; Staffa 2000; Faustoferri *et al*. 2010; Stek 2021, 18), sulla movimentazione di oggetti e sull'economia di guerra (d'Ercole *et al*. 1990). Non ci sono dati sufficienti per analizzare l'origine di questi siti: dai rari scavi (Mattiocco 1981) e dalle ricognizioni, sappiano che alcune fortificazioni potrebbero risalire già alla prima metà del I millennio, come nel caso della fortificazione di Colle Cipolla (Acconcia, d'Ercole 2018). Questo sito, datato all'VIII sec. a.C. e non utilizzato oltre il VI sec. a.C., è ascrivibile per il suo posizionamento alla tipologia "A" ma, a causa della sua datazione, il sito non è stato trattato nelle presenti analisi spaziali. Altro caso interessante è la fortificazione di Colle Tassito (Fig. 1, n. 15): le evidenze archeologiche provenienti dalle sepolture e dalle

ricognizioni (Mattiocco 1981; Van Wonterghem 1984) testimoniano una sicura presenza di età arcaica, ma l'assenza completa di tracce risalenti al periodo romano comuni agli altri siti. Altro sito anomalo, di incerta cronologia, è il sito di Mandra Murata (Fig. 1, n. 17). Questa fortificazione è posizionata a 1218 m sl.m. (la quota più alta tra quelle prese in esame). L'elevata altitudine e il posizionamento al centro di un grande massiccio montuoso rendono il sito molto più simile ad un sito della prima età del Ferro, ma la mancanza di ricognizioni e di dati di cultura materiale invitano alla prudenza.

Riassumendo, la forma insediativa della fortificazione d'altura non presenta dei cambiamenti radicali tra la prima età del Ferro e l'epoca arcaica. La crisi dei sistemi monarchici di VI sec. a.C., ben visibile a Colle Cipolla (La Regina 2004, 2011; Acconcia, d'Ercole 2012, 2018), è seguita da una proliferazione di siti che solo in parte potrebbero ricalcare i siti precedenti (come parzialmente i siti di Colle Mitra-Valle del Pacile, Colle Tassito, Castrovalva-Anversa). A questo riutilizzo delle sedi vanno aggiunti i siti di nuova fondazione (come Colle delle Fate). Se quindi la forma insediativa persiste, la posizione cambia drasticamente. Con la fine di siti posti a quote molto elevante, la prosecuzione di altri e la fondazione di nuove fortificazioni, il baricentro delle attività antropiche risulta essere indubbiamente il fondovalle. Questo "spostamento" accelera dall'inizio dell'epoca arcaica a seguito della crisi monarchica, ma anche, probabilmente, della pratica sempre più diffusa dell'agricoltura non intensiva. Per quanto la documentazione archeologica non disponga dei materiali per registrare questo cambiamento, non dobbiamo incorrere nell'errore di pensare che le antiche forme di sfruttamento vadano perse. Anzi, sarebbe più consono parlare dell'inizio della commistione tra le attività silvo-pastorali con quelle agricole.

Questo cambiamento potrebbe essere la risposta ad un altro fenomeno, finora mai preso in considerazione, ossia il brusco cambiamento climatico avvenuto nella prima metà del I millennio a.C. In questo periodo si registra un abbassamento abbastanza intenso delle temperature e un aumento di umidità in tutto il centro Italia per quasi un millennio (Giraudi 2007, 23). Questo cambiamento potrebbe aver reso inospitali le zone di alta montagna (come Colle Cipolla e forse anche Mandra Murata), a favore di quote più basse. Possiamo ipotizzare come la crisi dei sistemi politici dell'età del Ferro, collegata verosimilmente ai cambiamenti climatici e quindi ad un diverso sistema di sfruttamento delle risorse, abbia costituito la necessità di una gestione del territorio di "mezzacosta", in grado di garantire sia l'approvvigionamento proveniente dal fondovalle (verosimilmente attività agricole), senza però rinunciare a quelle di media e alta quota (attività venatorie e silvo-pastorali).

Nonostante le fortificazioni stesse siano sempre state ritenute come prova di rapporti conflittuali tra le diverse comunità dei siti (Faustoferri *et al.*

2010), uno sfruttamento dei diversi biomi e delle vie di comunicazione comuni non può che essere gestito da un potere politico detenuto a livello comunitario. La nascita di comunità politiche, registrate dai Romani su base etnica/gentilizia come i Peligni, fa riferimento proprio alla seconda metà del I millennio a.C. (registrate sotto forma di migrazioni o *veria sacra* dall'annalistica romana). In linea con questa tradizione, è da ricordare la preziosissima iscrizione di Pratola Peligna (AQ), nella quale un *meddix* inaugura una fontana/struttura idrica proprio nel fondovalle (Vetter 1953, 144). Appare possibile che la trattazione annalistica romana abbia reinterpretato una trasformazione politico/gestionale avvenuta in tutto il territorio sannita proprio a seguito della crisi monarchica, definendo non solo la nascita di "stati" etnici, ma anche una politica comunitaria/oligarchica. Tutti questi elementi non indicano un rapporto conflittuale tra i siti di una medesima compagine, ma anzi implicano una strutturazione politica/territoriale dei siti d'altura, registrata dalle fonti e dimostrata dalle analisi dei siti fortificati.

Da singole comunità che intrattenevano dei vaghi rapporti con i propri vicini, si potrebbe giungere all'ipotesi di una strutturazione organica di un territorio da parte di una singola (e più grande) entità. Questa entità, ovvero i Peligni, ha sviluppato e utilizzato in maniera comunitaria un territorio molto complesso dal punto di vista orografico, al fine di individuare e gestire le risorse offerte dai diversi biomi. In un territorio poco adatto allo sfruttamento fondiario e al conseguente ritardo dell'urbanizzazione (d'Ercole *et al.* 1990; d'Ercole 1993; Stek 2017), queste comunità diversificarono le loro fonti di sostentamento in base alle necessità (economia di rapina e scambi commerciali) e in base alla stagionalità (economia silvo-pastorale).

Questa nuova strutturazione economica, insieme alla rinnovata forma politica, è in linea con la lettura critica dei corredi funerari tra V e IV sec. a.C., nei quali si assiste ad una standardizzazione (Dioniso 2015, 69). Con l'ingresso del territorio nell'orbita romana all'inizio del III sec. a.C., continua quel lento spostamento dei centri di potere al fondovalle (Merola 2023), con l'elevazione a *municipia* di siti di fondovalle nel I sec. a.C. I siti d'altura continueranno ad essere parzialmente frequentati ancora nel periodo tardo repubblicano e primo imperiale.

Concludendo, i risultati qui riportati sulla genesi e lo sviluppo degli insediamenti d'altura di questo particolare settore appenninico devono essere letti alla luce degli studi sui materiali (Dioniso 2015), degli studi linguistici (Buonocore 1989; Buonocore, Poccetti 2013), sulle magistrature (Campanile, Letta 1979; Capogrossi Colognesi 2002; Letta 2006, 2010) e sulle tipologie funerarie e insediative (Mattiocco 1969). Aggiungendo a questi elementi l'organicità e la specializzazione dei siti d'altura, si delinea una società "statale", con un sistema economico/sociale estremamente diverso da quello basato sulla *polis/urbs*. Le analisi spaziali utilizzate per comprendere

il posizionamento dei siti d'altura mettono in luce un territorio amministrato in senso unitario, dove i singoli siti non sono altro che elementi di uno stesso organismo economico e politico.

Antonio Merola
Dipartimento di Ricerca e Innovazione Umanistica
Università degli Studi di Bari
antonio.merola@uniba.it

BIBLIOGRAFIA

Acconcia V., d'Ercole V. 2012, *La ripresa delle ricerche a Fossa (2010). L'Abruzzo tra il Bronzo Finale e la fine dell'età del Ferro: proposta di periodizzazione sulla base dei contesti funerari*, «Archeologia Classica», 63, 7-54.

Acconcia V., d'Ercole V. 2018, *La necropoli de Le Castagne a Castel di Ieri (AQ): cultura materiale e inquadramento territoriale. Gli scavi del 1983 e 1989*, «Bollettino di Archeologia Online», 5-42.

Acconcia V., Ferreri S.L. 2016, *Una proposta di analisi GIS per la lettura degli assetti insediativi nell'Abruzzo interno tra l'età del Ferro e la romanizzazione*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 179-195 (https://doi.org/10.19282/AC.27.2016.09).

Bertoldi S., Castiglia G., Castrorao Barba A., Menghini C. 2022, *Soundscape and catchment analysis for a spatial geography of medieval monastic estates in Southeastern Tuscany (11th-12th centuries)*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 95-114 (https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.06).

Bourdin S. 2006, *I centri fortificati vestini...venti anni dopo*, «Itinera Archaeologica. Contributi di Archeologia Abruzzese», 6-36.

Bourdin S. 2012, *Les peuples de l'Italie préromaine: identités, territoires et relations interethniques en Italie centrale et septentrionale (VIII^{e}-1er s. av. J.-C.)*, Rome, Bibliothèque des Écoles françaises d'Athènes et de Rome.

Brughmans T., Brandes U. 2017, *Visibility network patterns and methods for studying visual relational phenomena in archeology*, «Frontiers in Digital Humanities», 4, 17 (https://doi.org/10.3389/fdigh.2017.00017).

Buonocore M. 1989, *La tradizione epigrafica del culto di Ercole tra i Peligni*, in E. Mattiocco (ed.), *Dalla villa di Ovidio al santuario di Ercole Curino*, Sulmona, Deltagrafica, 193-206.

Buonocore M., Firpo G. 1991, *Fonti latine e greche per la storia dell'Abruzzo antico*, L'Aquila, Colacchi.

Buonocore M., Poccetti P. 2013, *Una nuova iscrizione peligna del gruppo "an(a)c(e)ta"*, «Epigraphica», 75, 59-106.

Campanelli A. 1998, *La valle subequana in età romana*, «Archeologia in Abruzzo», 71-76.

Campanile E., Letta C. 1979, *Studi sulle magistrature indigene e municipali in area italica*, Pisa, Giardini Editori e Stampatori.

Capogrossi Colognesi L. 2002, *Persistenza e innovazione nelle strutture territoriali dell'Italia Romana: l'ambiguità di una interpretazione storiografica e dei suoi modelli*, Napoli, Jovine.

Cardarelli A. 2006, *L'Appennino modenese nell'età del Bronzo*, in A. Cardarelli, L. Malnati (eds.), *Atlante dei beni archeologici della provincia di Modena*, II, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Cosentino S., Mieli G. 2006, *Insediamenti della prima età del Ferro in Abruzzo: la struttura abitativa di Cansano (L'Aquila): scavi 2005*, «Rivista di Scienze Preistoriche», 56, 483-504 (https://doi.org/10.1400/206426).

D'Altilia L., Favia P. 2019, *Il sito medievale di Montecorvino (FG) e il suo territorio. Analisi spaziali in ambiente GIS open source*, «Archeologia e Calcolatori», 30, 507-510 (https://doi.org/10.19282/ac.30.2019.41).

d'Ercole V. 1993, *Modelli insediamentali nell'Abruzzo preistorico*, in *Abruzzo e Molise. Ambienti e Civiltà nella Storia del Territorio*, Mantova, Edizioni Centro Federico Odorici, 6-17.

d'Ercole V. 1998, *La conca subequana nella protostoria*, «Archeologia in Abruzzo», 63-70.

d'Ercole V., Martellone A. 2005, *La problematica dei confini nella protostoria d'Abruzzo*, in *Il confine nel tempo*, *Atti del Convegno (Ancarano 2000)*, L'Aquila, Colacchi, 55-124.

d'Ercole V., Menozzi O. 2016, *Strutture abitative nell'Abruzzo preromano*, in G.M. Della Fina (ed.), *Dalla capanna al palazzo. Edilizia abitativa nell'Italia preromana*, *Atti del XXIII Convegno internazionale di Studi sulla storia e l'archeologia dell'Etruria (Orvieto 2015)*, Roma, Edizioni Quasar, 413-442.

d'Ercole V., Papi R., Grossi G. 1990, *Antica terra d'Abruzzo: Dalle origini alla nascita delle repubbliche italiche*, I, L'Aquila, Editoriale Abruzzese.

Dioniso A. 2015, *La valle del Sagittario e la conca peligna, Abruzzo, tra il IV e il I secolo a.C. Dinamiche e sviluppi della romanizzazione*, BAR International Series 2735, Oxford, Archaeopress.

Faustoferri A., Di Stefano S., Lapenna S., Mattiocco E., Riccitelli P. 2010, *Gli insediamenti d'altura in Abruzzo: rilettura dei modelli di occupazione del territorio*, «Quaderni di Archeologia d'Abruzzo», 2, 419-427.

Gardner R. 1920, *The Via Claudia Valeria*, «Papers of the British School at Rome», 9, 75-106.

Gillings M. 2017, *Mapping liminality: Critical frameworks for the GIS-based modelling of visibility*, «Journal of Archaeological Science», 84, 121-128.

Gillings M., Hacigüzeller P., Lock G. 2020, *Archaeology and Spatial Analysis*, in M. Gillings, P. Hacigüzeller, G. Lock (eds.), *Archaeological Spatial Analysis: A Methodological Guide*, Taylor & Francis Inc.

Giraudi C. 2007, *Le variazioni climatiche in Italia centrale negli ultimi 10.000 anni*, «Quaderni della Società geologica italiana», 1, 19-25.

Higuchi T. 1988, *The Visual and Spatial Structure of Landscapes*, Cambridge, MA, MIT Press.

La Regina A. 2004, *Popoli e formazione della prima Italia*, in G. De Benedetti, *Sulle colonie fondate durante la seconda guerra sannitica. Le conferenze del premio E.T. Salmon*, IV, Campobasso, Fondazione Salmon, 83-98.

La Regina A. 2011, *Il guerriero di Capestrano e le iscrizioni paleosabelliche*, in L. Franchi dell'Orto (ed.), *Pinna Vestinorum e il popolo dei Vestini*, Roma, L'Erma di Bretschneider.

Letta C. 1972, *I Marsi e i Peligni nell'antichità*, Milano, Cisalpino-Goliardica.

Letta C. 2005, *Vicus rurale e vicus urbano nella definizione di Festo (pp. 502 e 508 l.)*, «Rivista di Cultura Classica e Medioevale», 47, 1, 81-96.

Letta C. 2006, *Il vicus come articolazione del pagus in area centro-appenninica: aspetti istituzionali e intrecci di competenze*, in D. Caiazza (ed.), *Samnitice loqui. Studi in onore di Aldo L. Prosdocimi per il premio I Sanniti*, 2, Alife, Arti Grafiche Grillo, 297-312.

Letta C. 2010, *Nuove prospettive per lo studio di vici e pagi nell'Italia centrale appenninica*, «Quaderni di Archeologia d'Abruzzo», 2, 65-69.

Mastronuzzi G., Vizzino G. 2020, *GIS and DTM for the analysis of the archaelogical data in Vaste (Southern Apulia)*, «SCIRES-IT - SCIentific REsearch and Information Technology», 10, 2, 53-64 (https://doi.org/10.2423/i22394303v10n2p53).

Mattiocco E. 1969, *Antiche sepolture peligne*, «Rivista dell'Istituto di Studi Abruzzesi», 1, 171-187.

Mattiocco E. 1981, *Centri fortificati preromani nella conca di Sulmona*, Chieti, Tipolitigrafia Giuseppe Fabiani.

Mattiocco E. 1990, *Vie pastorali ed insediamenti protostorici dall'altopiano di Navelli alla valle del Sangro*, in *Giornate internazionali di studio sulla transumanza. Atti del Convegno (L'Aquila, Sulmona, Campobasso, Foggia 1984)*, L'Aquila, 81-105.

Mattiocco E. 2010, *La viabilità antica tra la terra dei Peligni e il Sannio settentrionale*, «Quaderni di Archeologia d'Abruzzo. Notiziario della Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Abruzzo», 2 (https://doi.org/10.1400/210941).

Merola A. 2023, *Romanizzazione a "diverse velocità". Il caso della valle Peligna tra modelli teoretici e analisi spaziali*, «Agri Centuriati», 71-90 (https://doi.org/10.19272/202309101004).

Moscati P. 2019, *Informatica archeologica e archeologia digitale. Le risposte dalla rete*, «Archeologia e Calcolatori», 30, 21-38 (https://doi.org/10.19282/ac.30.2019.03).

Putzolu C. 2015, *L'alta Valle del Taro: strategie locazionali in ambiente montano*, «Archeologia e Calcolatori», 26, 315-323 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=801).

Putzolu C. 2016, *La valle del Taro nell'età del Bronzo*, BAR International Series 2814, Oxford, Archaeopress.

Romana Del Fattore F., Rizzo A., Felici A. 2018, *From people to landscapes. The Fluturnum Project: Archaeology and anthropology in the Tasso-Upper Sagittarius valley (Italy, The Province of L'Aquila-AQ)*, in A. Pelisiak, M. Nowak, C. Astaloş (eds.), *People in the Mountains: Current Approaches to the Archaeology of Mountainous Landscapes*, Oxford, Archaeopress, 15-46 (https://doi.org/10.2307/j.ctv1pdrqpg).

Staffa R.A. 2000, *Abruzzo: strutture portuali e assetto del litorale fra antichità ed altomedioevo*, in C. Zaccaria (ed.), *Strutture portuali e rotte marittime dell'Adriatico di età romana*, Trieste-Roma, Editreg Srl, 343-413.

Stek T.D. 2017, *Motivazioni e forme alternative dell'espansionismo romano repubblicano. Il caso delle colonie latine nelle aree interne appenniniche*, in G. Mastrocinque (ed.), *Paesaggi mediterranei di età romana. Archeologia, tutela, comunicazione*, 47, Bari, Edipuglia, 135-147.

Stek T. 2021, *The 'state' of the Samnites and the 'state' of research in Samnium*, «Papers of the Royal Netherlands Institute in Rome», 69, 15-19.

Tozzi C. 1968, *Insediamento con resti piceni nella conca Peligna*, «Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie», 75, 246-285.

Tulipani L. 2011, *Castelvecchio Subequo (AQ). Saggi archeologici preventivi lungo la S.S. 5 Via Tiburtina Valeria*, «Quaderni di Archeologia d'Abruzzo. Notiziario della Soprintendenza per i Beni archeologici dell'Abruzzo», 3, 328-321.

Tuteri R. 2006, *A sette miglia da Sulmo, alle porte del Sannio: Ocriticum*, in D. Caiazza (ed.), *Samnitice loqui. Studi in onore di Aldo L. Prosdocimi per il premio I Sanniti*, 2, Alife, Arti Grafiche Grillo, 179-201.

Van Wonterghem F. 1984, *Svperaeqvvm Corfinivm Svlmo*, Forma Italiae, I, Firenze.

Vetter E. 1953, *Handbuch der Italischen Dialekte*, I, Heidelberg, Carl Winter- Universitätsverlag.

Wheatley D., Gillings M. 2000, *Vision, perception and GIS: Developing enriched approaches to the study of archaeological visibility*, in G. Lock (ed.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press, 1-27.

ABSTRACT

This paper analyses a new form of environmental visibility of ancient highland sites in Abruzzo (Central Italy) during arcaic period. This investigation offers unique opportunities for understanding the management of economic and political spaces of pre-Roman populations (i.e., Peligni). Through spatial analyses, the sites of valle Peligna are classified into different types. Then, they are contextualised within the historical and archaeological landscape. The results offer new clues for identifying a nonurban state system, which is well known in ancient literature but has yet to be traced in archaeological reconstructive models.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 305-328
doi 10.19282/ac.35.1.2024.20

ANALYTICAL APPROACHES AND DIGITAL METHODS IN ALLUVIAL ARCHAEOLOGY: THE 'ANCIENT SHIPYARD' OF PISA-SAN ROSSORE AS A CASE STUDY

1. Alluvial archaeology

Alluvial archaeology has developed as a field of environmental archaeology in recent years as part of a growing interest in wet environments[1], particularly for their ability to preserve 'archaeological memory'. One of the matters most debated concerns the study of archaeological records in alluvial contexts: since they belong to ever-changing landscapes, the interpretation of finds is difficult (Mayoral *et al.* 2012). The main critical aspect lies in recognizing the contexts of primary deposition, as the artifacts are conveyed into the archaeological deposit by the force of the alluvial flood flow. Ceramic assemblages are particularly undervalued; indeed, the literature reveals disagreement on the effectiveness of ceramic materials as dating artifacts, given their high degree of fragmentation, which makes chrono-typological associations challenging (Brown, Ellis 1995; Brown 1997, 59; Ferrarese Lupi, Lella 2013). This paper aims to propose some analytical approaches and digital methods for the study of ceramic assemblages resulting from alluvial floods (Tescione 2019[2]; Cicala, Tescione 2022).

2. The case study

To test the analytical approach, the archaeological site of the 'Ancient Shipyard' of Pisa-San Rossore (Italy) has been selected as a case study (Fig. 1). This site has been affected by a dense sequence of catastrophic and highly impactful alluvial floods, which have left their mark on its millennia-long fluvial history. Geomorphological analyses have allowed the identification of the presence of a riverbed, presumably the ancient course or meander of the Serchio River (*Auser* in Roman times), located approximately 1 km N of a bend in the Arno River and about 3-4 km from the current coastline (Camilli, Setari 2005, 14; Benvenuti *et al.* 2006). In pre-Roman times, this ancient channel had an uninterrupted flow into the sea, allowing ships to transport their cargoes in calm waters towards the city of Pisa. Subsequently, it would converge with the Arno River near Pisa (Camilli *et al.* 2009).

[1] In the form of Wetland Archaeology, for example.

[2] This paper is an excerpt from a doctoral thesis (Tescione 2019), currently being published.

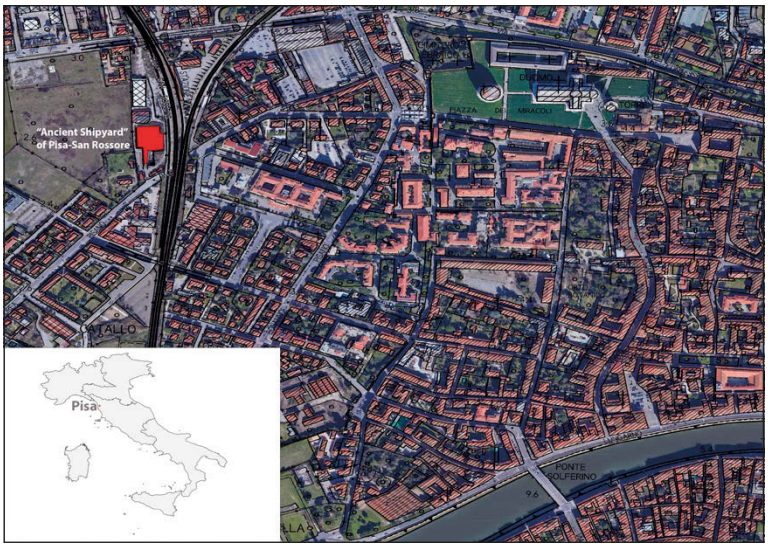


Fig. 1 – Placement of the case study.

Sedimentological analysis allowed the identification of four sandy lenticular lobes, incorporating ships and other archaeological remains. These lobes are associated with recurrent alluvial floods of the Arno (Benvenuti *et al.* 2006). Indeed, during exceptional alluvial floods linked to periods of heavy rainfall, the Arno, breaking its banks, would discharge large quantities of water and sediments into the dock area, overwhelming ships in transit or at rest and covering them with sand. Gradually, it filled the available space in the channel area, ultimately leading to its definitive abandonment. Over time, fluvial deposits have been added, causing erosive processes even on the channel bed itself. This resulted in the secondary deposition of some materials accumulated from previous floods. Inter-flood periods indicate the reuse of the river channel, as demonstrated by the presence of thin layers with clayey sediments recorded in each unit and documented by more recent archaeological materials from S to N (Camilli *et al.* 2005, 75; Benvenuti *et al.* 2006). The chronological calibration of the four lobes indicates that catastrophic alluvial floods of the River Arno occurred on a centennial pattern between the 3rd century BC (Pace 2020) and the 5th century AD (Camilli *et al.* 2006, 20). The formation processes of the alluvial floods are attributable to a combination of environmental factors (high-magnitude hydroclimatic events, sea level fluctuations, geomorphological and sedimentary processes) and anthropogenic features (deforestation, centuriation) (Camilli, Setari 2005, 16; Benvenuti *et al.* 2006).

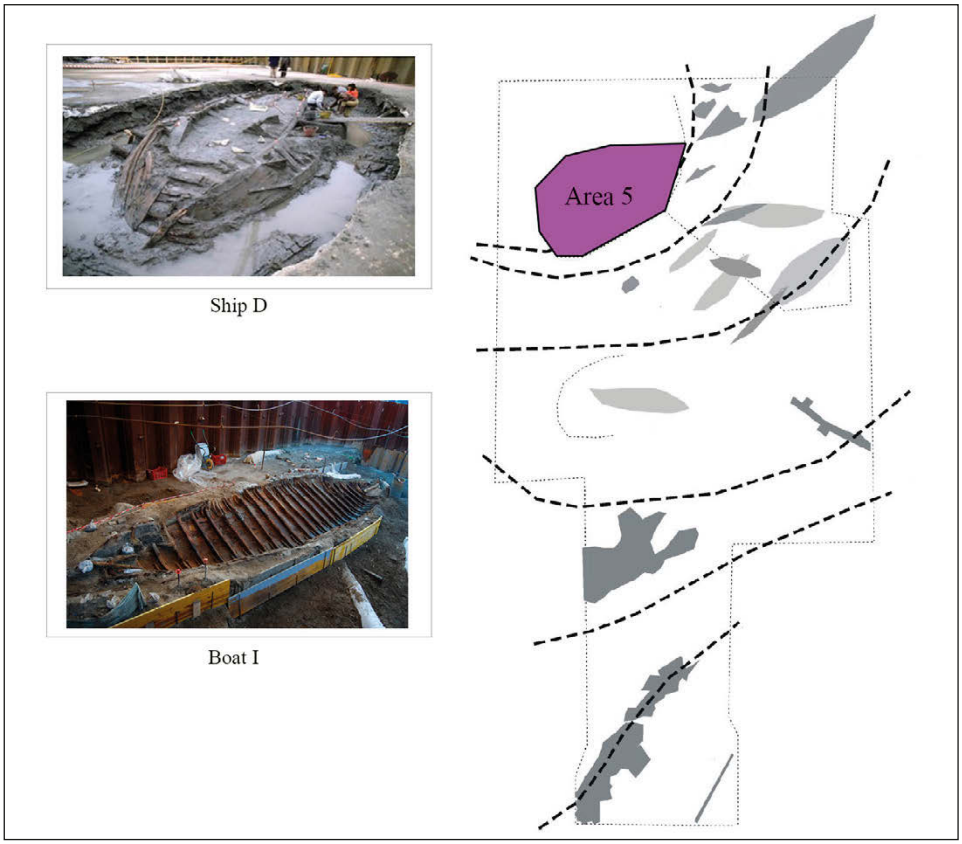


Fig. 2 – Area 5 positioning (re-elab. after Camilli *et al*. 2005, fig. 2): Ship D and Boat I at the time of the discovery (©Museo delle Navi Antiche di Pisa).

Excavation campaigns have revealed a complex stratigraphic sequence, documenting the history of a landing for approximately 1200 years, from the 6th century BC to the 7th century AD (Camilli 2012, 14-18). The extreme complexity of the stratigraphic sequence of the archaeological site has made it necessary to select a sample area. Analysis thus focused on the ceramic assemblage derived from Area 5 deposits, located in the NW sector of the archaeological site (Fig. 2). This area constitutes the northernmost segment of the San Rossore riverbed. What it represents is not confined to the final phase of the channel's life: analysis of the deposit confirms the succession of alluvial events that characterize the entire history of the paleochannel. The most remarkable events in the stratigraphic sequence of Area 5 are represented by the sinking of Ship D and Boat I. Ship D was a river barge, 14 m long

and 6 m wide, overwhelmed by a flood in the Late Roman period[3] and Boat I was a Roman *linter*, whose wreckage has been dated from ^{14}C analyses to the first half of the 3rd century AD.

3. Analytical approaches and digital methods

3.1 *Stratigraphic data processing*

The quantity and diversity of data produced from the excavation of the Boat I and Ship D deposit allowed the application of GIS technology (using the QGIS platform), which offered several advantages: the easy general and analytical consultation of the context; the processing of quantitatively significant calculations and queries; the spatial location of artifacts; and the production of various graphical outputs related to the demanded themes. One of the initial applications was to the stratigraphic reconstruction, which, due to its high level of difficulty, required the combined use of various research tools (Fig. 3).

The first step involved data acquisition, reprocessing and the standardization of the various data produced by different operators in different years. The initial task included integrating the overall plan of the archaeological site and, consequently, Area 5, into a GIS, linking the overall plan to specific UTM coordinates using the geodetic datum EPSG:3003 (Monte Mario/Italy zone 1). One of the primary challenges was creating quoted raster images for all identified archaeological units, processing altitudinal isosurfaces for each unit. The next step involved the association of the single unit and phase with a specific polygon-type shapefile. These operations aimed to have a greater number of graphic elements to reconstruct the paleo-landscape. The characteristics of each archaeological unit were also recorded in a PostgreSQL database, integrated into the GIS platform. This allowed the sedimentological peculiarities observed for each unit to connect archaeological analysis conducted in Area 5 with geological reports (Benvenuti *et al.* 2006). A real 'stratigraphic information system' has been created through the fusion of archaeological data with the tools provided by the GIS platform (Desachy 2008, 151).

The second phase involved the topographic representation of the stratigraphic sequence by creating a Digital Elevation Model (DEM) using the QGIS2threeJS plug-in. Combined with available geomorphological data, this phase allowed for a better definition of the formation processes of the stratigraphic sequence. The trends, sedimentological characteristics and thickness

[3] The recent dendrochronological and radiometric analysis dated the shipwreck to the 7th cent. AD (Mariotti *et al.* 2007), but analysis of the ceramic assemblage placed the wreck in the 5th cent. AD (Tescione 2019).

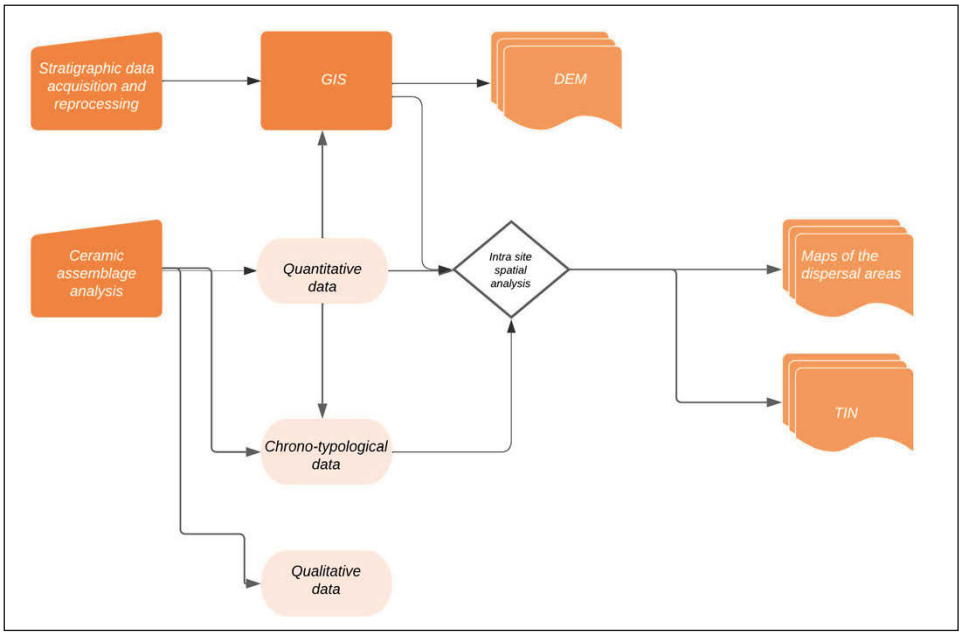


Fig. 3 – Workflow of the analytical approaches (elab. by T. Tescione).

of the archaeological layers helped to determine the genesis of the ceramic assemblages and, furthermore, the magnitude and power of the alluvial flood flows. The use of 3D models in stratigraphy and sedimentology has proven to be a valuable contribution to improve the understanding of archaeological sites (Semeraro 2008, 47; 2011, 134; Campaña Lovano *et al.* 2016, 337).

3.2 *Quantitative analysis: comparative systems*

The study of the ceramic assemblage of Area 5 has proven to be a significant opportunity for an experimental verification of some quantitative analysis procedures applied in archaeology. The goal was to assess with similar data the achievable results and to determine to what extent different systems meet the objectives of reliable quantification (for a similar approach, De Simone *et al.* 2015). Therefore, a ceramic assemblage from a single archaeological unit (282) was used as a sample to understand which system was optimal and, at the same time, to identify the variables associated with each applicable method (Tab. 1).

The quantification method based on weight estimation was not applied because it requires a high degree of specialization, such as specific knowledge of fabrics, glazes, and other non-typological elements, which is not easy to

Ceramic class	N.Fr.	%N.Fr.	MNI	%MNI	EVE	%EVE
Common ware	23	6,91%	4	6,78%	3	13,89%
Cooking ware	48	14,41%	16	27,12%	1,6	7,41%
African cooking ware	29	8,71%	13	22,03%	1,1	5,09%
Italian sigillata	19	5,71%	5	8,47%	0,8	3,70%
African red slip ware	2	0,60%	2	3,39%	0,3	1,39%
Thin-walled pottery	9	2,70%	5	8,47%	0,8	3,70%
Lamp	2	0,60%	1	1,69%	0	0,00%
Amphorae	201	60,36%	13	22,03%	14	64,81%

Tab. 1 – Quantitative analysis. Comparative systems on a sampled ceramic assemblage from an archaeological unit (282).

employ in a context like a case study, characterized as it is by a wide variety of ceramic classes and productions. The quantitative analysis involved the use of methods for calculating the quantity of ceramics (counting of fragments) and systems for evaluating the quantity of vases based on MNI (Minimum Number of Individuals) and EVE (Estimated Vessel Equivalents). EVE is based on a calculation of the percentage of the circumference of the rim and bottom of fragments referable to the same ceramic class or type (Orton *et al.* 1993, 203-218). The MNI method involves counting the morphologically significant fragments for each ceramic class or type (Raux 1998). The significant variations observed between the quantification method based on fragment counting and those based on MNI and EVE were linked to the brokenness index. In our case, the high presence of amphorae, as numbers of fragments, could be associated to the corresponding great breakage value that characterizes this ceramic class. Minor fluctuations were observed between the results of the MNI and EVE, confirming the good stability of these two systems.

The difficulties in applying the EVE method to all ceramic categories – it does not consider those classes or forms not represented by significant morphological elements – led to a determination against using quantitative procedure. EVE works best with material produced in reasonable numbers or derived from a single workshop (Orton 1993, 164-176; Orton *et al.* 1993, 171-173). Counting based on the MNI involves calculating the same vessel two to three times (especially in the case of standardized forms), while quantification in EVE eliminates this overrepresentation (Raux 1998, 14). For this reason, ceramic fine classes (Italian sigillata, African red slip ware, thin-walled ceramics), characterized by typological seriality, are overestimated as MNI. The Seville Protocol has been tested (Adroher *et al.* 2016) and it is based on the sum of the rim/bottom circumferences, adding a breakage coefficient (Modulo de Ruptura, MR). The method was not adopted because it is particularly effective for serial productions, such as amphorae, and less suitable for others. Furthermore, this approach takes into account only the

rims and bottoms, prejudicing the quantitative analysis and producing an underestimation of the data.

Given the challenges of different systems, the MNI has been adopted as it proved to be the most useful method considering the preservation state of the artifacts (largely intact or almost entirely reconstructible), excavation methods (given the extent of the investigated area) and the quantity of cataloged artifacts. The research also attempted to recontextualize the material data through fragment counting (according to the system outlined in the Beuvray Protocol) (Arcelin, Truffeau Libre 1998, VII).

The analysis of a large portion of the Area 5 deposit[4] allowed the overall cataloging of 36,117 ceramic fragments, characterized by a broad chronological range (from the late Republican era to the late Roman period). In addition to these records, another 7,014 fragments of brick products (roof tiles, bricks, *tubuli*) must be added. In all analyzed ceramic assemblages, there is a prevalent presence of amphorae, confirming the distinctive feature of the landing area as a scenario of bustling transshipment and trade activity of goods to and from Pisa.

3.3 *Qualitative data*

Another aspect of the research included an analysis of the formation processes of ceramic assemblages, considering the indices of completeness and fragmentation of materials. Procedures were developed with an eye to the methodologies discussed in the literature (Ceci, Santangeli Valenzani 2016, 19-23), and by evaluating the parameters and conditions of use most suitable for the case study. The completeness of a vessel, which depends on depositional and post-depositional events, appears similar in artifacts involved in the same processes. In this research, the index was based on the percentage of preserved rim or base. From this type of analysis, a higher incidence of records characterized by a completeness index between 1-25% and an increase in intact or almost intact materials (with an index between 76-100%) is observed in alluvial deposits. These results can be attributed to the greater violence and speed of depositional phenomena (i.e., alluvial flood flows) that overwhelmed the ceramic assemblages in primary and, sometimes, secondary deposition (more fragmented) to form new concentrations in the recovery archaeological units.

The fragmentation index, although largely influenced by the physical characteristics of the fabric (Ceci, Santangeli Valenzani 2016, 20-21), was calculated by taking into consideration not the weight of the artifacts

[4] The huge amount of ceramic materials made it necessary to analyze just a selection of the assemblages; for this reason, the findings deriving from the archaeological units of phases 1 to 7 have been chosen.

Deposits	Volume	N. Fragments	Mean of the completeness index	Alluvial magnitude index
Phase 1	131,660 m^3	155	42,5	3097,88235
Phase 2	150, 710 m^3	1252	38,13	3952,53082
Phase 3	2,770 m^3	3207	62,77	44,1293612
Phase 4	7,830 m^3	1441	41,7	187,769784
Phase 5	13,280 m^3	1066	37,59	353,285448
Phase 6	16,429 m^3	356	37,53	437,516653
Phase 7	43,850 m^3	609	32,94	1331,20826

Tab. 2 – The reconstruction of the alluvial magnitude index calculated on the ratio between the volume of the deposits (expressed in cubic meters) and the mean of the completeness index.

but rather the number of fragments (N. Fr.) and the quantity of represented vessels (MNI) within each phase. The fragmentation index proves to be particularly high during phases associated with alluvial floods even if it is greatly influenced by post-depositional, excavation and post-excavation events. These analytical approaches have also contributed to estimating the magnitude of the alluvial flows, understood as the potential energy required for the formation of the artifact dispersal areas.

With this is mind, firstly, the volume of each analyzed phase was reconstructed. Secondly, the ratio between the volume of the phases (expressed in cubic meters) and the mean of the completeness index allowed for the reconstruction of the alluvial magnitude (Tab. 2). Specifically, phase 2 (alluvial deposit of the wreckage of Ship D) presents a high-impact event characterized by considerable kinetic energy, capable of uniformly removing numerous ceramic assemblages (as evidenced by the discovery of 1252 ceramic fragments) and channeling a significant amount of clayey-sandy material into Area 5 deposit. Moreover, this phase is associated with the sinking and overturning of Ship D, a vessel of considerable size. The previous alluvial floods (associated with phases 3 to 5) are marked by less substantial and impactful deposits compared to those recorded for the phase 2. Considering the ratio between volume and completeness index of ceramic materials, it is possible to hypothesize that for these flows, an energy expenditure 20 times less than that used by the depositional event of phase 2 was involved. Therefore, a hydrogeological regime characterized by medium-intensity flooding events can be hypothesized for phases 3 to 5.

During the cataloging step of the pottery, the types of surface appearance were recorded, identifying visible evidence with the naked eye, such as the presence of organic residues, traces of combustion, mortar concretions and so on. This analytical approach allowed the identification, as far as is possible, of the original provenance deposit of the finds, characterized by a wide range of entries into archaeological deposition. This is the case of some bricks with signs of burning, also found in other areas of the archaeological

site, attributable both to hearths for cooking on boats and to a phenomenon of dumping fragmented and unusable material (Camilli *et al.* 2006, 33, 50). The Area 5 deposits have yielded various kinds of production waste (34 fragments), especially over-fired or under-fired bricks (22 specimens), suggesting a production area nearby. Furthermore, the presence of different kilns could also be indicated by a brick fragment with traces of glass and a spacer. In both cases, it is presumed that they come from production workshops believed to have been in operation between the 2nd and 3rd centuries AD (Remotti 2012, 25). Moreover, the proximity to a watercourse may have favored the presence of one or more manufacturing facilities, enabled both by the availability of raw materials (in this case, water supply and the availability of clay banks) and by the long and medium-distance dissemination of products.

3.4 *Chronological quantifications*

A detailed analysis of quantitative data from a diachronic perspective has provided interesting insights into understanding the morphogenetic dynamics that contributed to the formation of archaeological deposits. The chronological heterogeneity of ceramic classes has led to the adoption of a quantification system capable of presenting a non-flattened temporal image and, more importantly, useful for detecting the chronological distribution of artifacts within the layer (Ferrarese Lupi, Lella 2013). The most suitable chronological quantification method for the case study seemed to be that employing the sum of weighted averages (Terrenato, Ricci 1998, 92-94; Ceci, Santangeli Valenzani 2016, 74-76), applied both to the entirety of the ceramic records and relatively to the MNI derived from the archaeological unit of each phase. This method has provided an interesting chronological overview of the entire depositional history related to Area 5, but at the same time, it has allowed the dating of other 'phanto' activities: events not reported in the examined stratigraphy but documented in other sectors of the archaeological site.

The most noteworthy result is the redating to the second half of the 5th century AD of the alluvial flood that caused the wrecking of Ship D (Phase 2, Fig. 4). This event had been assigned to the mid-6th century AD within Phase XII of the entire archaeological site (Martinelli, Pignatelli 2008; Camilli 2012, 17), although in a previous research work, older chronological values (the early 5th century AD) had been proposed, partly on the basis of radiocarbon dating (Mariotti Lippi *et al.* 2007). The alluvial flood flows of the 4th century AD (Phase 3-4) do not have parallels in the general periodization of the San Rossore area, which during this period seems to have been experiencing a «relatively calm» period, although it is specified that «the entire excavation area is currently completely devoid of data» (Camilli 2012, 17). However, the recognized flood is confirmed in the unpublished excavation

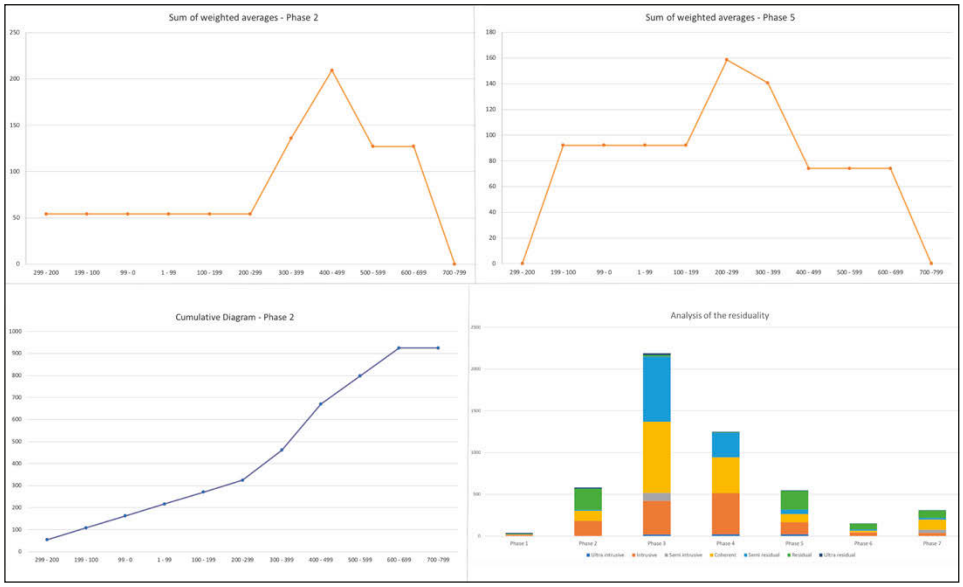


Fig. 4 – Chronological quantifications: sum of the weighted averages, cumulative diagram, analysis of residuality (elab. by P. Rosati, T. Tescione).

reports of Area 5, where an alluvial event is identified in the mid-4th century AD. The wreck of Ship I (mid-3rd century AD, Phase 5, Fig. 4) has affinities with Phase VII of the general periodization of the archaeological site, assigned to 250-280 AD (Camilli 2012, 16).

Another means of chronological analysis was the cumulative diagram, in which each century has a value equal to its own score, always in percentage of finds, added to that of the previous centuries. The resulting saturation curves appear 'steeper' in situations of heavy accumulation, while they have a flatter trend in periods characterized by a low input of material (Ceci, Santangeli Valenzani 2016, 83). In this case as well, it was possible to define periods with higher ceramic accumulation as the result of catastrophic events. The accumulation of 5th century AD ceramic materials in the Phase 2 deposition could be relevant to the presence of a major alluvial event in the fluvial history of San Rossore. The chronological quantification was completed by comparing the trend lines of the chronologically coherent materials with those of all other ceramic assemblage (residual or intrusive) to define the area of residuality (Ceci, Santangeli Valenzani 2016, 83). It was necessary to establish a margin of error associated with the calculation of the 'average' dating by subtracting the mean value from the maximum and minimum chronological range of the entire ceramic assemblage. The analysis of the residual records

allowed the restitution of the overall values of chronologically coherent materials, and those which are residual and intrusive. This facilitates, firstly, the reconstruction of the formation processes of the deposits as related to individual phases and, secondly, the definition of the chrono-typological associations of ceramic assemblages. Graphs (Fig. 4) related to moments of fluvial stasis (Phases 1-6) show low indices of residuality and intrusivity, indicative of limited erosive processes. In diagrams related to alluvial deposits (Phases 2 to 5), there is an increase in the indices of residuality and intrusivity, confirming the different morphogenetic process of the deposits compared to those of fluvial stasis.

3.5 *Intra site spatial analysis*

This part of the research program focused on the hypothetical reconstruction of the origins of the deposits' materials, their arrival influenced by the interaction of natural factors (alluvial flows, river currents) and human activities (navigation and trade). There is still a clear difficulty in recognizing which artifacts were part of a commercial cargo, intentionally thrown or accidentally fallen on the riverbed, and which formed part of onboard equipment, or are attributable to contexts adjacent to the shoreline.

The considerable number of archaeological finds required the creation of a digital catalog, done by developing a relational database (using FileMaker software) with separate tables for different categories of data. The data from the 'Materials' table of the database was converted into a Microsoft Excel worksheet to be integrated into the GIS platform (within the PostgreSQL software). The table of records and the shapefile containing the limits of the Archaeological Unit were related by linking ceramic artifacts to the respective stratigraphic unit. Within the 'spatial' database, a new ID_T field was created and the ceramic records were associated with it through a join association. Additionally, each artifact corresponds to an attribute table, with a progressive ID field from 1 to n (based on the number of materials for each US). The quantity and morpho-typological complexity of the cataloged ceramic context made it impractical to consider individual georeferenced fragments. As a result, due to the small number (a total of 289 artifacts) and limited typological-functionality variety (mostly transport containers), this type of archaeological record was not very representative of the analyzed ceramic sample.

To visualize the concentration of the recorded finds within the phases analyzed, a statistical approach was adopted using a tool integrated into the QGIS software called Random Points Inside Polygons (Variable) for a randomized representation of artifacts. In addition, two graphic solutions were adopted for the representation of artifact dispersal areas: point spatial analysis maps and heatmaps. In both graphs, for example, the concentration

in the alluvial deposits associated with the sinking of Ship D (Phase 2, Fig. 5) appeared highly significant, visible on the N and NE sides of the wreck. In this case, it seems possible that the alluvial flow encountered two obstacles in its path, represented by the N limit of the river channel bank (presumably not far away) and the NE boundary of the ship, generating a backflow. The latter may have eroded previous ceramic contexts, accumulating material in more recently formed deposits. Moreover, there is a clear ceramic concentration in this case, consisting of 715 MNI and 1560 fragments, a significantly higher quantity than observed for the other deposit related to a period of a river calm (Phase 1-6).

Some of the most effective graphical representations have used artifact distributions based on membership classes for the different phases recognized. The composition of these ceramic assemblages has been influenced by the different alluvial dynamics that led to the formation processes of the deposition and the post-depositional events. For example, in Phase 4 (alluvial deposit, Fig. 6), accumulations of amphorae are evident in the N and NW sectors outside the space occupied by the wrecks. This concentration can be attributed to alluvial flows including material previously deposited in the interior space of Boat I (Phase 5), channeling part of its cargo and other associated archaeological material outside. The presence of amphorae and other tradeable pottery (Phase 5, Fig. 6) might suggest that, after the sinking of the Boat I, the alluvial flood flow caused the dispersal of some materials, likely present inside the vessel, towards the NW side and the exterior space behind the stern.

Another analytical approach used the graphical representation of ceramic material related to the chrono-typological variables identified within individual phases. This method allowed us to highlight both ceramic clusters contemporaneous with the formation of the deposit and those which were intrusive or residual, channeled into recovering contexts by alluvial flood flows within the same phase. For example, the ceramic deposits of Phase 2 (Fig. 7) show a concentration of residual materials inside or outside Ship D, with a significant trend from N-NW to SE, a typical orientation of alluvial flows. The chronologically coherent materials (AD 300-500, Fig. 7) tend to be dispersed outside the ship; it is conceivable that the alluvial flow, documented in this phase, caused the scattering of artifacts contemporaneous with the deposition of Shipwreck D. In Phase 2 (alluvial deposits), the late Roman period materials show a greater variety of typology and function, which could indicate that the alluvial flow brought down not only tradeable material but also other ceramic contexts, probably related to the use of the harbor or belonging to commercial-residential units not far from the river channel.

The various alluvial dynamics identified in the stratigraphic sequence of Area 5 have influenced the formation of contexts and had an effect on some

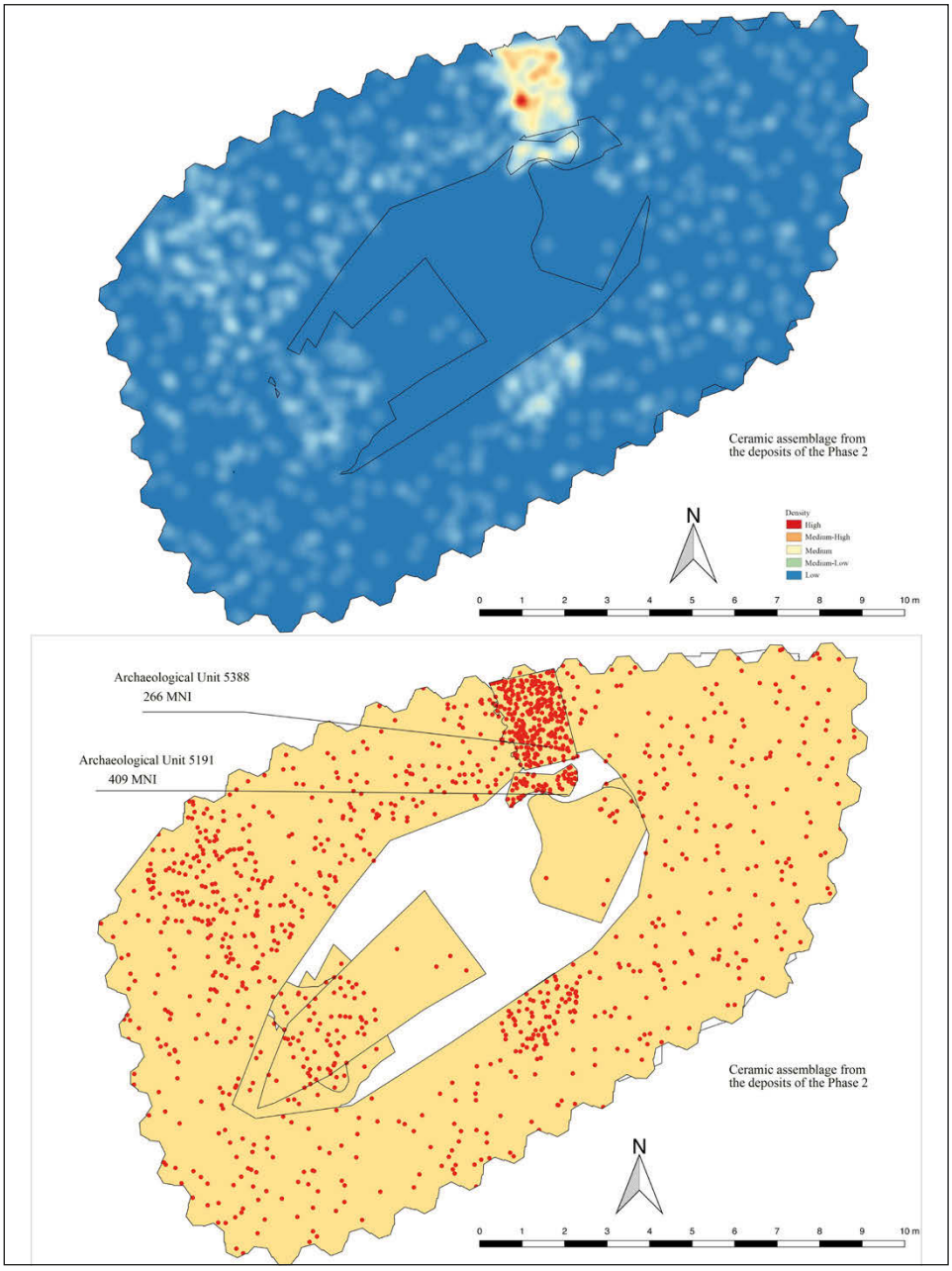


Fig. 5 – Dispersal area of ceramic assemblage (based on the MNI) from the deposits of Phase 2: heatmap and point spatial analysis map (elab. by P. Rosati, T. Tescione).

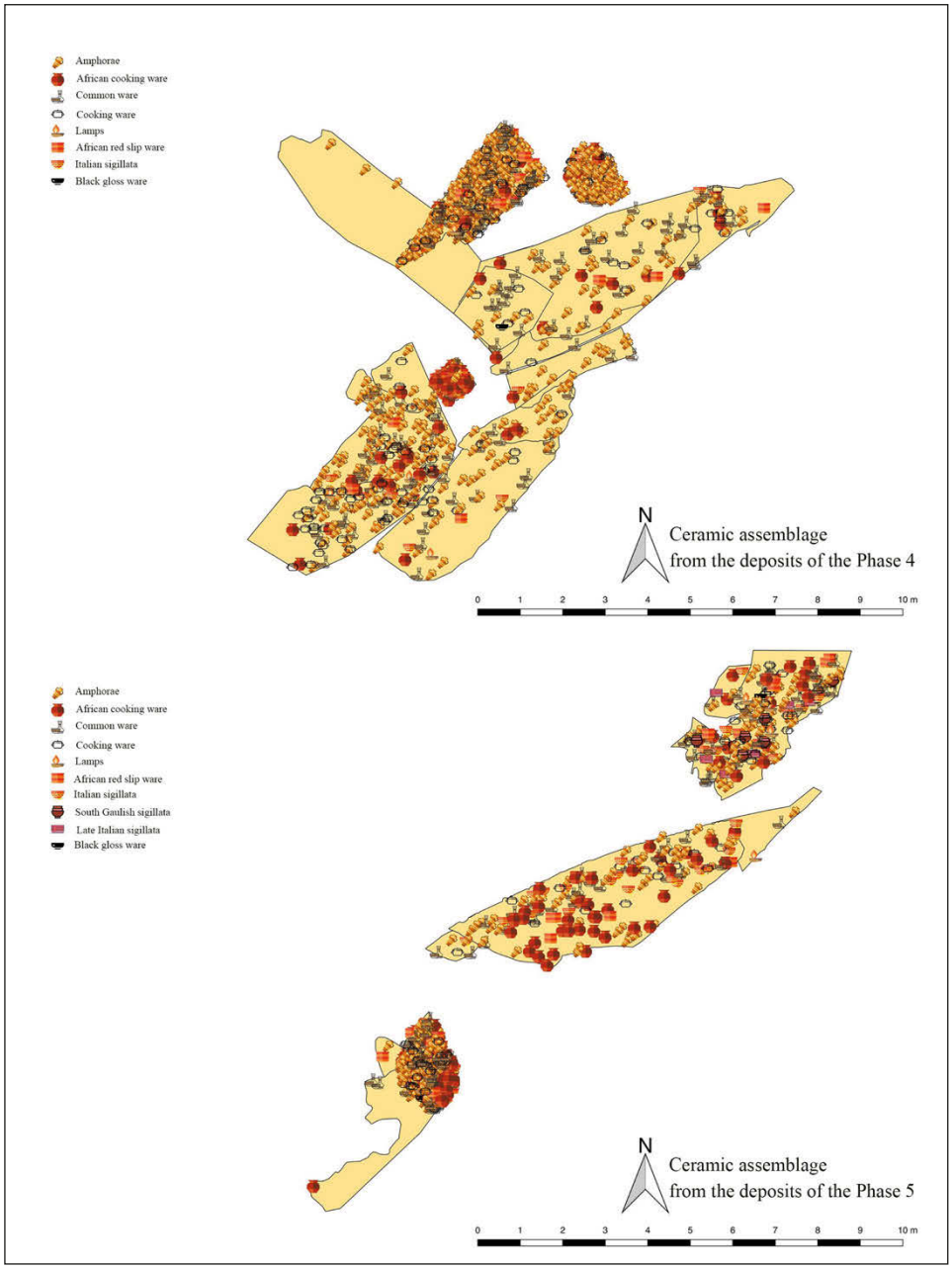


Fig. 6 – Map with ceramic distributions based on membership classes (Phase 4 and 5) (elab. by P. Rosati, T. Tescione).

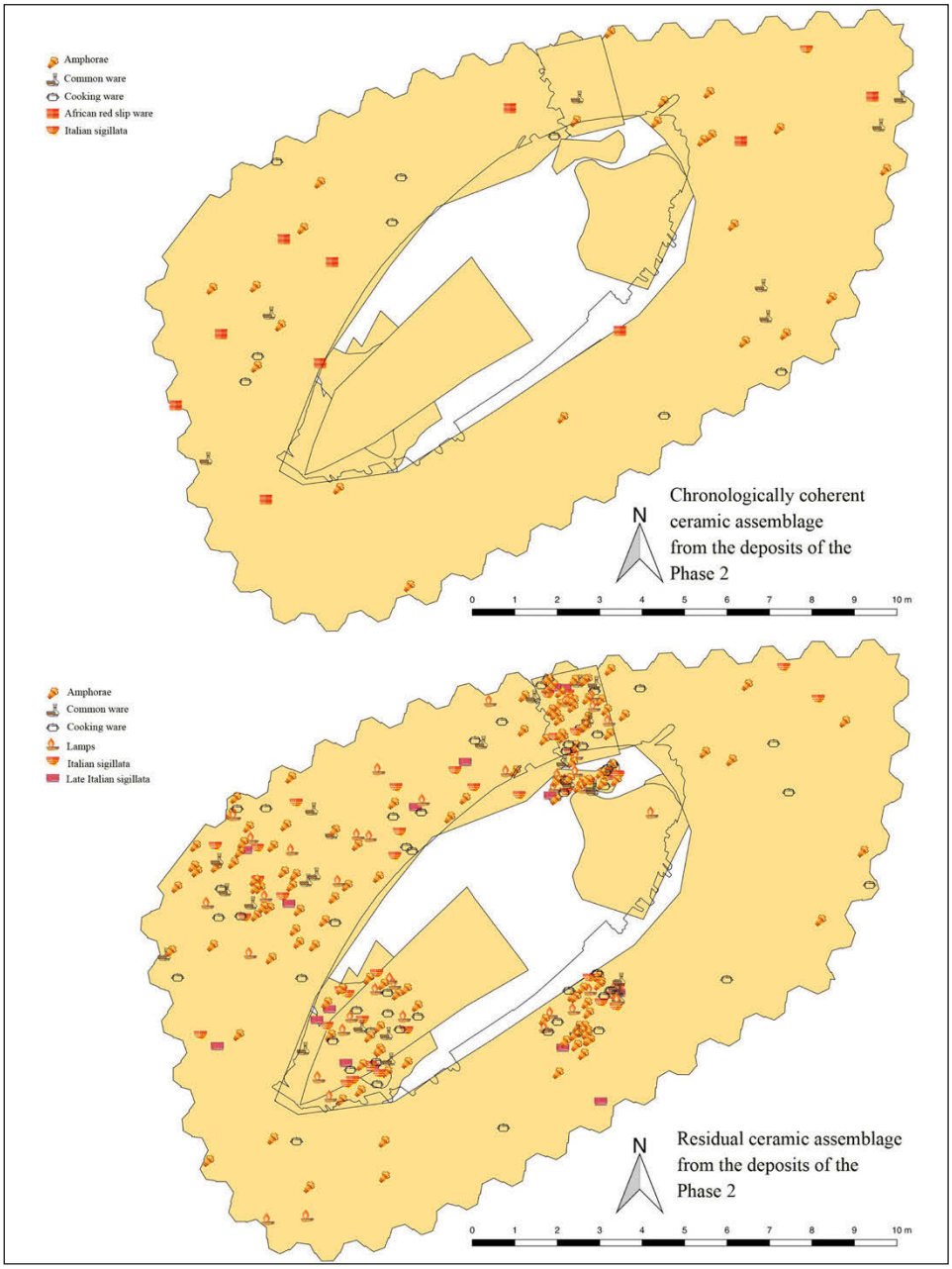


Fig. 7 – Map with ceramic distributions based on chronologically coherent and residual material (Phase 2) (elab. by P. Rosati, T. Tescione).

intrinsic characteristics of the ceramic, such as the completeness index. We have generated thematic plans showing the dispersion of artifacts with different completeness indices, recorded during the cataloguing process for some ceramic classes (preserving rims and bases). The results related to deposits linked to the wreckage of Ship D and Boat I are particularly interesting. In the map of Phase 2 (alluvial deposits and sinking of Ship D), accumulations of materials with a high completeness index are evident to the NE of Ship D (Fig. 8).

A detailed chrono-typological analysis of the materials resulting from this concentration reveals that only 33% of the artifacts are contemporaneous with the formation of the deposit in the 4th-5th centuries AD. The higher percentage of intact artifacts appears to be residual compared to the genesis of the Phase 2 deposition. This confirms that this accumulation is related to a backflow that impacted (naval?) deposits of earlier formation, channeled into the recovering deposition due to a high-magnitude event (Phase 2). The analysis of Phase 5 (alluvial deposit and sinking of Boat I) highlights a ceramic assemblage characterized by high completeness indices inside the wreck (Fig. 8). The high completeness indices associated with these ceramic assemblages, characterized by a certain functional uniformity (amphorae) and chronological differences (containers from the late high-medium and late Imperial periods), suggest that the alluvial flood flow (Phase 5), in addition to sweeping over Boat I, impacted deposits of earlier formation, characterized by the presence of tradeable material, channeling them into the Area 5 deposits.

The analyses presented so far fall within a rather basic function of the GIS platform, allowing the visualization of data recorded in the PostgreSQL database. The second step of the research program concerns the interpolation of data with descriptive-statistical procedures. Here, the Triangulated Irregular Networks (TIN) method was adopted (Lim, Pilesjö 2022), based on irregularly sampled data represented according to Delaunay Triangulation (Tsai 1993; Semeraro *et al.* 2012; see Ducke, Suchowska 2021, p. 521 for other bibliographic references). The system, based on a vector-type structure composed of triangular datasets (Campana, Forte 2003), is used in environmental archaeology for building predictive models (Vogelsang, Wendt 2018) and applied to river graphical rendering (Marozas, Zack 1990; Clevis *et al.* 2006).

Unlike other types of analytical procedures, TIN are applicable in situations like this case study, where both the sampling of data and the scattering of records are irregular. Each triangle is defined on a map using grid nodes derived from a GIS statistical procedure. The apices of the triangles form nodes which indicate the direction of flow. Circulation is marked by the colour-coding, with red indicating a blockage. The circulation index produced represents the scale of the impact of the alluvial flood flow on the ceramic assemblages. This type of analysis, graphically rendered using heatmaps,

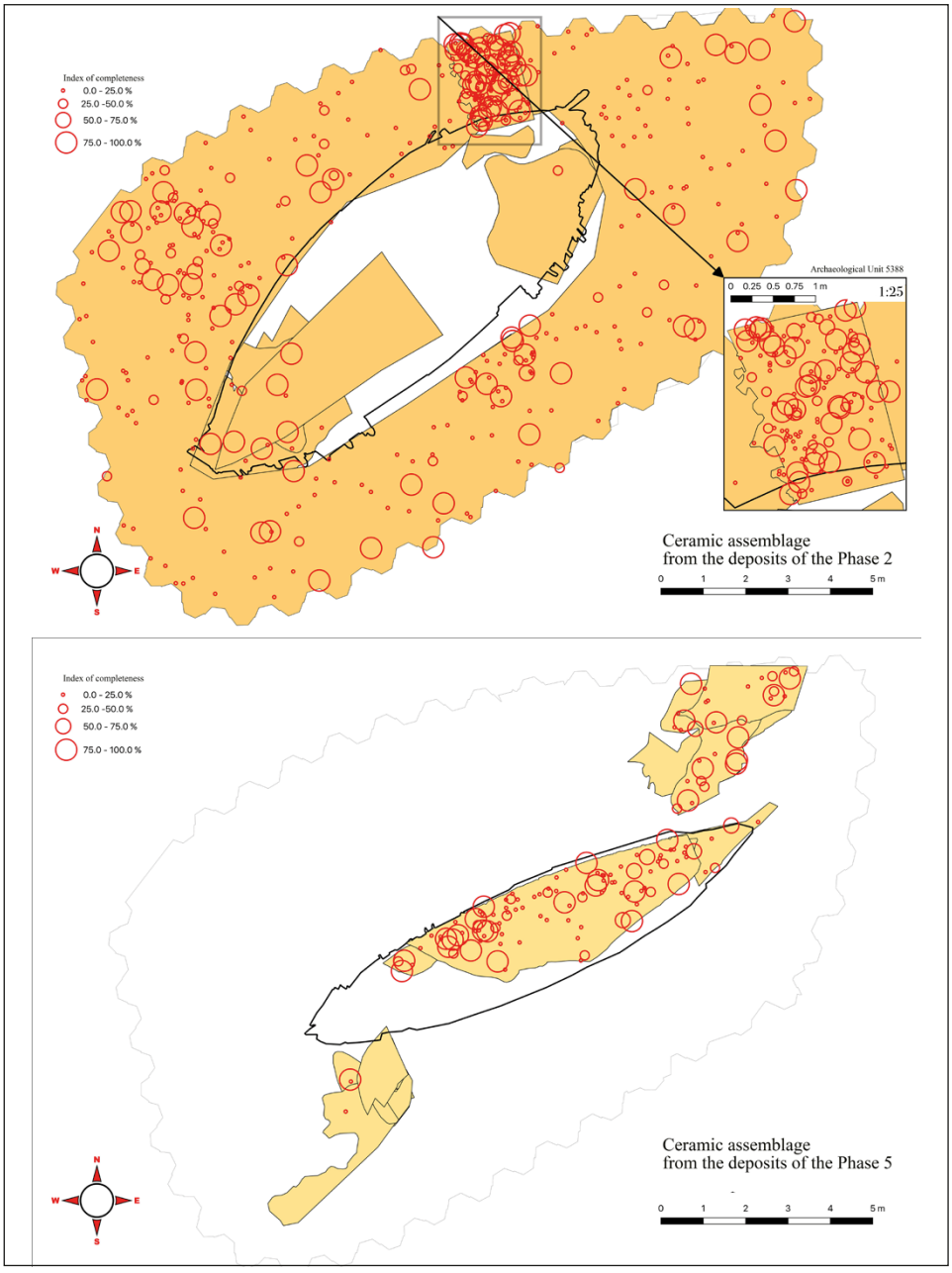


Fig. 8 – Map with ceramic distributions based on the completeness index (Phase 2 and 5) (elab. by P. Rosati, T. Tescione).

highlights the proximity of the recorded finds to primary deposition contexts or obstacles to the main flow, slowing down the movement of artifacts channeled into Area 5 by the alluvial force. Analyses related to Phase 4 are particularly interesting (Fig. 9), revealing a cluster of ceramic records near Boat I. Considering the distance from potential obstacles (shipwrecks and basin limits), Delaunay triangles could indicate a connection between these finds and the deposition of Boat I. Moreover, Unit 5370, located to the NW of Boat I, yielded 393 NMI, of which 50% consists of pottery from the late 2nd to early 3rd century AD, the date of the shipwreck itself.

The TIN analysis for the ceramic assemblage of Phase 2 (Fig. 10) showed a concentration of artifacts near the external NE side of Ship D. This cluster, especially that of 5th century AD material (Fig. 10), is extremely valuable in reconstructing the ceramic assemblage contemporaneous with the ship's sinking. However, it is difficult to associate these artifacts with the cargo of Ship D if the recent radiometric analyses dating the vessel to the mid-6th century AD are correct (Martinelli, Pignatelli 2008).

4. Concluding remarks

Alluvial archaeology, as an emerging discipline, characterized by a strong interaction between geological and archaeological analysis. The analytical approaches presented have emerged from this interdisciplinary approach. The effectiveness of the various procedures has been tested within a case study of particular significance, namely the archaeological site of the Ancient Shipyard of Pisa-San Rossore.

Ceramic assemblages have been considered as geological clasts, contributing to the definition of the formation processes of the analyzed deposit (in synergy with the results of geomorphological interpretations), the chronological framework of alluvial floods, the dynamics of flows (confirming the data from geological analysis), and, especially, the original deposition of the ceramic assemblage found in secondary deposition. In this regard, the combination of different analytical approaches and digital methods has proven particularly useful, ranging from quantitative analyses for chrono-typological determination of ceramic assemblages to intra-site spatial analyses, which have been effective in defining alluvial flood flows and the ceramic assemblage.

The creation of a 'stratigraphic information system' through the use of a GIS platform has facilitated the reconstruction of the formation processes within the stratigraphic sequences. The quantitative and qualitative analyses of the ceramic assemblages have made it possible to clarify the depositional and post-depositional process dynamics. The results of the chronological analyses have made a useful contribution to the discussion of the problem relating to the original provenance contexts of the residual and intrusive artefacts.

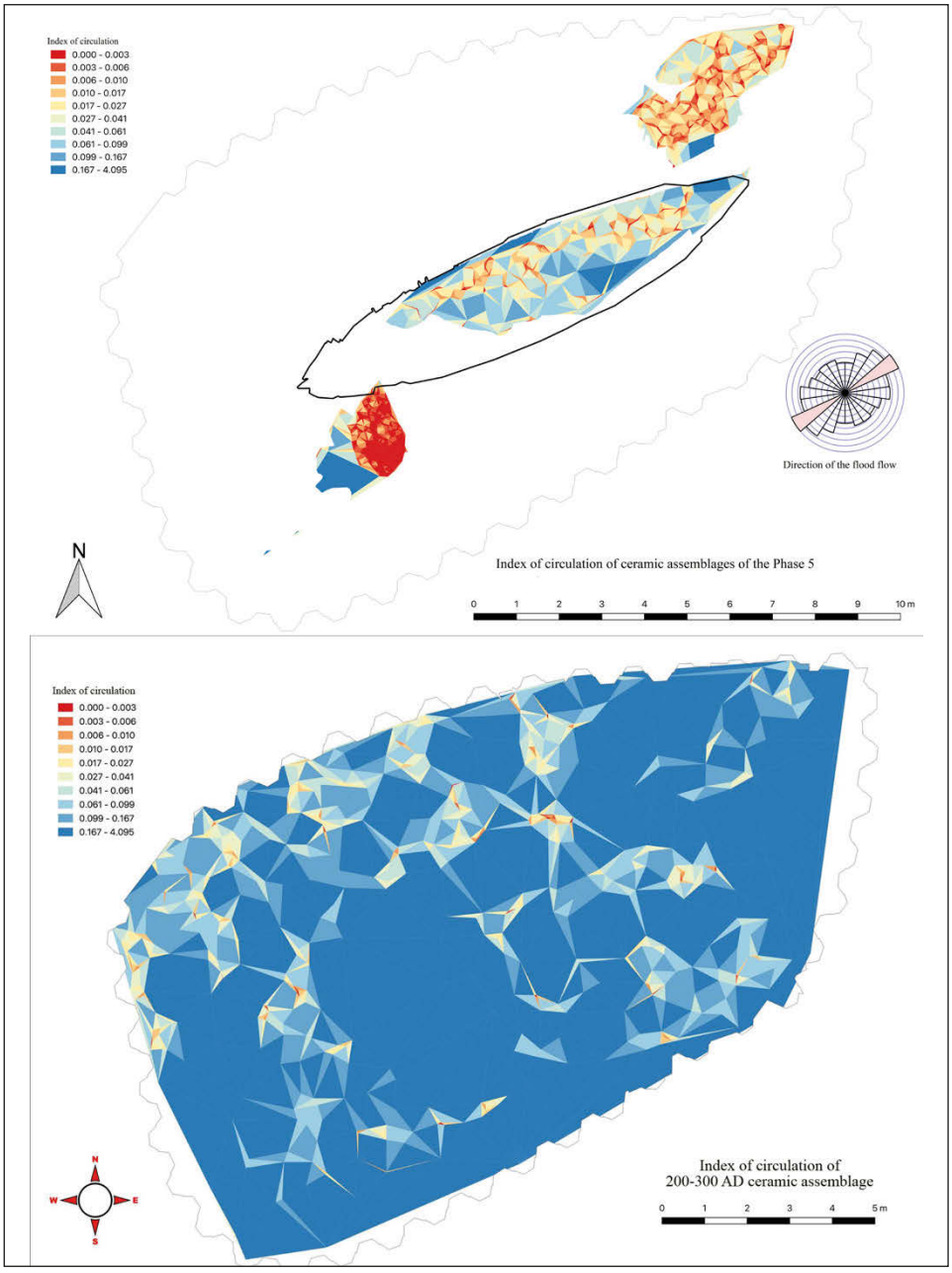


Fig. 9 – Map with ceramic distributions represented according to Triangulated Irregular Networks (TIN) (Phase 5 and 3rd century AD ceramic assemblage) (elab. by P. Rosati, T. Tescione).

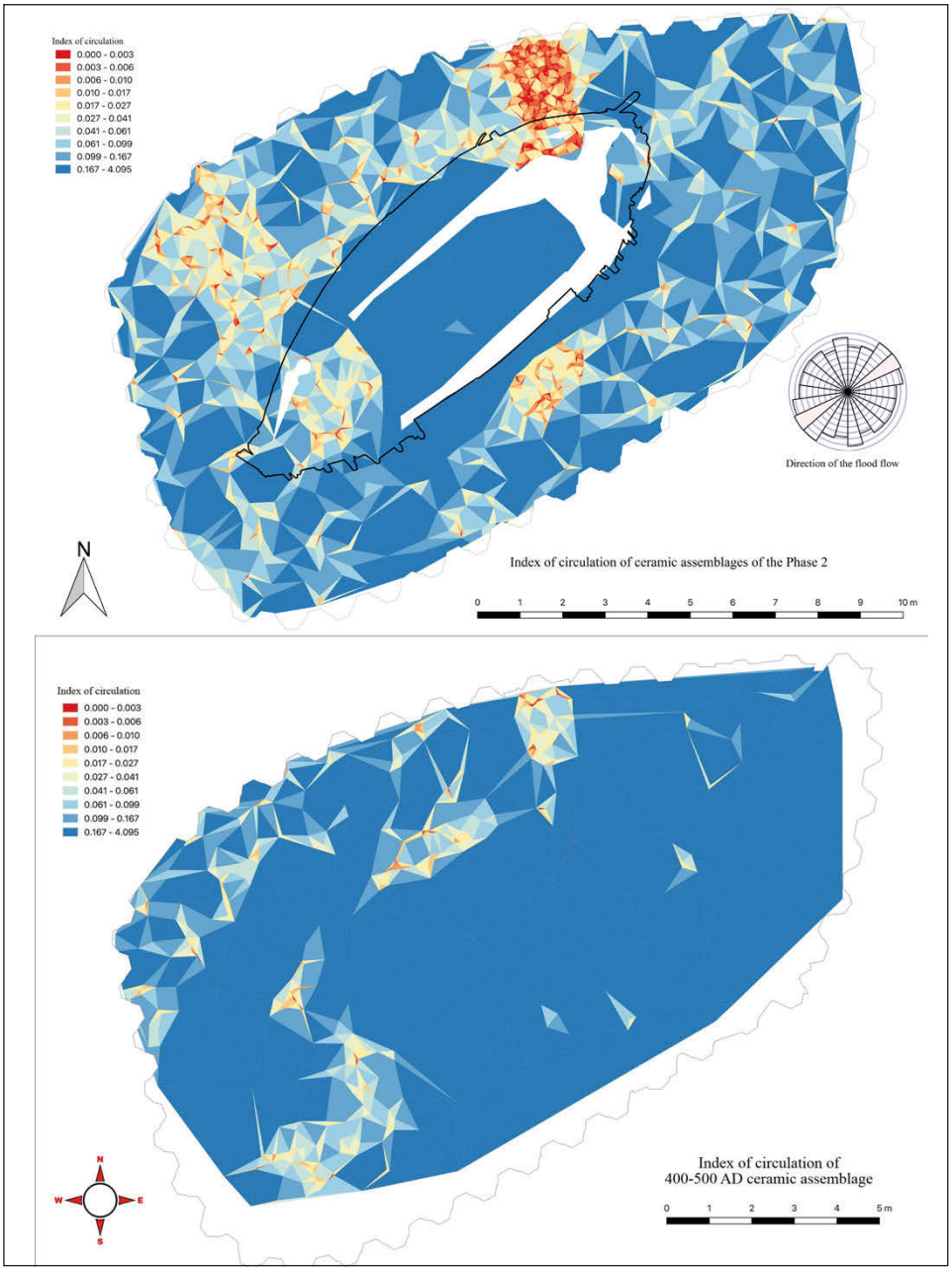


Fig. 10 – Map with ceramic distributions represented according to Triangulated Irregular Networks (TIN) (Phase 2 and 5th century AD ceramic assemblage) (elab. by P. Rosati, T. Tescione).

The subsequent definition of the chrono-typological differences within the ceramic material, established through the elaboration of thematic plans, allowed the recognition of the dispersal area and finds concentrations, highlighting the hypothetical flow directions (useful for hypotheses on the reconstruction of primary deposits placement of residual or intrusive finds). Finally, the data obtained proved to be a useful contribution to the overall reconstruction of the hydrogeological processes making it possible not only to understand the depositional dynamics, but also to reconstruct the recurrence and magnitude of flood events. The proposed methodology explored so far is intended to represent only a part of the path towards the development of a convincing analysis of ceramic assemblages deriving from alluvial floods, with its potential to contribute significantly to the understanding of ancient landscapes and settlements.

Teresa Tescione
Università degli Studi di Napoli Federico II
teresa.tescione@unina.it

Acknowledgements

The research work was made possible thanks to the kind cooperation of the Soprintendente Archeologo per le province di Pisa e Livorno, Dr. Andrea Muzzi, and in particular, Dr. Andrea Camilli, Director of the Ancient Shipyard of Pisa, who generously made possible the study of the unpublished ceramic assemblage, the consultation of archival data and, especially, provided useful insights for carrying out this research program. My gratitude also goes to D. Barreca for making the excavation report available and for useful suggestions. Special thanks to Paolo Rosati and Valerio De Luca (Una Quantum Inc.) for the development of the GIS platform. Additional acknowledgements go to Luigi Cicala, Giovanna Greco and Marco Benvenuti for their considerable assistance in drafting the research program, as well as thanks to Grazia Semeraro for stimulating the publishing of this paper.

REFERENCES

Adroher A.M., Carreras C., Almeida R., Fernández A., Molina J., Viegas C. 2016, *Registro para la cuantificación de cerámica arqueológica: estado de la cuestión y una nueva propuesta. Protocolo de Sevilla (PRCS/14)*, «Zephyrus», 58 (julio-diciembre), 87-110 (https://doi.org/10.14201/zephyrus20167887110).

Arcelin P., Truffeau-Libre M. (eds.) 1998, *La quantification des céramiques: conditions et protocole. Actes de la table ronde du Centre archéologique européen du Mont-Beuvray (Glux-en-Glenne 1998)*, Glux-en-Glenne, Bibracte.

Benvenuti M., Mariotti-Lippi M., Pallecchi P., Sagri M. 2006, *Late-Holocene catastrophic floods in the terminal Arno River (Pisa, Central Italy) from the story of a Roman riverine harbour*, «The Holocene», 16, 6, 863-876 (https://journals.sagepub.com/doi/10.1191/0959683606hl978rp).

Brown A.G. 1997, *Alluvial Geoarchaeology: Floodplain Archaeology and Environmental Change*, Cambridge, Cambridge University Press.

Brown A.G., Ellis C. 1995, *People, climate and alluviation. Theory, research design and new sedimentological and stratigraphic data from Etruria*, «Papers of the British School at Rome», 63, 45-73.

Camilli A. 2012, *Ambiente, rinvenimenti e sequenza. Un breve riassunto aggiornato dello scavo delle navi*, in Remotti 2012, 13-18.

Camilli A., De Laurenzi A., Setari E. 2006, *Alkedo. Navi e commerci della Pisa romana*, Catalogo della mostra, Pontedera, Bandecchi&Vivaldi.

Camilli A., Puma P., Remotti E. 2009, *Dismounting, conserving, displaying ships. The MNAP-Museo delle Navi Antiche di Pisa and the activity of Centro di Restauro del Legno Bagnato di Pisa*, in S. Bertocci, S. Parrinello (eds.), *Wooden Architecture in Karelia, Tiber Architecture as a Phenomen of National Culture*, II, Firenze, Edifir, 270-277.

Camilli A., Remotti E., Pallecchi P. 2005, *Stratigrafia fluviale, portuale e terrestre: la sequenza dello scavo delle navi di Pisa, S. Rossore*, in B.M. Giannattasio, C. Canepa, L. Grassi, E. Piccardi (eds.), Aequora, pontos, jam, mare...*Mare, uomini e merci nel Mediterraneo antico*, *Atti del Convegno internazionale (Genova 2004)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 74-86.

Camilli A., Setari E. 2005, *Le navi antiche di Pisa. Guida archeologica*, Milano, Mondadori Electa.

Campaña Lozano I., Benito-Calvo A., Pérez-González A., Ortega Martínez A.I., Bermúdez de Castro J.M., Carbonell E. 2016, *Using 3D models to analyse stratigraphic and sedimentological contexts in archaeo-palaeo-anthropological Pleistocene sites (Gran Dolina Site, Sierra De Atapuerca)*, in S. Campana, R. Scopigno, G. Carpentiero, M. Cirillo (eds.), *CAA 2015, Keep the Revolution Going*, *Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Siena 2015)*, Oxford, Archaeopress, 337-345.

Campana S., Forte M. 2003, *Remote Sensing in Archaeology*, *XI ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano 1999)*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Ceci M., Santangeli Valenzani R. 2016, *La ceramica nello scavo archeologico: analisi, quantificazione e interpretazione*, Roma, Carocci Editore.

Cicala L., Tescione T. 2022, *Velia. Fenomeni alluvionali e trasformazioni dell'abitato*, in M. Cipriani, E. Greco, A. Salzano (eds.), *Dialoghi sull'archeologia della Magna Grecia e del Mediterraneo (V edizione). Catastrofi, distruzioni, storia*, *Atti del V Convegno internazionale di Studi (2020)*, Paestum, Pandemos, 117-128.

Clevis Q., Tucker G.E., Lancaster S.T., Desitter A., Gasparini N., Lock G. 2006, *A simple algorithm for the mapping of TIN data onto a static grid: Applied to the stratigraphic simulation of river meander deposits*, «Computers & Geosciences», 32, 749-766 (https://doi:10.1016/j.cageo.2005.05.012).

Desachy B. 2008, *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, Thèse, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, École doctorale d'Archéologie, Anthropologie, Ethnologie, Préhistoire.

De Simone G.F., Martucci C.S., Boemio G., D'Italia S. 2015, *Pottery as a proxy indicator for diet change in Late Antique Campania*, in R. Gül Gürtekin-Demir, H. Cevizoğlu, Y. Polat, G. Polat (eds.), *Keramos, Ceramics: A Cultural Approach*, *Proceedings of the First International Conference at Ege University (Izmir 2011)*, Kızılay-Ankara, Bilgin Kültür Sanat Yayınları, 218-228.

Ducke B., Suchowska P. 2021, *Exploratory network reconstruction with sparse archaeological data and XTENT*, «Journal of Archaeological Method and Theory», 29, 508-539 (https://doi.org/10.1007/s10816-021-09529-3).

Ferrarese Lupi A., Lella P. 2013, *Gaussian curves for visualizing chronological patterns of ceramic finds and residuality*, «Archaeometry», 55, 2, 296-311 (https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2012.00680.x).

Lim J., Pilesjö P. 2022, *Triangulated Irregular Network (TIN) models*, in J.P. Wilson (ed.), *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (https://doi.org/10.22224/gistbok/2022.2.7).

Mariotti Lippi M., Bellini C., Trinci C., Benvenuti M., Pallecchi P., Sagri M. 2007, *Pollen analysis of the ship site of Pisa San Rossore, Tuscany, Italy: The implications for catastrophic hydrological events and climatic change during the late Holocene*, «Vegetation History and Archaeobotany», 16, 453-465 (https://doi.org/10.1007/s00334-006-0070-x).

Marozas B.A., Zack J.A. 1990, *GIS and archaeological site location*, in K.M.S. Allen, S.W. Green, E.B.W. Zubrow (eds.), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, London, CRC Press, 165-172.

Martinelli N., Pignatelli O. 2008, *Datazione assoluta di alcuni relitti dal contesto delle navi di Pisa. Risultati preliminari delle indagini dendrocronologiche e radiometriche col ^{14}C*, «Gradus», 3, 2, 69-78.

Mayoral V., Borja Barrera F, Borja Barrera C., Martínez del Pozo J.A., de Tena M. 2012, *The evolution of an agrarian landscape. Methodological proposals for the archaeological study of the alluvial plain of Medellin (Guadiana basin, Spain)*, in S.J. Kluiving, E.B. Guttmann-Bond (eds.), *Landscape Archaeology between Art and Science. From a Multi- to Interdisciplinary Approach*, Amsterdam, Amsterdam University Press, 97-114.

Orton C.R. 1993, *How many pots make five? An historical review of pottery quantification*, «Archaeometry», 35, 2, 169-184.

Orton C., Tyers P., Vince A.G. 1993, *Pottery in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Pace G. 2020, *ll cantiere delle navi antiche di Pisa San Rossore: importazioni ed esportazioni nel commercio del Mediterraneo. Il contesto di età repubblicana*, Tesi di dottorato, Università di Pisa.

Raux S. 1998, *Méthodes de quantification du mobilier céramique: état de la question et pistes de réflexion*, in Arcelin, Truffeau-Libre 1998, 11-16.

Remotti E. (eds.) 2012, *Il bagaglio di un marinaio*, Roma, Aracne Editrice.

Semeraro G. 2008, *'Accedere' allo scavo archeologico. Sistemi (e problemi) di elaborazione dei dati*, in G. De Felice, M.G. Sibilano, G. Volpe (eds.), *L'informatica e il metodo della stratigrafia*, *Atti del Workshop (Foggia 2008)*, Bari, Edipuglia, 39-54.

Semeraro G. 2011, *Banche dati, GIS e Web GIS: breve storia delle tecnologie applicate ai beni archeologici nel Laboratorio di Informatica per l'Archeologia dell'Università di Salento*, «Scires-IT» 1, 1, 125-144 (http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v1n1p125).

Semeraro G., Pecere B., Mianulli A. 2012, *Applicazioni GIS alla ricerca archeologica: il santuario di Tag Silg a Malta*, «Scires-IT», 2, 1, 83-104 (https://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v2n1p83).

Terrenato N., Ricci G. 1998, *I residui nella stratificazione urbana. Metodi di quantificazione e implicazioni per l'interpretazione delle sequenze: un caso studio dalle pendici settentrionali del Palatino*, in F. Guidobaldi, C. Pavolini, P. Pergola (eds.), *I materiali residui nello scavo archeologico*, Testi preliminari e Atti della tavola rotonda (Roma 1995), Roma, Collection de l'École Française de Rome 149, 89-104.

Tescione T. 2019, *L'archeologia delle alluvioni: problemi di analisi dei contesti ceramici. Un caso di studio dal Cantiere delle Navi Antiche di Pisa-San Rossore*, Tesi di dottorato, Università degli studi di Napoli Federico II.

Tsai V.J.D. 1993, *Fast topological construction of Delaunay triangulations and voronoi diagrams*, «Computers and Geosciences», 19, 10, 1463-1474 (https://doi.org/10.1016/0098 3004(93)90062-A).

Vogelsang R., Wendt K.P. 2018, *Reconstructing prehistoric settlement models and land use patterns on Mt. Damota/SW Ethiopia*, «Quaternary International», 48, 140-149 (http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.061).

ABSTRACT

This paper aims to present analytical approaches and digital methods for the analysis of ceramic assemblages resulting from catastrophic alluvial flood flows. The study has been developed based on the principles of 'alluvial archaeology', a recently-developed field of archaeology. In this research program, ceramic records have been treated on a par with clasts in the geomorphological analyses of alluvial sediments. To test the different analytical procedures the 'Ancient Shipyard' of Pisa-San Rossore has been selected as a case study. This archaeological site represents a river channel, affected by several alluvial flood events. The analysis achieved several objectives, including the definition of the formation processes of the deposition (in synergy with the results of geomorphological data), the chronological framework of alluvial floods, the dynamics of flows, and locating the original deposition of the ceramic assemblage. In this regard, the combination of different approaches has proven particularly useful, ranging from computational analyses for chrono-typological determination of ceramic assemblages to intra-site spatial analyses, which have been useful in defining alluvial flood flows and the subsequent movement of ceramic assemblages.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 329-348
doi 10.19282/ac.35.1.2024.21

LA VILLA ROMANA DI MATRICE (CB) TRA GEOFISICA E SCAVO

1. Introduzione

Nel 2017 è stato avviato un programma di ricerca e di studio del sito archeologico che ospita la cosiddetta villa romana di Matrice, i cui primi scavi risalgono agli anni '80 del secolo scorso. Il sito di Matrice, inserito nel paesaggio rurale del Molise, pone la sfida di studiare lo sviluppo di un edificio che risulta difficilmente inquadrabile all'interno di una rigida categorizzazione tipologica. L'area di studio è stata occupata a partire dal III sec. a.C. da una proprietà fondiaria che si è trasformata nel tempo, adattandosi alle mutate condizioni politiche e sociali, ed è sopravvissuta senza soluzione di continuità fino al V-VI sec. d.C. La fase principale si data alla prima età imperiale ed è rappresentata dalla struttura nota come "villa" sebbene l'impianto non disponga, allo stato attuale delle conoscenze, di tutte le componenti caratteristiche di questa tipologia di fabbricati, né esprima il significato sociale insito in molte ville rustiche dell'Italia centrale (Marzano 2007, 102-124).

Il progetto, frutto dello sforzo congiunto della British School at Rome, dell'Ashmolean Museum di Oxford e del King's College London, si è mosso su un duplice binario: da un lato riprendere e riesaminare l'ampia mole di materiale prodotta dagli scavi pregressi e rimasta per grande parte inedita; dall'altro apportare nuovi dati attraverso prospezioni geofisiche e saggi mirati volti ad accrescere la comprensione del sito. In attesa della pubblicazione finale, il presente contributo intende focalizzare l'attenzione sull'approccio metodologico adottato dal progetto, incentrato su integrazione e confronto tra indagini non-invasive e saggi stratigrafici.

2. Inquadramento topografico

La città di Matrice si trova circa 10 km a NE di Campobasso, in Molise, all'interno del bacino idrografico del fiume Biferno, che nasce dal massiccio calcareo del Matese e sfocia nel lago di Guardialfiera. Il sito della villa romana è posto su un'altura (812 m s.l.m.) da dove gode di una vista privilegiata sulla valle sottostante, a controllo del braccio tratturale Cortile-Centocelle, che lega trasversalmente il tratturo Celano-Foggia con il tratturo Lucera-Castel di Sangro (Fig. 1).

In epoca preromana l'area era occupata dalla tribù sannitica dei Pentri, che aveva la propria capitale a *Bovianum* (moderna Bojano) e il principale centro religioso a Pietrabbondante. Con la riorganizzazione amministrativa seguita alla Guerra Sociale, il territorio dei Pentri andò a costituire parte della *Regio IV* dell'Italia romana, il *Samnium* (Buonocore 2002, 29-45). Città

quali *Saepinum*, *Bovianum* e *Fagifulae* conobbero un periodo di crescita e videro riconoscersi lo status di *municipia* (Letta 2021). Il paesaggio rurale rimase invece occupato da unità produttive, ville e possedimenti agricoli capaci di adattarsi alle nuove condizioni politiche ed economiche (Barker 1995b, 217-226; Patterson 2004; Witcher 2016). Tra questi, il sito di

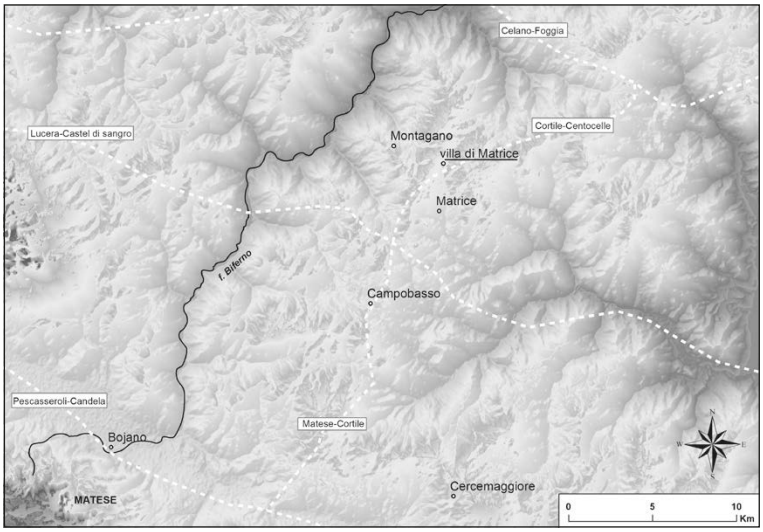


Fig. 1 – Localizzazione del sito archeologico di Matrice.



Fig. 2 – Area del sito archeologico con i resti delle strutture scavate ad E della strada in primo piano e la strada provinciale SP140 che attraversa il sito. Sullo sfondo, la chiesa di Santa Maria della Strada (guardando verso S).

Matrice vide un notevole sviluppo dovuto alla sua posizione strategica lungo il tratturello Cortile-Centocelle che, congiuntamente alla prosecuzione Cortile-Matese, costituiva uno dei più rapidi percorsi tra il territorio interno e quello costiero. L'uso di questo itinerario si mantenne nel tempo e su di esso venne presumibilmente a innestarsi la viabilità romana, attestata dalla Tabula Peutingeriana, che che raccordava i municipi di *Bovianum* e *Larinum* (De Benedittis 2010, 63-66; Ceccarelli, Frattianni 2017, 210-211). Il rapporto con le vie di comunicazione dovette rimanere a lungo un tratto distintivo della zona, dato che nel XII sec. la chiesa romanica costruita 200 m a S dell'area archeologica venne titolata a Santa Maria della Strada (Fig. 2) (Gandolfo 2000)[1].

3. Storia degli studi e ripresa delle ricerche da parte di British School at Rome, Ashmolean Museum e King's College London

Il sito archeologico presso Santa Maria della Strada è stato scoperto nei primi anni '70, durante la costruzione della strada provinciale SP140 che oggi attraversa i resti della villa (Fig. 2). Negli stessi anni G. Barker era impegnato nel Biferno Valley Survey, il primo importante studio di quest'area del Sannio, che portò all'identificazione di numerosi siti e insediamenti rurali (Barker 1995a, 1995b, 2001). Poco dopo la sua scoperta, il sito di Matrice venne visitato da G. Barker e J. Lloyd, che decisero di avviare i primi scavi. Tra il 1980 e il 1984 si susseguirono una serie di campagne di scavo, condotte dalle Università di Sheffield e Aberdeen in collaborazione con la Soprintendenza, sotto la direzione di Lloyd. La pubblicazione dei risultati rimase purtroppo incompiuta a causa della prematura scomparsa dell'archeologo.

Le ricerche sono state riprese nel 2017 da parte della British School at Rome, dell'Ashmolean Museum e del King's College London, sotto la direzione di S. Kay, P. Roberts e D. Rathbone. Il nuovo progetto è stato avviato con l'intento di completare lo studio diacronico del sito e comprenderne il ruolo nel contesto paesaggistico del Molise di età romana, portando a compimento la pubblicazione degli scavi. Le attività sul campo sono iniziate a ottobre 2017 con una stagione di prospezioni geofisiche volte a mappare le aree intorno alla villa, con l'intento di definire i limiti del sito e verificare la presenza di ulteriori strutture. Alle indagini geofisiche sono seguite due campagne di scavo. Durante la prima campagna, svolta a settembre del 2018, sono stati aperti cinque saggi, mirati a verificare i risultati della geofisica e a integrarne i dati con puntuali informazioni stratigrafiche (Kay *et al.* 2019). La

[1] Non è chiaro se il titolo della chiesa vada inteso come generico auspicio alla protezione dei viaggiatori, o se vi si debba scorgere un richiamo alla viabilità antica e quindi al tratturello Cortile-Centocelle o alla strada romana *Bovianum-Larinum* (Jaminson 1938, 34; Gianandrea 2018, 434).

seconda campagna di scavo, avvenuta a settembre 2022, ha avuto lo scopo di investigare in modo più approfondito alcune zone del complesso in relazione alle attività produttive della villa e alle fasi più antiche di occupazione del sito (Kay *et al.* 2023).

Il presente contributo, volendo concentrarsi sull'aspetto metodologico e sul confronto tra geofisica e scavo, prenderà in considerazione la sola campagna del 2018, non entrando comunque nel merito dei risultati dello scavo, di cui si è data comunicazione preliminare (Kay *et al.* 2019, 2023) e che saranno trattati nel dettaglio in altra sede, a completamento dello studio e dell'analisi dei materiali.

4. Il sito archeologico presso Santa Maria della Strada

La prima occupazione stabile del sito è segnata dalla costruzione dell'edificio sannitico, intorno al 200 a.C. (Lloyd 1991b, 262) (Fig. 3). La struttura è costruita con blocchi di pietra calcarea e la planimetria, di cui si è ipotizzata una pianta quadrata di circa 18×18 m, trova confronti con altri insediamenti rurali a dimensione familiare noti nel Molise (Di Niro, Petrone 1993). Un esempio ben conservato di questi edifici si trova presso il sito di Pesco Morelli a Cercemaggiore, il cui impianto si presenta ripartito internamente in ambienti minori, all'interno dei quali sono state rinvenute installazioni per la lavorazione e lo stoccaggio di derrate alimentari (Di Niro, Petrone 1993, 17; Muccilli *et al.* 2021). I ritrovamenti hanno suggerito di riconoscere nella struttura di Cercemaggiore una fattoria impegnata in un'economia di semplice sussistenza, tipologia cui sembra potersi ascrivere anche la speculare costruzione sannitica di Matrice.

Nel corso delle successive fasi edilizie, le nuove strutture si sono di volta in volta impiantate sulle precedenti, sfruttandone le murature e mantenendo invariato l'orientamento NE-SO (Fig. 3). La fase più significativa nella storia di Matrice si colloca tra il principato di Tiberio e quello di Claudio, quando l'edificio arrivò a occupare una superficie di circa 2000 m². In quest'epoca il sito rientrava nella sfera amministrativa di *Fagifulae*, il centro urbano più vicino, collocato pochi chilometri a O nell'attuale comune di Montagano (Fig. 1) (De Beneditttis 1991; Fratianni 2017, 270-274). La planimetria era articolata in due settori periferici raccordati da un corridoio centrale che affacciava su una corte aperta (Fig. 3) (Lloyd, Rathbone 1984; Barker 1995b, 224-226).

Il coinvolgimento della villa in attività agricole, forse riferibili ad una modesta produzione di vino, è attestato dal ritrovamento di una piattaforma e diversi *dolia* nei vani settentrionali del complesso, che era verosimilmente il settore deputato alla lavorazione e allo stoccaggio (Lloyd 1984, 2-3). Tuttavia, non si riconosce una netta differenziazione circa la destinazione d'uso dei due

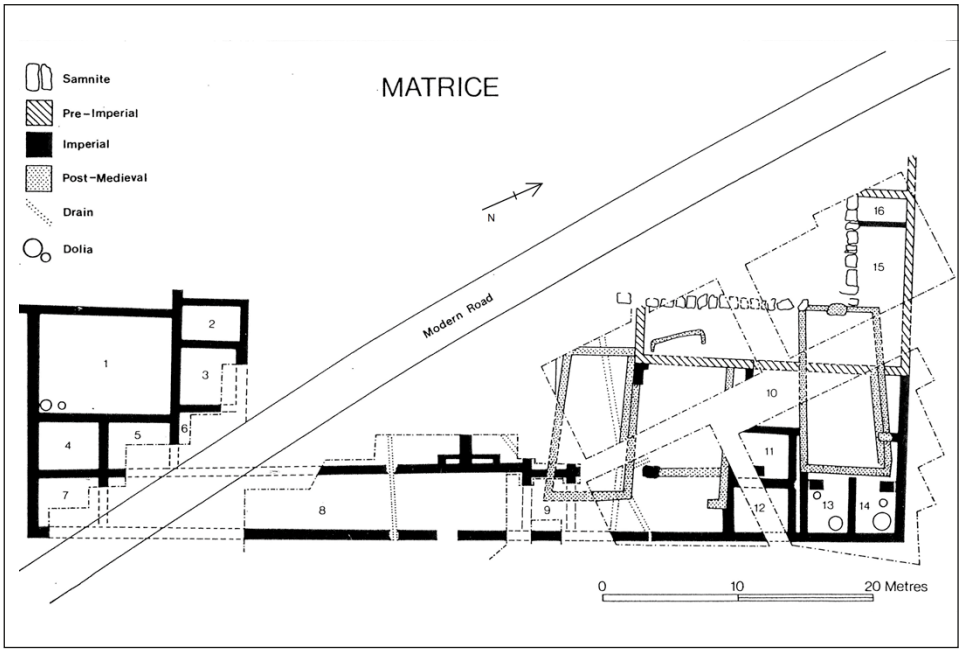


Fig. 3 – Pianta degli scavi degli anni '80 presso il sito di Matrice (da Lloyd 1991a, fig. 3).

nuclei dell'edificio, essendo stati rinvenuti *dolia* anche nel settore meridionale. L'apparente assenza di una vera e propria *pars urbana* è ribadita anche dal mancato ritrovamento di ornamenti di pregio, affreschi e decorazioni architettoniche[2]. Superato un periodo di declino, tra il II e il III sec. d.C., l'occupazione del sito si protrasse fino al V-VI sec., come attestano i rinvenimenti ceramici e numismatici. Un'ultima fase, successiva a un'interruzione di diversi secoli, si registra intorno al 1600, con la costruzione sopra i resti romani di una struttura agricola, probabilmente un granaio (Lloyd 1984, 2).

5. Le prospezioni geofisiche

Le prospezioni geofisiche del 2017 sono state condotte integrando i metodi della magnetometria e del Ground-Penetrating Radar (GPR) (Fig. 4). L'obiettivo delle indagini è stato quello di definire i limiti del sito e documentare possibili strutture al di sotto della strada SP140, dove si congiungevano i due settori della villa. Dove possibile si è prediletto l'uso del GPR, che rispetto

[2] Le uniche tracce di decorazione sono relative a tessere di mosaico di grosse dimensioni e frammenti di intonaco dipinto (Lloyd 1981, 1; Lloyd *et al.* 1982, 8).

alla magnetometria offre una maggiore risoluzione geometrica e consente di ottenere informazioni sulla profondità di giacitura delle anomalie rilevate.

Le indagini GPR sono state condotte nelle aree immediatamente intorno ai saggi di scavo degli anni '80, nelle zone accessibili circostanti la villa e sulla SP140. Le differenze tra le varie aree di indagine, sia rispetto alla quota del piano di calpestio che alla copertura del suolo – in particolare per quanto riguarda il manto stradale – hanno richiesto di impostare di volta in volta parametri strumentali diversi. Le prospezioni GPR sono state svolte con uno strumento GSSI SIR-3000 associato a un'antenna con frequenza nominale di 400 MHz e i dati sono stati raccolti lungo traverse parallele equidistanti 0.25 m. La direzione di acquisizione è stata scelta, dove possibile, in modo da favorire l'individuazione di elementi lineari con orientamento concorde agli edifici noti. L'elaborazione dei dati GPR è stata eseguita sul software GPR-Slice e portata avanti separatamente per ciascuna delle griglie indagate. I risultati sono stati esportati come time-slice, ossia piani paralleli alla superficie del suolo tagliati a profondità crescente (Conyers 2013).

La magnetometria è stata impiegata, invece, nell'area a O della strada, che si presentava inadatta all'uso del GPR a causa della forte pendenza e del terreno sconnesso conseguente ad aratura. Le prospezioni di magnetometria hanno utilizzato un gradiometro fluxgate Bartington Grad-601 dotato di due sensori. I dati sono stati acquisiti ogni 0.25 m, lungo traverse parallele equidistanti 0.5 m. I dati gradiometrici sono stati elaborati nel software GEOPLOT.

6. L'ossatura GIS e l'integrazione digitale della documentazione

L'avvio di un nuovo progetto determinato a integrare la documentazione (cartacea) dei vecchi scavi con i nuovi dati, provenienti sia da indagini non-invasive che da saggi di scavo, ha dettato la necessità di realizzare un GIS nel quale far confluire tutti i dati. Il lavoro sul campo ha dunque previsto un rilievo topografico dell'area, propedeutico tanto al corretto posizionamento dei risultati della geofisica quanto alla georeferenziazione della vecchia pianta di scavo pubblicata da J. Lloyd. Data l'assenza di copertura satellitare in alcune delle aree di indagine, come la parte ad E della villa immersa all'interno di un boschetto, il rilievo topografico è stato eseguito utilizzando in modo complementare la Stazione Totale e il GPS. La Stazione Totale è stata usata per materializzare a terra i picchetti corrispondenti agli angoli delle griglie e registrarne le coordinate in un sistema locale. Il GPS è stato impiegato per misurare cinque punti distribuiti intorno all'area di studio, prima battuti con la Stazione Totale.

Attraverso i cinque punti omologhi è stato possibile, in fase di processing, convertire il Sistema Locale della Stazione Totale in Sistema di Riferimento Geografico (WGS 84). Il GPS è stato impiegato inoltre per rilevare una serie



Fig. 4 – Ubicazione delle aree indagate durante le prospezioni geofisiche 2017.

di control points sulle parti visibili delle strutture scavate negli anni ’80, facendo attenzione che gli stessi punti fossero anche riconoscibili in pianta. Tutti i dati topografici, importati in un progetto GIS (utilizzando il software ArcMap della suite Esri) sono stati proiettati nel sistema cartografico nazionale Gauss-Boaga, fuso Est (punto di emanazione: Roma-M. Mario), scelto per

aderire al Sistema in uso dalla cartografia disponibile online, come la Carta Tecnica Regionale del Molise.

Al termine dell'elaborazione dei risultati della geofisica, le time-slice del GPR e la mappa magnetica sono state esportate dai relativi software in formato raster e importate nel progetto GIS. Le immagini sono state georeferenziate utilizzando come riferimento gli angoli delle griglie di cui erano state registrate le coordinate. All'interno dello stesso progetto è stata inserita anche la pianta di scavo pubblicata da J. Lloyd (1991a, Fig. 3), che è stata georeferenziata utilizzando i Ground Control Points misurati sui punti riconoscibili sulle strutture. Al termine di queste procedure è stato possibile visualizzare correttamente i risultati delle indagini geofisiche in relazione all'area di scavo e alla cartografia disponibile, passaggio indispensabile per poter procedere con l'analisi dei risultati.

L'interpretazione della geofisica è stata fatta realizzando un geodatabase all'interno del quale sono stati creati una serie di feature classes poligonali relativi a ciascuna area indagata. Nella tabella degli attributi degli shapefile relativi al GPR sono stati aggiunti i campi "numero_time-slice", "tipo_segnale", "periodo". Nella tabella degli attributi dello shapefile della magnetometria è stato aggiunto solamente il campo "tipo_anomalia" per indicare il tipo di segnale magnetico registrato. Le anomalie di potenziale interesse archeologico e i maggiori segnali di ampia riflessione o di magnetizzazione sono stati dunque digitalizzati, associando a ciascuna geometria le informazioni indicate nei campi della tabella attributi. In tal modo è stato possibile, nell'elaborato grafico dei risultati, scegliere simbologie diverse per i diversi tipi di segnale o per i diversi periodi attribuiti.

Nella seconda fase del progetto, per preparare la campagna di scavo del 2018, è stato stabilito in ambiente GIS il posizionamento dei saggi sulla base dei risultati della geofisica. È stato tracciato il profilo delle aree di scavo ed è stato creato uno shapefile puntuale contenente i punti corrispondenti agli angoli dei saggi. Il file è stato esportato in formato ASCII (.txt) e importato nel GPS (Leica TS18), per materializzare sul terreno i saggi di scavo.

7. Risultati della geofisica

Le prospezioni magnetometriche hanno rilevato, nella parte centrale dell'area indagata, un'anomalia magnetica di considerevoli dimensioni, circa 9×5 m, orientata NO-SE (Fig. 5, M1). La geometria regolare dell'anomalia, di forma quasi rettangolare, ne ha indicato il potenziale interesse archeologico, che però, date le dimensioni, non è sembrato potersi attribuire a una muratura piena. Si è ipotizzato che l'anomalia M1, individuata da valori positivi, potesse segnalare la presenza di una concentrazione di materiale con forte risposta magnetica come ceramica o laterizi. La magnetometria è infatti particolarmente

adatta a rilevare questo tipo di materiale, che conserva una magnetizzazione termoresidua derivante dalle elevate temperature raggiunte durante la cottura dell'argilla (Aspinall *et al.* 2008). L'interpretazione dell'anomalia M1 è rimasta comunque incerta e necessitante di ulteriori indagini. A N di M1 sono stati localizzati alcuni segnali magnetici sparsamente distribuiti (Fig. 5, M2) che, anche se di potenziale interesse, sono risultati di difficile interpretazione. La stessa area, a O della strada provinciale, è stata parzialmente indagata anche con il GPR, che non ha però mostrato alcuna anomalia significativa.



Fig. 5 – Risultati delle prospezioni magnetometriche.

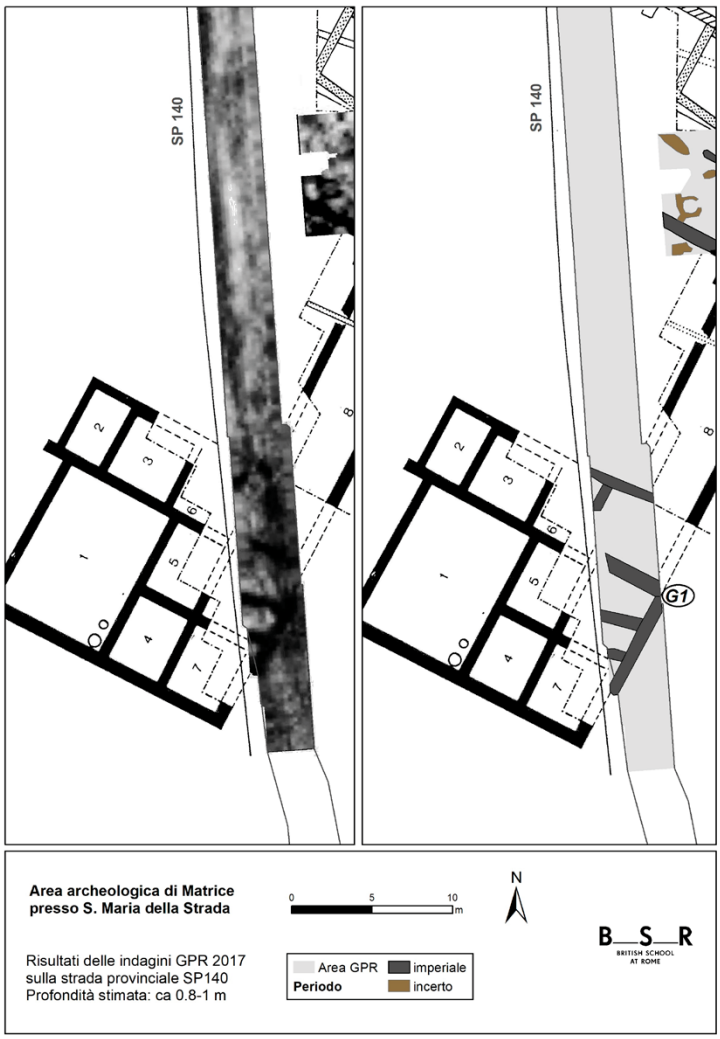


Fig. 6 – Risultati delle prospezioni GPR condotte sulla strada provinciale SP140.

Nell'area circostante la villa a S, E e N le prospezioni GPR hanno confermato i limiti dell'edificio precedentemente ipotizzati, senza rilevare ulteriori strutture sepolte. I dati più significativi derivano dalle indagini lungo la strada asfaltata SP140 e nelle zone subito adiacenti alle trincee di scavo degli anni '80 (Figg. 6, 7). In entrambi i casi segnali di ampia riflessione hanno individuato resti murari relativi alla villa, che hanno permesso di

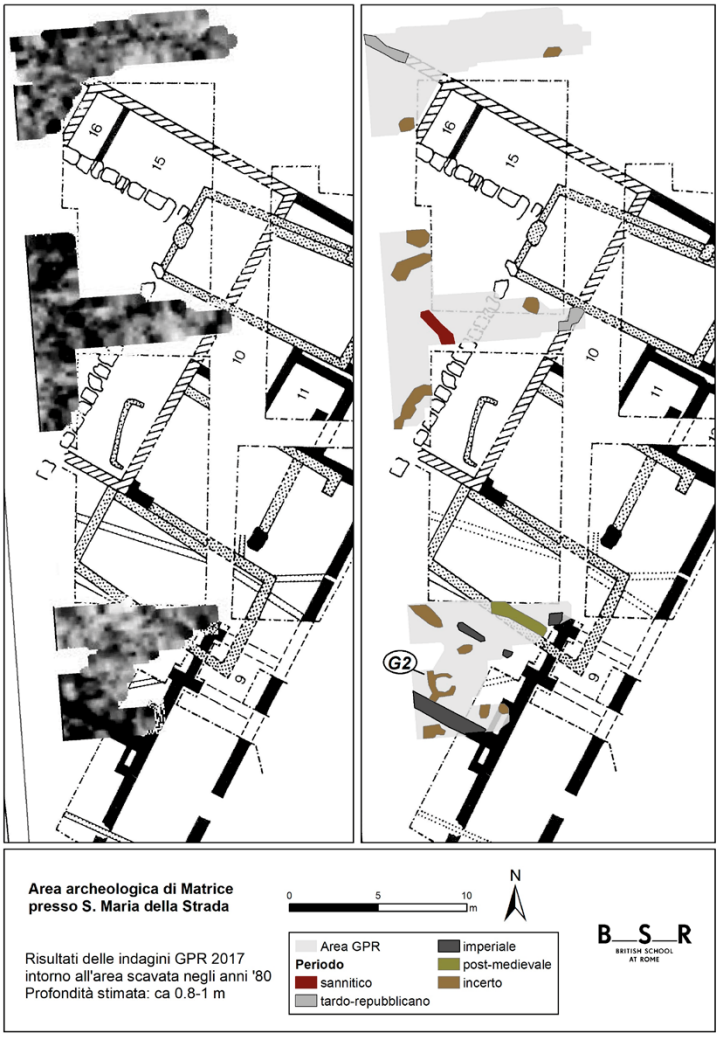


Fig. 7 – Risultati delle prospezioni GPR nelle aree adiacenti agli scavi degli anni '80.

integrare la pianta dell'edificio nelle sue diverse fasi. Al di sotto del manto stradale, nella parte S dell'area indagata, sono stati localizzati alcuni muri, attribuiti all'età imperiale, pertinenti all'ala meridionale dell'edificio (Fig. 6, G1). Le strutture rilevate hanno mostrato una distribuzione degli ambienti leggermente divergente rispetto a quelle proposta nella pianta pubblicata da J. Lloyd. L'assenza di strutture nel tratto più a N, sia lungo la SP140 che ad

O di essa, confermerebbe l'ipotesi di una corte aperta nella sezione centrale del complesso. Rimane comunque possibile che alcune strutture siano state compromesse dalla costruzione della strada negli anni '70.

Nelle aree di indagine più prossime ai vecchi saggi di scavo sono state localizzate una serie di anomalie pertinenti a muri o fondazioni delle diverse fasi dell'edificio. In alcuni casi, la posizione topografica in diretta prosecuzione dei muri scavati ha permesso di ipotizzare la fase edilizia di pertinenza (Fig. 7). Nell'area adiacente alla trincea di scavo N è stato rilevato un tratto, non completamente integro, del muro perimetrale della villa tardo-repubblicana. Nella parte centrale anomalie lineari hanno localizzato diversi segmenti murari, tra cui dei blocchi relativi alla fase sannitica del sito. Più a S i dati hanno mostrato tre serie di tracce lineari parallele NO-SE, pertinenti all'ultima fase di occupazione del sito e alla fase imperiale. In quest'area la profondità cui sono state intercettate alcune anomalie ha suggerito che la sequenza stratigrafica fosse ben preservata. Tra i segnali di ampia riflessione registrati è stata notata un'anomalia di forma circolare, ad una profondità di circa 1 m sotto il piano attuale (Fig. 7, G2), interpretata in via ipotetica come possibile pozzo.

8. La campagna di scavo 2018

Nel 2018 sono stati aperti cinque saggi di scavo sulla base dei risultati delle prospezioni geofisiche (Fig. 8), con gli obiettivi di: a) analizzare la sequenza stratigrafica là dove sembrava essersi meglio conservata (Aree 1 e 2); b) indagare la grande anomalia magnetica M1 (Area 3); c) esplorare la potenziale prosecuzione del muro perimetrale settentrionale verso O (Area 4 e 5). In Area 3, dove era stata registrata la grande anomalia magnetica M1, poco al di sotto del terriccio superficiale sono stati esposti quattro muri a delimitare uno spazio rettangolare di circa 7×3,5 m. Lo scavo è stato approfondito all'interno della struttura rettangolare attraverso due sondaggi alle estremità E e O rimuovendo uno spesso strato di crollo, che si è rivelato poggiare su un pavimento integro, raggiunto ad una profondità di 1,42 m (Fig. 9). La struttura portata in luce, una cisterna costruita in pietre e mattoni e interamente rivestita in cocciopesto, doveva avere una copertura in tegole, trovate in crollo direttamente sopra il pavimento.

Il materiale ceramico e numismatico recuperato dallo scavo ha indicato che la cisterna cadde in disuso intorno al III sec. d.C. Lungo il limite orientale di Area 3 è stata parzialmente esposta una canaletta, tagliata da un muro di fondazione successivo (Fig. 10). La canaletta, orientata SE-NO, doveva proseguire al di sotto della strada, verso la villa, cui portava l'acqua raccolta nella cisterna. Poiché i risultati del GPR sulla SP140 non avevano rilevato alcuna traccia della canaletta al di sotto del manto stradale è possibile che questa sia stata danneggiata dalla costruzione della strada. In ogni caso la scoperta della

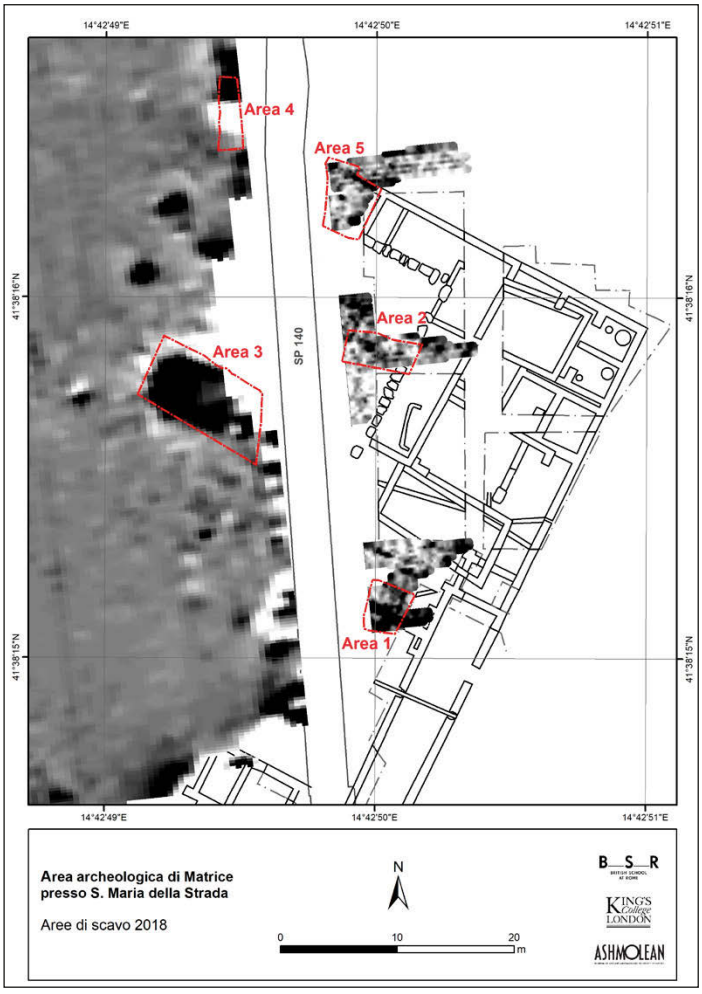


Fig. 8 – Posizionamento dei saggi di scavo 2018 rispetto alla geofisica.

cisterna e della canaletta chiarisce l'interrogatorio che era rimasto irrisolto circa l'approvvigionamento idrico della villa.

Lo scavo in Area 1 ha esposto strutture appartenenti a tre distinte fasi: repubblicana, imperiale e tardoantica. I risultati hanno sostanzialmente confermato l'interpretazione dei dati del GPR, eccetto per il segnale di ampia riflessione (Fig. 7, G2), che si era ipotizzato potesse individuare un pozzo. Lo scavo ha mostrato invece una complessa sequenza stratigrafica formata

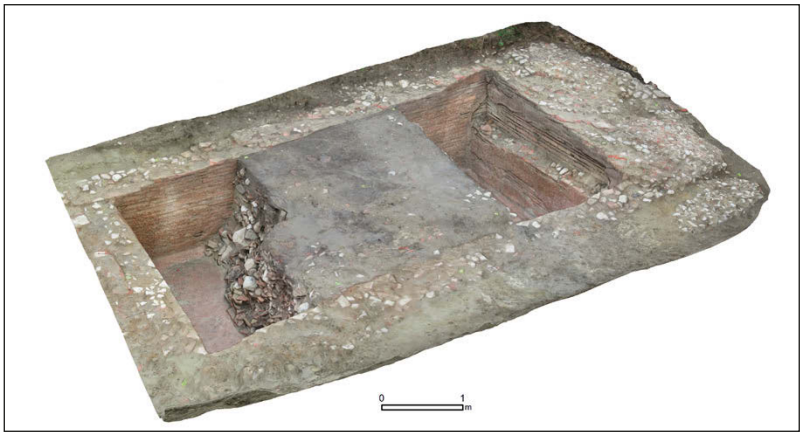


Fig. 9 – Rilievo fotogrammetrico della cisterna scavata in Area 3, in corrispondenza dell'anomalia magnetica M1.

da muri di fasi edilizie successive sovrapposti uno sull'altro. L'anomalia di forma pseudo-circolare era risultata, dunque, dall'insieme di un muro tardo-repubblicano, parzialmente distrutto e sostituito da uno nuovo in età imperiale e da una canaletta tardo-antica (Fig. 10). In Area 2 sono stati esposti sette blocchi calcarei lavorati grossolanamente, perpendicolari al muro NE-SO del II sec. a.C., confermando l'interpretazione delle anomalie geofisiche come appartenenti a un muro sannitico (Fig. 10). Il nuovo muro marca una divisione interna dell'edificio sannitico che ne denuncia una planimetria più articolata rispetto a quanto prima documentato.

L'interpretazione del GPR è stata confermata anche in Area 5, dove è stato scavato un setto murario in prosecuzione del muro perimetrale N della villa. In quest'area è stato esposto anche uno strato occupazionale del V sec. d.C. Sul lato opposto della SP140, lo scavo di Area 4 ha intercettato alcuni resti significativamente danneggiati dai lavori agricoli e dalla costruzione della strada.

9. Discussione

I risultati dello scavo hanno in gran parte confermato l'interpretazione che era stata proposta per la geofisica, con l'eccezione dell'anomalia GPR, G2 in Area 2, che si ipotizzava potesse individuare un pozzo e che invece è risultata derivare da una complessa sequenza stratigrafica scandita da una serie di muri sovrapposti (Figg. 7 e 10). Le nuove evidenze emerse in Area 2 indicano che l'edificio sannitico, di cui si era ipotizzata una semplice pianta a base quadrata, fosse ripartito internamente in ambienti minori. La nuova ricostruzione planimetrica offre un accostamento più diretto alla struttura

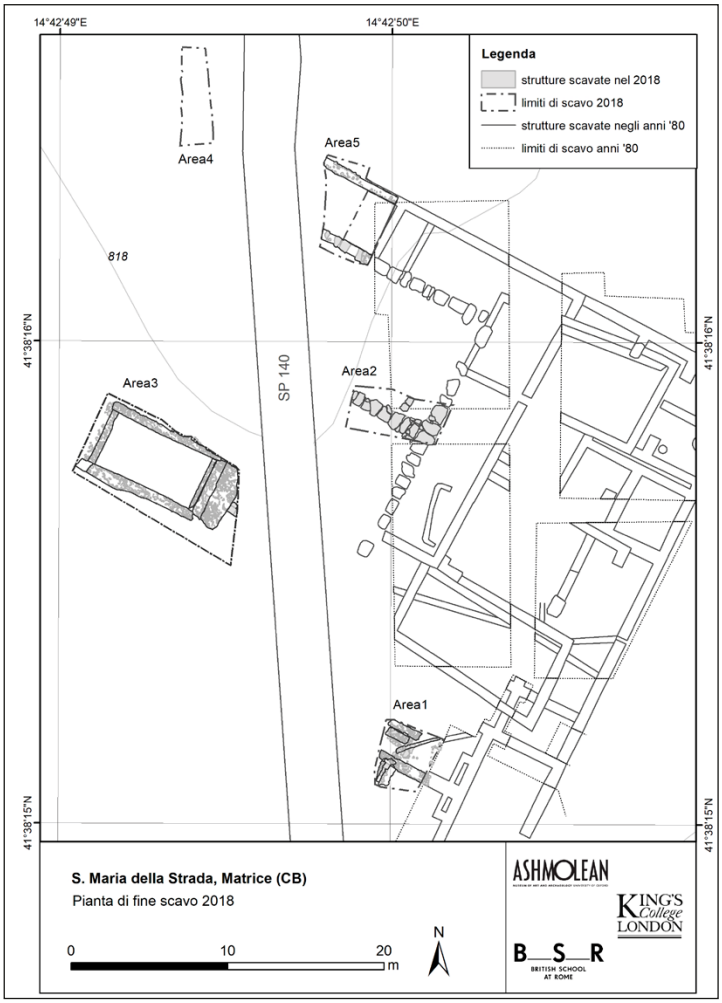


Fig. 10 – Pianta del sito archeologico di Matrice aggiornata con le strutture scavate nel 2018.

sannitica di Cercemaggiore, dove una serie di ambienti sono disposti intorno a una corte centrale. Il confronto che è stato proposto tra l'impianto planimetrico di Cercemaggiore e quello delle fattorie italiche (Muccilli *et al.* 2021) può essere ora esteso alla costruzione di Matrice.

Per quanto riguarda l'anomalia M1 (Fig. 5), l'ipotesi relativa alla presenza di un grande accumulo di materiale archeologico si è rivelata corretta. Il forte segnale magnetico che ha portato alla scoperta della cisterna in Area

3 era stato originato, infatti, dalle tegole del tetto in crollo e dal materiale che aveva successivamente riempito la vasca (Fig. 9). L'interpretazione della magnetometria non aveva però previsto l'esistenza della cisterna, il cui ritrovamento incide sullo studio del sito in modo maggiore rispetto a quanto si potesse ipotizzare dalla sola geofisica. Prima della campagna 2018, infatti, non era noto il sistema di approvvigionamento idrico della villa, indispensabile al suo sostentamento. Lo scavo della cisterna ha risolto il quesito, palesando la riserva d'acqua che sopperiva al fabbisogno della villa.

Le ridotte dimensioni e la limitata capacità della vasca (stimabile tra 35 e 50 m^3) portano però a ritenere che l'acqua raccolta non fosse sufficiente per essere adoperata anche a scopo agricolo. Si deve pertanto escludere, al momento, l'ipotesi del coinvolgimento della villa in tutte quelle attività agricole che necessitano di irrigazione. Si potrebbe supporre che i campi fossero votati alla produzione di cereali e/o alla coltivazione di vite o ulivo, colture che non richiedono un apporto di acqua aggiuntivo rispetto a quella meteorica (Thomas, Wilson 1994; Wilson 2008). La distanza tra la villa e *Faegifulae*, il centro urbano cui presumibilmente erano rivolti i beni prodotti nel sito, si accorderebbe con l'ipotesi di una produzione vinicola. In base al rapporto tra costi di produzione, costi di trasporto e profitto la campagna rurale, ubicata poco oltre la fascia periurbana, sarebbe stata sede ottimale per la produzione del vino (Carandini 1985). Un'ulteriore ipotesi potrebbe riguardare l'impegno primario della villa nell'allevamento e nella produzione tessile e di lana. Mancano però al momento prove sufficienti a confermare o smentire l'ipotesi, supportata soprattutto dalla posizione del sito, in zona collinare e lungo il percorso della transumanza.

Le prospezioni geofisiche hanno permesso di definire l'areale occupato dall'edificio di età imperiale, consentendo di avanzare nuove riflessioni sul tema della tipologia edilizia. Nella classificazione delle abitazioni e degli edifici rurali che è stata proposta (Bowes 2020b) in base a dimensioni e complessità planimetrica, il tipo più elaborato è caratterizzato da installazioni specializzate e dalla ripartizione degli spazi in ambienti adibiti allo svolgimento di specifiche attività[3]. La distinzione tra questo tipo di edificio rurale più complesso e la villa rustica è molto labile e dipende esclusivamente dalle dimensioni della struttura e dalla qualità di materiali e tecnica edilizia impiegati. Prendendo in considerazione il solo parametro dimensionale va notato che l'edificio di Matrice con i suoi 65×30 m supera le dimensioni di strutture considerate ville rustiche e non semplici fattorie, come quelle di Selvasecca (ca. 35×35 m) e villa Sambuco (ca. 23×17 m) nell'*ager lunensis* (Bowes 2020b). Le dimensioni

[3] Nel contesto delle limitate conoscenze riguardanti la campagna rurale e le abitazioni e fattorie non-elitarie che la popolavano, un importante contributo proviene dalle ricerche del Roman Peasant Project (Bowes 2020a).

del fabbricato, la presenza di installazioni per produzioni specializzate e il rinvenimento di materiali di importazione rivelano, infatti, un'organizzazione nettamente più complessa rispetto a quella delle abitazioni rurali o delle fattorie impegnate in un'economia di semplice sussistenza.

Tuttavia, guardando ad altri impianti produttivi del Molise, il loro accostamento alla tipologia di villa rustica, permeata dalla compresenza di attività produttiva e ricercata agiatezza, risulta più diretto. Le diverse ville note per il territorio di *Larinum*, ad esempio, sono spesso dotate di impianti termali e manifestano tutte un'attenzione al gusto decorativo e una ricchezza sconosciute a Matrice (Iasiello 2007, 155-173; Fratianni 2017, 281-288). Le nuove indagini hanno confermato l'assenza di una *pars urbana* vera e propria come anche di chiari indicatori di agiatezza. Sebbene la struttura di Matrice non condivida gli aspetti elitari e di ricercatezza distintivi delle ville extra-urbane, definire la condizione socioeconomica del proprietario risulta complesso. Possiamo presumere infatti che gli esponenti dell'aristocrazia di un piccolo centro urbano periferico, come *Faegifulae*, vivessero una condizione di ricchezza relativamente contenuta. Per quanto a noi possa apparire modesto, è possibile che il proprietario della villa di Matrice rivestisse un certo prestigio a livello locale. Rimane dunque ancora difficile incasellare l'edificio romano di Matrice all'interno di una categoria di strutture ben definita. Le evidenze note mostrano la presenza di elementi peculiari, derivanti dalle condizioni geografiche e topografiche, oltre che dal contesto storico, che collocano il sito in posizione intermedia tra unità produttiva non-elitaria e villa rustica.

10. Considerazioni conclusive

La ripresa delle ricerche presso il sito archeologico di Matrice è stata improntata sull'integrazione tra geofisica e scavo archeologico. L'approccio metodologico è stato quello di un reciproco supporto tra i due sistemi di indagine, ciascuno dei quali ha contribuito in modo complementare all'altro ad arricchire il quadro delle conoscenze. Oltre a mappare rapidamente la zona intorno al sito, definendo i limiti della sua estensione, le prospezioni geofisiche hanno portato all'individuazione di elementi di potenziale interesse, indirizzando lo scavo del 2018. Lo scavo ha a sua volta consentito la verifica dei risultati di geofisica attraverso il riscontro diretto con il dato archeologico e ha integrato le informazioni stratigrafiche e cronologiche, precluse alle indagini non-invasive. L'applicazione di prospezioni geofisiche per inquadrare meglio il contesto topografico di un sito e definirne l'areale, ma anche allo scopo di indirizzare in modo mirato le attività di scavo, sta divenendo una pratica sempre più diffusa (Boschi 2020; Baret 2021). Lo stesso metodo illustrato in questo contributo è stato adottato da varie ricerche, tra cui il progetto recentemente avviato nella città romana di *Falerii Novi* (Falerii Novi Project), dove i saggi di scavo sono

stati precisamente posizionati sulla base dei risultati delle prospezioni geofisiche, al fine di indagare tematiche specifiche (Andrews *et al.* 2023).

Matrice offre un caso di studio interessantissimo per osservare lo sviluppo diacronico di un sito rurale dell'Italia centrale. Sin dall'antichità la zona era attraversata dalle rotte della transumanza, dalle vie di comunicazione sviluppatesi da esse e dall'itinerario che collegava i municipi romani di *Bovianum* e *Larinum* (De Benedittis 2010, 63-66). L'importanza della transumanza, che rimase una pratica appenninica, e il transito di grande rilievo per l'economia dell'Italia centro-meridionale appenninica e il transito del tratturello nella zona di Matrice ebbero un peso determinante nello sviluppo del sito. La continuità insediativa dimostra la capacità di adattamento alle trasformazioni avvenute nel sistema di produzione e nell'organizzazione del territorio a seguito della Guerra Sociale. L'edificio, che in una prima fase era sede di attività produttive di autosostentamento nell'ambito di una fattoria sannitica a dimensione familiare, entrando a far parte del territorio amministrativo di *Fagifulae*, venne progressivamente ampliato, vedendo incrementare gli sforzi di produzione in risposta alle nuove esigenze.

La villa di Matrice, pur inserendosi nel quadro generale delle dinamiche che hanno condizionato lo sviluppo degli insediamenti rurali (Fratianni 2017, 274-276), si pone in una posizione di estrema particolarità. Se da un lato esprime una condizione modesta, specchio di una realtà territoriale piccola e marginale, dall'altro mostra però elementi non comuni nella dimensione rurale, come materiali di importazione (Roberts 1988), riconducibili alla peculiare posizione topografica strategica.

In questa sede si sono voluti condividere in forma preliminare alcuni spunti di riflessione, che non si devono intendere conclusivi, ma che hanno voluto richiamare l'attenzione su un sito di estremo interesse e su una tipologia insediativa forse ancora non del tutto compresa. Nella fase finale del progetto i dati delle nuove ricerche saranno integrati con la grande mole di materiale rimasta inedita dagli scavi di J. Lloyd per uno studio comprensivo diacronico del sito archeologico di Matrice.

Elena Pomar
British School at Rome
e.pomar@bsrome.it

Ringraziamenti

Questo articolo presenta i dati raccolti nell'ambito di una ricerca promossa dalla British School at Rome, dall'Ashmolean Museum dell'Università di Oxford e dal King's College London in collaborazione con la Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio del Molise. Ringrazio i direttori del progetto, Stephen Kay, Paul Roberts e Dominic Rathbone per avermi coinvolta nella ricerca. Le prospezioni geofisiche sono state supportate dalla Roman Society.

BIBLIOGRAFIA

Andrews M., Bernard S., Dodd E., Fochetti B., Kay S., Liverani S., Millett M., Vermeulen F. 2023, *The Falerii Novi Project*, «Papers of the British School at Rome», 91, 9-34.

Aspinall A., Gaffney C., Schmidt A. 2008, *Magnetometry for Archaeologists*, Plymouth, AltaMira Press.

Baret F. 2021, *GPR vs archaeological excavation: Comparison of the results obtained in the eastern district of the Roman small town of Bridiers (La Souterraine, Creuse, France)*, «ArcheoSciences Revue d'Archéométrie», 45, 1, 17-22.

Barker G. 1995a, *The Biferno Valley Survey: The Archaeological and Geomorphological Record*, London, New York, Leicester University Press.

Barker G. 1995b, *A Mediterranean Valley: Landscape Archaeology and Annales History in the Biferno Valley*, London, Leicester University Press.

Barker G. 2001, *La Valle del Biferno. Archeologia del territorio e storia annalistica*, Campobasso, Istituto Regionale per gli Studi Storici del Molise "V. Cuoco" Premio "E.T. Salamon".

Boschi F. 2020, *Archeologia senza scavo. Geofisica e indagini non invasive*, Bologna, Bononia University Press.

Bowes K. (ed.) 2020a, *The Roman Peasant Project 2009-2014. Excavating the Roman Rural Poor*, Philadelphia, University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology.

Bowes K. 2020b, *Peasant houses and households in Roman central Italy*, in Bowes 2020a, 436-442.

Buonocore M. 2002, *L'Abruzzo e il Molise in età romana tra storia ed epigrafia*, L'Aquila, Edizioni Libreria Colacchi.

Carandini A. 1985, *Hortensia. Orti e frutteti intorno a Roma*, in *Misurare la terra: centuriazione e coloni nel mondo romano. Città, agricoltura, commercio: materiali da Roma e dal suburbio*, Modena, Panini, 66-74.

Ceccarelli A., Fratianni G. 2017, *Molise (Archeologia delle Regioni d'Italia)*, Roma, Bradypus.

Conyers L.B. 2013, *Ground-Penetrating Radar for Archaeology*, 3ª ed., Plymouth, Altamira Press.

De Benedittis G. 1991, Fagifulae, in S. Capini, A. Di Niro (eds.), Samnium*: archeologia del Molise*, Roma, Quasar, 259-260.

De Benedittis G. 2010, *La provincia Samnii e la viabilità romana*, Cerro al Volturno, Volturnia Edizioni.

Di Niro A., Petrone P. 1993, *Insediamenti di epoca sannitica nel territorio circostante la Valle del Torrente Tappino (Campobasso, Molise)*, «Papers of the British School at Rome», 61, 7-50.

Fratianni G. 2017, *L'età romana*, in Ceccarelli, Fratianni 2017, 199-296.

Gandolfo F. 2000, *Una abbazia molisana e il suo programma decorativo: Santa Maria della Strada presso Matrice*, in A.C. Quintavalle (ed.), *Le vie del Medioevo. Atti del Convegno internazionale di Studi (Parma 1998)*, Milano, Electa, 208-222.

Gianandrea M. 2018, *Il complesso di Santa Maria della Strada presso Matrice nel Medioevo*, in F. Marazzi (ed.), *Molise medievale cristiano. Edilizia religiosa e territorio (secoli IV-XIII)*, Studi vulturnensi, 10, Cerro al Volturno (IS), Volturnia Edizioni, 433-445.

Iasiello I.M. 2007, Samnium. *Assetti e trasformazioni di una provincia dell'Italia tardoantica*, Bari, Edipuglia.

Jaminson E. 1938, *Notes on Santa Maria della Strada at Matrice, its history and sculpture*, «Papers of the British School at Rome», 14, 32-97.

Kay S., Rathbone D., Roberts P. 2023, *The 2022 excavations at the Samnite and Roman settlement at Santa Maria della Strada, Matrice (provincia di Campobasso, regione Molise)*, «Papers of the British School at Rome», 91, 342-345.

Kay S., Roberts P., Rathbone D. 2019, *The Samnite and Roman settlement at Santa Maria della Strada (comune di Matrice, provincia di Campobasso, Regione Molise)*, «Papers of the British School at Rome», 87, 341-345.

Letta C. 2021, *La municipalizzazione tardiva del Sannio*, in T.D. Stek (ed.), *The State of the Samnites*, «Papers of the Royal Netherlands Institute in Rome», 69, 65-78.

Lloyd J.A. 1981, *The Roman Villa at Matrice. A preliminary report on the 1981 excavations*, unpublished excavation report.

Lloyd J.A. 1984, *Excavations at the Villa Rustica near Matrice, Italy, 1984*, unpublished excavation report.

Lloyd J.A. 1991a, *Farming the highlands:* Samnium *and Arcadia in the Hellenistic and Early Roman Imperial periods*, in G. Baker G., J. Lloyd (eds.), *Roman Landscape. Archaeological Survey in the Mediterranean Region*, Archaeological Monographs of the British School at Rome, 2, London, British School at Rome, 180-193.

Lloyd J.A. 1991b, *The Roman villa at Santa Maria della Strada, Matrice*, in S. Capini, A. Di Niro (eds.), Samnium*: archeologia del Molise*, Roma, Quasar, 261-262.

Lloyd J.A., Rathbone D. 1983, *Excavation at the Matrice Roman Villa, Italy,* 1983, unpublished excavation report.

Lloyd J.A., Rathbone D. 1984, *La villa romana a Matrice*, «Conoscenze», 1, 216-219.

Lloyd J.A., Rathbone D., Upson A. 1982, *The Roman Villa at Matrice. A Report on the Third Season of Excavation*, unpublished excavation report.

Marzano A. 2007, *Roman Villas in Central Italy. A Social and Economic History*, Leiden-Boston, Brill.

Muccilli I., Di Niro A., Colombo M.D. 2021, *Il sito di Pesco Morelli a Cercemaggiore (CB): riesame dei dati di scavo e considerazioni generali sul rapporto spazio pubblico e spazio privato nel mondo sannitico*, in T.D. Stek (ed.), *The State of the Samnites*, «Papers of the Royal Netherlands Institute in Rome», 69, 103-118.

Patterson J.R. 2004, *Samnium under the Roman Empire*, in H. Jones (ed.), *Samnium. Settlement and Cultural Change*, Providence, Brown University, 51-68.

Roberts P. 1988, *Pottery and Settlement in the Province of Molise during the Roman Imperial Period*, Unpublished PhD Thesis, University of Cambridge.

Thomas R.G., Wilson A.I. 1994, *Water supply for Roman farms in Latium and South Etruria*, «Papers of the British School at Rome», 62, 139-196.

Wilson A.I. 2008, *Villas, horticulture and irrigation infrastructure in the Tiber Valley*, in H. Patterson, F. Coarelli (eds.), *Mercator Placidissimus. The Tiber Valley in Antiquity. New research in the Upper and Middle River Valley (Rome 2004)*, Roma, Edizioni Quasar, 731-768.

Witcher R. 2016, *Agricultural production in Roman Italy*, in A.E. Cooley (ed.), *A Companion to Roman Italy*, Chichester, Wiley Blackwell, 459-482.

ABSTRACT

The Roman villa at Matrice, located in Molise, central Italy, offers a rare opportunity to reflect on a typology of site that is sparsely documented. The building at Matrice presents distinctive elements of a rural villa of the 1st century AD, dedicated to agricultural, pastoral and wine production activities. However, these elements are adapted here in a decentralized area of the Roman State, where the local elites did not exhibit the same opulence of those belonging to major urban centres. The villa displays peculiar aspects and reflects local economic, social, and geographical conditions. After the excavation of the 1980s, archaeological research at Matrice was renewed in 2017 by a joint team from the British School at Rome, King's College London, and the Ashmolean Museum of Oxford. The project used a preliminary geophysical survey to explore the area around the site, discovering new archaeological features. The following excavation season assessed the geophysical results and provided significant stratigraphic information. The paper focuses on the methodological aspect of the research, comparing the geophysical results with data from the excavation. It also underlines the potential implications of the new evidence for the understanding of the site.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 349-368
doi 10.19282/ac.35.1.2024.22

TECNICHE DI MODELLAZIONE 3D PER UNA DOCUMENTAZIONE ACCURATA DELLE INCISIONI RUPESTRI: CONFRONTO TRA STRUCTURE FROM MOTION E STEREOFOTOMETRIA

1. Introduzione e obiettivo del lavoro[1]

Il patrimonio culturale, e in particolare l'archeologia, è stato negli ultimi decenni un valido campo di sperimentazione delle tecniche fotogrammetriche. L'utilizzo di tecniche di ricostruzione 3D poco costose che fanno uso di fotocamere digitali non calibrate e tecniche di stereofotogrammetria (Multiview) per la documentazione di incisioni rupestri è ben noto e discusso. Alcuni protocolli sono inoltre già stati proposti (cfr. Chandler *et al.* 2007; Curci, Urcia 2012; Robert *et al.* 2012, 2014; De Reu *et al.* 2013; Domingo Sanz 2014; Williams, Twohig 2015; Rivero *et al.* 2019; Jalandoni 2021; Horn *et al.* 2024). Oggi queste tecniche sono facilmente accessibili e alla portata anche di non addetti ai lavori. Tuttavia, le indagini archeologiche sono molto diverse tra loro e implicano contesti spesso difficili in cui operare: grandi aree (ad es. Pompei: Guidi *et al.* 2008; Remondino *et al.* 2008; Remondino, Campana 2014), anguste e buie cavità artificiali, come gli ambienti ipogei preistorici (Mannu *et al.* 2015), zone boschive con luce scarsa o non omogenea (ad es., il sito delle incisioni di Pianaùra), pareti rocciose parzialmente coperte da vegetazione (Cavulli *et al.* 2022), volumi complessi, sovrapposizioni di volumi o stratigrafie e così via.

Nel caso delle incisioni rupestri, la sovrapposizione dei segni è molto importante per stabilirne la cronologia relativa. Le figure non sono sempre definite e alcune, come i filiformi tracciati a graffito, sono facilmente confondibili con strie casuali (e viceversa) e sono difficili da apprezzare e registrare oggettivamente perché sottili e superficiali (Defrasne 2014; Díaz-Guardamino *et al.* 2015; Lymer 2015; Plisson, Zotkina 2015). L'accurato rilievo tridimensionale può rappresentare un'utile tecnica in grado di descrivere una corretta rappresentazione dei segni. Le tecniche di modellizzazione, tuttavia, sono più di una e danno risultati diversi. L'obiettivo di questo lavoro è verificare l'accuratezza dei prodotti ottenuti e valutare la qualità dei risultati confrontando le misure fisiche prese *in situ* con le misure digitali sui modelli. In questo modo si intende confrontare empiricamente le tecniche Structure

[1] Fabio Cavulli ha ideato e diretto il progetto delle incisioni Stivo-Bondone, ha supervisionato le restituzioni 3D, ha lavorato su tecniche Structure from Motion (SfM), sulla validazione dei modelli e sull'elaborazione del testo; Carla Mannu, supportata da Massimo Vanzi, ha lavorato sulla modellazione stereoscopica fotometrica, sulla validazione dei modelli e sull'elaborazione del testo; Michele Mazzurana ha lavorato sui modelli SfM e sulla loro validazione.

from Motion (SfM) e Photometric Stereo (PS) per comprenderne il funzionamento e le specificità in un contesto complesso per illuminazione e per tecniche incisorie. Si prende in considerazione uno dei software più diffusi, Agisoft Metashape Professional, che utilizza la tecnica SfM, e un interessante prototipo basato sulla tecnica PS. Purtroppo, al momento, pur esistendo software fotogrammetrici gratuiti e open source (FOSS), questi sono ancora poco diffusi a causa della complessità di utilizzo, che implica maggiori conoscenze tecniche (Bezzi *et al.* 2011).

2. Il sito di Pianaùra (Massone di Arco, Trento) e i metodi di rilievo

Il sito delle incisioni di Pianaùra è un riparo roccioso situato sul versante di bassa quota del Monte Stivo, in prossimità della conca di Arco-Riva sul Lago di Garda (Trentino) (Fig. 1). L'affioramento roccioso si trova su un sentiero acciottolato, segnato da solchi carrai, in Val Troiana, una piccola valle che scende sul versante sinistro idrografico della Valle del Sarca, a 360 m s.l.m. e che collega il Castello di Drena in Val di Cavedine con il paese di S. Martino di Arco. La lastra calcarea, montonata dal ghiacciaio e incisa dall'uomo, è accessibile dal lato N attraverso una soglia litica formata da due gradini e delimitata da due grandi lastre poste verticalmente. Una massicciata di pietre circonda l'area. All'estremità meridionale emergono due pietre di circa 20 cm, posate sulla lastra incisa e legate tra loro da malta di calce.

I processi di esalazione subglaciale hanno modellato la roccia formando una parete aggettante con due lastre leggermente inclinate verso l'esterno alla base. I segni dell'abrasione sono chiaramente riconoscibili nelle caratteristiche striature longitudinali e nella modellazione delle superfici. La roccia presenta



Fig. 1 – Il riparo di Pianaùra ripreso da O.

altre forme di alterazione e degrado, come distacchi superficiali, depositi di carbonato e microflora. Il riparo è rivolto a NO e l'area incisa insiste sulla lastra sub-orizzontale basale con asse maggiore che si estende per 28 m in direzione N-NE/S-SO e larghezza di circa 3 m. La superficie non è omogeneamente incisa per tutta la sua lunghezza.

In totale si possono contare 156 figure (Fig. 2); quasi il 50% sono croci o cruciformi (74 sono semplici, potenziate, ricrociate, latine, patenti, calvari e alcune sono incomplete), circa il 10% sono quadrilateri (15 tra filetti singoli e multipli, quadrilateri con croci, reticoli e "graticole"), cerchi o circoliformi (14 tra cerchi con croce inscritta, raggiati o con punto al centro, figure ovali e a reticolo) o indeterminati (14). Queste quattro tipologie costituiscono il 75% delle incisioni, mentre il restante 25% è costituito da roncole, date (di fine XVII-XVIII secolo), iscrizioni, simboli podomorfi e cristiani. Questo conteggio non comprende le "aree a martellina" (158 gruppi di picchiettatura, linee, tratti sparsi o raggruppati), che non formano una figura coerente (Pedergnana, Cavulli 2021; Cavulli 2023).

In questo palinsesto, la tecnica di incisione diventa molto importante per riconoscere le diverse fasi o le diverse mani: martellina fine, media e grossolana, martellina seguita da politura dei contorni delle figure e tecnica a graffito. Le figure, per lo più realizzate a martellina, si sovrappongono solo in pochi casi e solo nell'area C, quella presa in considerazione in questo lavoro: una grande croce greca ricrociata copre la punta di una roncola, entrambe a martellina, e, pochi centimetri a sinistra, una figura podomorfa a martellina fine è coperta da una grande croce latina ricrociata. L'analisi 3D ha aiutato a evidenziare tali sovrapposizioni. La cronologia assoluta dei segni si inserisce in un ampio periodo che va dal tardo medioevo all'epoca contemporanea.

Le rocce sono state documentate topograficamente, fotograficamente, tramite fotogrammetria 2D, *frottage* e rilievo a contatto su fogli trasparenti. I diversi rilievi sono stati georiferiti in una piattaforma GIS che ha permesso il tracciamento vettoriale e la catalogazione in un geodatabase di tutti i segni. Il rilievo 3D completa la documentazione, ma per realizzarlo è stato necessario confrontarsi con alcune peculiarità del sito. Le immagini della superficie



Fig. 2 – Ortofotomosaico dell'intera superficie di Pianaùra ricostruita con tecnica SfM con le incisioni, a martellina e graffiti (vettori), sovrapposte.

risentono delle ombre date dalla parete rocciosa e dai faggi che crescono di fronte al riparo, che possono essere evitate solo in giornate nuvolose a discapito dei contrasti e della definizione delle immagini. Le incisioni sono generalmente ben marcate, ma le figure filiformi sono spesso molto difficili da individuare e quasi impossibili da rappresentare con tecniche fotografiche. Tale contesto problematico è parso un buon campo per la sperimentazione di diverse tecniche di indagine e di rilievo tridimensionale (Pedergnana, Cavulli 2015).

3. Confronto tra Structure from Motion (SfM) e Photometric Stereo (PS)

3.1 *Metodi e tecniche*

Nel nostro caso, entrambe le tecniche di modellazione (SfM e PS) sono state scelte perché rispondevano alla disponibilità economica del progetto, alla necessità di metodi di facile utilizzo e all'obiettivo di produrre modelli 3D accurati. La SfM, derivata da tecniche di Computer Vision (Lucas, Kanade 1981), ricostruisce i parametri della fotocamera (posizione e orientamento del punto di ripresa) e crea un modello tridimensionale dell'oggetto utilizzando una nuvola di punti a bassa densità (Fig. 3). La diffusione delle fotocamere digitali e dei software di elaborazione gratuiti o a basso costo ha contribuito alla rapida adozione di questi strumenti in archeologia (De Reu *et al.* 2013; Koutsoudis *et al.* 2013; Jalandoni *et al.* 2018; Rondini 2018).

La PS è una tecnica di Computer Vision basata sull'elaborazione delle immagini, che utilizza diverse fotografie dello stesso oggetto riprese dal medesimo punto di vista, modificando durante la ripresa solo la direzione dell'illuminazione a flash (Fig. 4). Gli algoritmi sono in grado di ricostruire le caratteristiche tridimensionali della superficie, attraverso un calcolo matematico, ovvero deducendo dall'ombreggiatura degli oggetti le informazioni

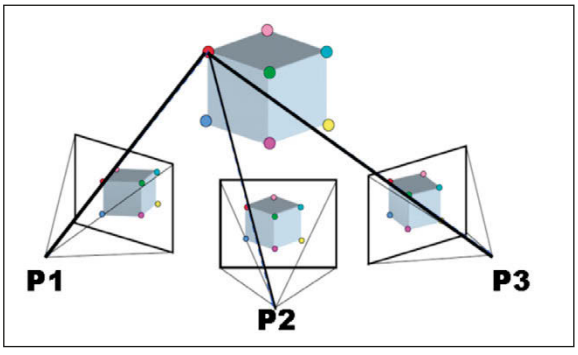


Fig. 3 – Descrizione della tecnica di ripresa fotografica per l'elaborazione in SfM.

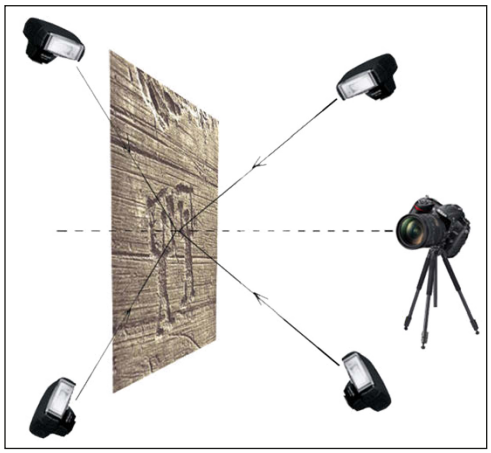


Fig. 4 – Descrizione della tecnica di ripresa fotografica per l'elaborazione in PS.

sull'orientamento della superficie pixel per pixel (Woodham 1980; Jain, Coleman 1992; Christiansen, Shapiro 1994; Barsky, Petrou 2003).

Il lavoro specifico dell'Università di Cagliari si è focalizzato sull'ottimizzazione dell'algoritmo di calcolo (Dessì *et al.* 2015) e il reperimento di attrezzature adeguate per la soluzione di problemi pratici nell'uso della PS in campo archeologico (Mannu *et al.* 2015).

3.2 *Modellizzazione 3D a Pianaùra*

3.2.1 Primi modelli SfM

La prima esperienza di modelli 3D nel sito di Pianaùra è stata fatta utilizzando il software Agisoft Photoscan, che non necessita di caratteristiche hardware particolari, ma di una CPU e di una scheda grafica efficienti. Il primo rilievo è stato effettuato a settembre 2015 scattando molte foto da ogni angolatura. Il problema della luce ha influenzato i risultati a causa delle ombre degli alberi e del riparo o della luce diffusa, ma scarsa, data dal cielo nuvoloso. I modelli risultanti dell'intera lavagna (Fig. 2) e delle singole aree di concentrazione hanno risposto all'esigenza di un rilievo generale, ma i segni graffiti e la sovrapposizione delle martelline non sono apprezzabili nella ricostruzione.

3.2.2 Modelli ottenuti con PS e altri con SfM

Queste difficoltà hanno stimolato il confronto empirico tra due algoritmi di ricostruzione, SfM e PS, nel tentativo di migliorare i modelli. Per evidenziare le potenzialità e le diverse caratteristiche dei risultati abbiamo utilizzato la stessa attrezzatura per acquisire le immagini a livelli di dettaglio diversi,

da elaborare infine con le due tecniche: si tratta di una fotocamera Nikon D300 e un obiettivo zoom Nikkor 18-105, scattando con lunghezza focale fissa (50) e salvando le immagini in formato non compresso (.TIFF). Per la PS è stato collegato un flash dalla potenza massima di 400w alla fotocamera, che è stata fissata su un treppiede. Più di 1100 foto sono state scattate per il confronto PS-SfM negli stessi giorni (16-17 febbraio 2016) con cielo coperto. Sono state considerate quattro aree limitate denominate "set 1, 3, 7, 8" (Fig. 5) nella parte centrale della roccia obliqua e quasi piatta (area C), nelle stesse condizioni di luce, vento e di ripresa:

– set 1 è la superficie di grandi dimensioni (192×115 cm) con la rappresentazione di croci semplici e ricrociate, 2 roncole, un podomorfo, una scala e una figura geometrica;
– set 3 (19×14 cm) è l'area limitata alla croce greca rinforzata che si sovrappone al podomorfo;
– set 7 è l'area di medie dimensioni (84×50 cm), che comprende la croce latina rinforzata sovrapposta alla roncola solo per le estremità;
– set 8 è il dettaglio ingrandito della sovrapposizione del braccio della croce alla punta del rostro (25×19 cm).

Per la tecnica SfM abbiamo elaborato le immagini in Agisoft Photoscan (poi sostituito con Agisoft Metashape Professional, ver. 1.7). Le fotografie scattate dei set 1, 3, 7, 8 sono molto più numerose di quelle utilizzate per la tecnica PS (8). Il software è stato configurato in modo da sfruttare al meglio sia CPU che GPU durante l'elaborazione (Jalandoni *et al.* 2018). I modelli 3D sono stati elaborati[2] con la massima accuratezza per l'allineamento, l'altissima qualità per la generazione della mappa di profondità e scegliendo una "superficie arbitraria" per la costruzione della mesh; nello stesso software sono state messe a punto anche texture, ortofotomosaico, DEM e isoipse. I tempi di elaborazione hanno richiesto da 33 minuti a 11h 18' e sono direttamente dipendenti dal numero di immagini (4.5-6.5 MB JPG ciascuna): sono state allineate 40 su 45 immagini per il set 1, 25 su 32 per il set 3, 75 su 96 per il set 7 e 46 su 61 per il set 8. I modelli risultanti sono stati esportati nel software Meshlab, scalati e posti in orizzontale. Dal modello 3D il software ha generato un'immagine ortometrica: un mosaico di immagini scalate, geometricamente e planimetricamente corrette, riprese zenitalmente, importate nella piattaforma GIS e georeferenziate nel sistema di coordinate locali.

Per la ricostruzione in PS, la fotocamera fissata su un treppiede è stata posizionata ortogonalmente alla superficie planare, regolata in modalità

[2] Per l'elaborazione di post-processing è stata utilizzata una workstation HP z440 del 2016 (CPU Intel Xeron CPUE5-1620 v3 @ 3.50GHz 3.50 GHz, RAM 32,0 GB, OS 64 bit e CPU x64 Windows 1Tabb0 Pro; scheda grafica NVIDIA GeForce GTX 1060 3GB).

	set 1	set 3	set 7	set 8
Tie Points				
Points	560,243 of 608,995	120,858 of 130,807	634,958 of 725,188	375,123 of 412,806
Alignment parameters (Accuracy)	(Highest)	(Highest)	(Highest)	(Highest)
Matching time	54 mins 41 secs	15 mins 34 secs	2 h 37 mins	1 h 0 mins
Alignment time	1 mins 45 secs	29 secs	3 mins 16 secs	2 mins 15 secs
File size	41.01 MB	8.39 MB	53.63 MB	33.19 MB
Dense Cloud (Points)	40,927,428	11,481,655	42,870,791	31,539,341
Depth maps generation parameters (Quality)	(Ultra High)	(Ultra High)	(Ultra High)	(Ultra High)
Dense cloud generation parameters				
Processing time	1 h 0 mins	9 mins 29 secs	8 h 2 mins	51 mins 4 secs
File size	561.00 MB	145.72 MB	573.06 MB	415.87 MB
Model				
Faces	8,185,409	2,296,172	8,999,999	8,999,999
Vertices	4,098,705	1,150,177	6,311,826	5,165,746
Texture (4 bands, uint8)	4,096×4,096	8,192×8,192	4,096×4,096	4,096× 4,096
Depth maps generation parameters (Quality)	(Ultra High)	(Ultra High)	(Ultra High)	(Ultra High)
Reconstruction parameters (Surface type)	(Arbitrary)	(Arbitrary)	(Arbitrary)	(Arbitrary)
Processing time	28 mins 42 secs	7 mins 10 secs	20 mins 43 secs	13 mins 41 secs
Texturing parameters				
Texture size	4,096	8,192	4,096	4,096
UV mapping time	5 mins 7 secs	1 mins 2 secs	39 secs	1 mins 51 secs
Blending time	6 mins 57 secs	2 mins 51 secs	16 mins 15 secs	8 mins 44 secs
File size	363.40 MB	140.04 MB	439.29 MB	413.79 MB
Tiled Model (Texture)	(3 bands, uint8)	(3 bands, uint8)	(3 bands, uint8)	(3 bands, uint8)
File size	25.71 MB	15.91 MB	23.29 MB	16.39 MB
Orthomosaic: SIze	4,096×3,278	4,096×3,497	4,096×3,279	4,096×3,341
Reconstruction parameters				
Blending mode	Mosaic	Mosaic	Mosaic	Mosaic
Surface	Mesh	Mesh	Mesh	Mesh
File size	137.65 MB	104.54 MB	232.16 MB	159.38 MB
Total time	**2 h 51 mins**	**0 h 35 mins**	**14 h 27 mins**	**2 h 25 mins**

Tab. 1 – Dati quantitativi dei modelli SfM: tempi di elaborazione, parametri, dati.

manuale per trovare la corretta esposizione e per scattare tutte le immagini con gli stessi parametri. Per ogni set sono state scattate otto immagini con il flash proveniente da punti sempre diversi (Vanzi *et al.* 2013). Le immagini (37 MB ciascuna in .TIFF) sono state processate senza alcuna ottimizzazione[3]

[3] Su laptop Asus N56J (CPU Intel Core i7-4700HQ CPU @ 2.40GHz 2.39 GHz CPU x64 16,0 GB RAM scheda video NVIDIA GeForce 760M 2GB, OS Windows 10 Pro.

VERTICES	Set 1 (192×115 cm)	Set 3 (19×14 cm)	Set 7 (84×50 cm)	Set 8 (25×19 cm)
PS	3053056	3053056	3053056	3053056
SfM	1332065	1150177	2996740	1792684

Tab. 2 – Dati quantitativi: numero di vertici nell'area C.

FACES	Set 1 (192×115 cm)	Set 3 (19×14 cm)	Set 7 (84×50 cm)	Set 8 (25×19 cm)
PS	6098978	6098978	6098978	6098978
SfM	2657991	2296177	5978877	3578174

Tab. 3 – Dati quantitativi: numero di facce nell'area C.

nello script di Matlab, sviluppato e implementato dal gruppo di lavoro del Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica dell'Università di Cagliari. Usando questo script, il tempo di elaborazione cala drasticamente da svariate ore a pochi minuti per l'intero processo (Dessì *et al.* 2015; Mannu *et al.* 2015). Come abbiamo visto, SfM richiede anche diverse ore per lo stesso lavoro (Tab. 1). Per una migliore comprensione della qualità e delle caratteristiche, i modelli sono stati analizzati sotto tre diversi aspetti: analisi dei dati quantitativi puri, test di qualità visiva (dati qualitativi) e analisi delle geometrie (dati quantitativi).

3.3 *Dati quantitativi*

L'analisi ha messo a confronto il numero di vertici e facce dei modelli costruiti con le due tecniche. Il metodo PS è più accurato e fornisce un numero maggiore di facce e vertici per modello rispetto al metodo SfM. Questo risultato diventa più significativo se la scala viene ingrandita, perché il metodo PS è più dettagliato quando viene utilizzato per ricostruzioni di piccole aree. La ragione va ricercata nel numero di facce e vertici che in PS dipende solo dalla risoluzione della fotocamera, mentre Agisoft SfM adatta il numero di punti e facce al modello. Costruendo la superficie in Agisoft, la "Region" (bindingbox = area di lavoro) non è stata modificata, quindi l'area di ricostruzione è massima, ma piccole aree dei modelli SfM sono state tagliate in seguito (in Meshlab) per pulire le frange e rendere l'area del modello simile a quella utilizzata in PS (Tabb. 2-3).

3.4 *Test visivo della qualità*

Per quanto riguarda la qualità visiva, abbiamo testato mediante un questionario tre diversi set (area grande: set 7; media: set 8; piccola: set 3; Figg. 5-6), ricostruiti con entrambe le tecniche, al fine di confrontarne i modelli sotto diversi aspetti. È stato selezionato un campione di 45 persone con scarsa o nessuna esperienza nel campo della grafica 3D e nemmeno in quello

della grafica raster o vettoriale in generale. Ogni persona, separatamente, senza sapere nulla delle tecniche di ricostruzione utilizzate, è stata messa di fronte a un display che mostrava i modelli dello stesso set ricostruiti con le due diverse tecniche e, su un altro display, il questionario. I tester potevano spostare, scalare il modello e cambiare la posizione delle luci. Le domande riguardavano la percezione della qualità visiva dei modelli, le forme, la levigatezza della superficie e la qualità dei diversi tipi di dettagli incisi.

Il modulo di Google Forms comprende in apertura una breve descrizione delle incisioni di Pianaùra, una foto del riparo, un'immagine della superficie rocciosa dell'area C e l'interpretazione delle incisioni (disegno vettoriale) sovrapposte all'ortofoto 2D. Ogni test è composto da 3 sezioni: una riguardante i dati anagrafici generali (non tutte le domande sono obbligatorie); la seconda riguardante la percezione delle superfici, con texture attivata, rispetto a tre foto della stessa area: somiglianze visive generali, fedeltà dei colori, chiarezza/nitidezza e dettagli; la terza sezione, simile alla precedente, riguarda le sole superfici senza texture. Le domande concernono le morfologie e le incisioni in generale, secondo la nitidezza, i dettagli e l'omogeneità della superficie della roccia non incisa, per poi passare alla nitidezza e ai dettagli dei limiti delle figure incise, al riconoscimento dei segni graffiti (filiformi tracciati da bulini) e alla percezione della distorsione e della curvatura delle figure o dell'intero modello.

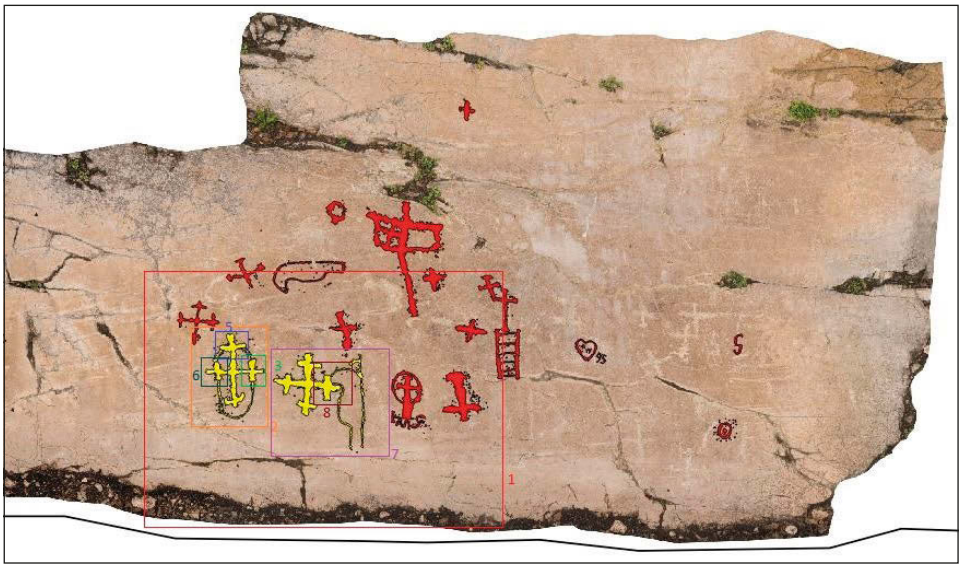


Fig. 5 – Delimitazione dei set 1, 3, 7, 8 nell'Area C di Pianaùra ricostruiti e utilizzati per il test qualitativo.

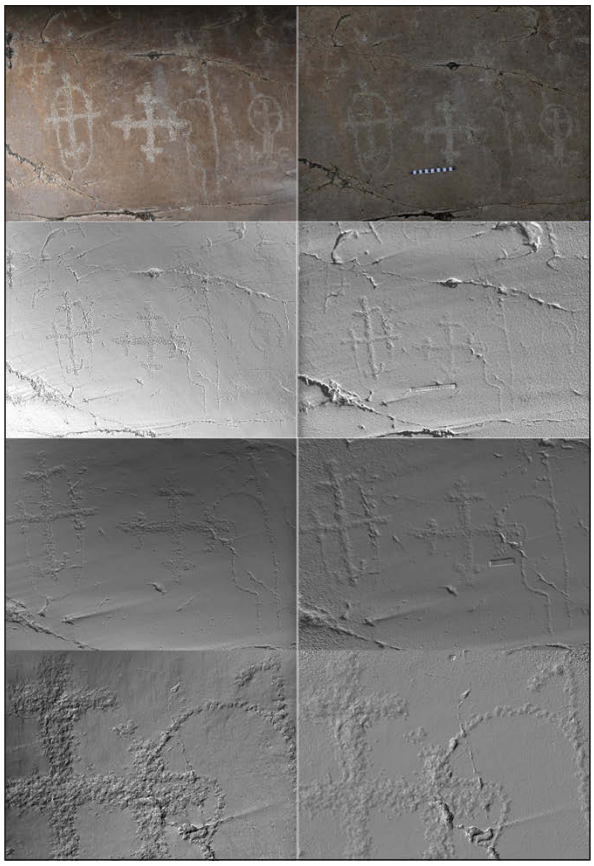


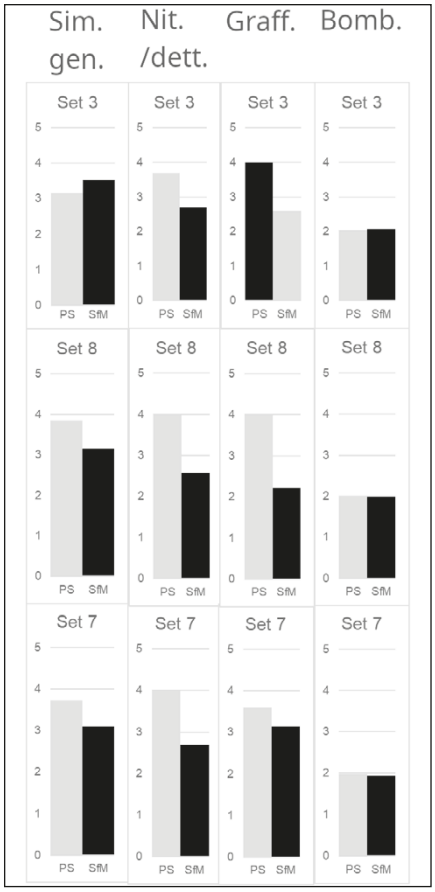
Fig. 6 – Esempio di comparazione tra modelli per il test qualitativo: modelli PS sulla sinistra e SfM sulla destra; sopra con texture (set 1), sotto senza (set 1, 7, 8).

Alle risposte è stato assegnato un punteggio da 1 a 5. Dati personali a parte, lo stesso questionario è stato sottoposto tre volte, uno per ogni set (3, 7, 8) e ogni domanda è stata ripetuta per i due modelli (PS e SfM).

3.4.1 Conclusioni del test visivo

I risultati del questionario sono stati infine elaborati in grafici esplicativi di confronto tra i modelli PS e SfM. Una media dei punteggi delle risposte permette di confrontare i modelli. La somiglianza generale del modello rispetto alle foto fornite (Tab. 4, Gen. Sim.) sembra leggermente migliore (maggiore affinità) per SfM nelle ricostruzioni dettagliate (in contrasto con la validazione quantitativa), ma leggermente peggiore sui modelli di medie e grandi

dimensioni; la fedeltà cromatica, rispetto all'immagine, è leggermente migliore per il modello SfM a tutte le scale. Al contrario, il modello PS risulta migliore a tutte le scale per quanto riguarda le forme e le incisioni, la chiarezza/nitidezza e i dettagli, l'omogeneità della superficie rocciosa non incisa, la nitidezza e i dettagli dei limiti delle figure incise, il riconoscimento delle martelline e dei segni graffiti. Nella ricostruzione di forme e dettagli (Tab. 4, Clear. Sharp.), la modellazione in PS appare favorita quasi del 20% in più rispetto a quella in SfM e del 30% in più nelle figure filiformi (Tab. 4, Graff./Scratch.). L'evidente



Tab. 4 – Grafici di sintesi delle risposte al test qualitativo che confronta le tecniche PS e SfM (tutti i grafici alla stessa scala): Sim. gen. = Similarità visiva generale: "Quanto ritiene il modello 3D visivamente simile alla fotografia? Quanto è fedele il modello 3D rispetto alla fotografia?"; Nit./dett. = nitidezza e dettagli: "Quanto sembra nitido e particolareggiato il modello 3D?"; Graff. = identificazione dei graffiti: "Quanto facilmente riesce a distinguere i segni a graffito (incisioni lineari ottenute grazie al graffio di uno strumento sulla roccia)?"; Bomb. = distorsione e bombatura: "Nota distorsioni o bombature nella forma generale del modello 3D?".

convessità artificiosa delle superfici costruite in PS viene riconosciuta dagli intervistati come un artefatto (Tab. 4, Dist./Camb.), ma non è percepita come una distorsione preoccupante.

3.5 *Test delle geometrie*

3.5.1 Distanze euclidee

Proprio con l'intento di valutare quantitativamente le geometrie e le distorsioni delle superfici accidentalmente create dagli algoritmi di modellazione, sono state misurate alcune distanze sulla superficie fisica della roccia e confrontate con le stesse misure sui modelli 3D sfruttando le caratteristiche più riconoscibili della roccia e delle incisioni (Fig. 7). Le misure sono state calcolate una sola volta sulla roccia per mezzo di un righello e da un solo operatore (cfr. però Jalandoni *et al.* 2018, 306). In Meshlab è stata calcolata la distanza euclidea sui modelli, ovvero la misura tra i punti 3D senza tenere conto della morfologia della superficie, curvatura o gibbosità (cfr. sotto).

Il confronto delle misure mostra in modo inequivocabile come le grandi aree siano più affette dagli errori di misura e dalla deformazione del modello rispetto alle piccole (Tabb. 5-6; Fig. 7, set 1, misure A, C). A tutte le scale di rappresentazione gli errori nei modelli PS sono sempre più rilevanti rispetto ai modelli SfM, con piccole eccezioni (misure H, I nel set 7 e H nel set 8). Nella tecnica PS infatti sussiste un legame tra le dimensioni dell'area e la distanza

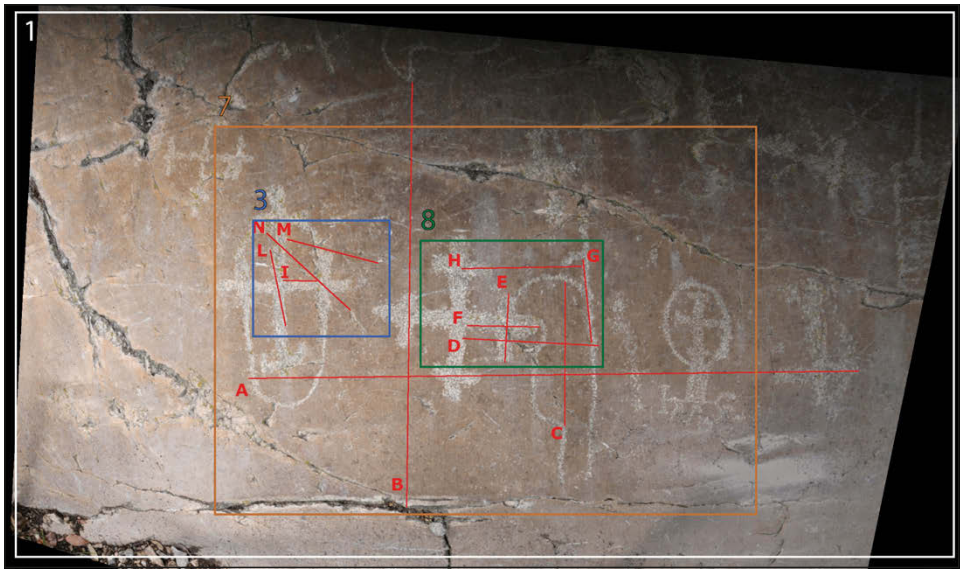
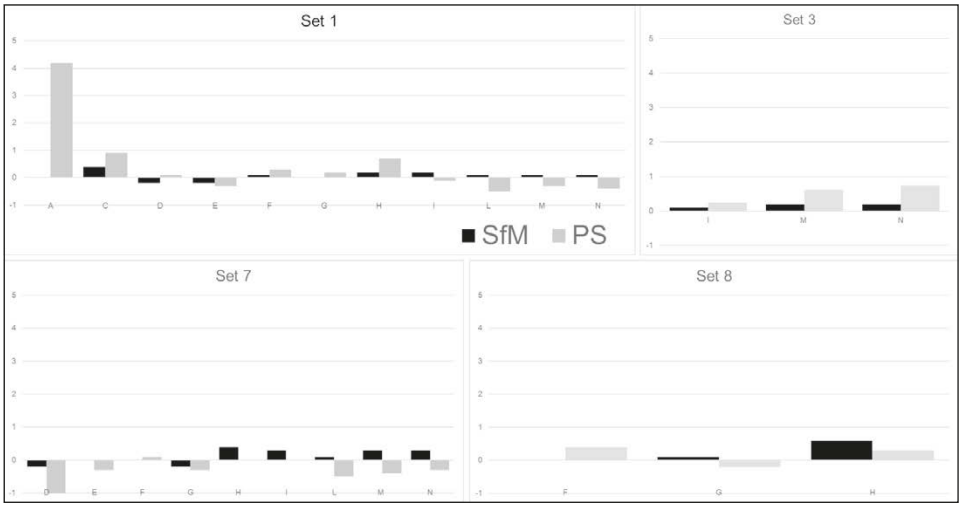


Fig. 7 – Schema delle misure prese sulla roccia e sui modelli 3D: set 1, 3, 7, 8.

della fonte luminosa (flash): al diminuire di questo rapporto, diminuisce anche l'errore generato, perché il modello tende al caso ideale in cui le luci sono virtualmente più vicine alla distanza infinita (cfr. §4.1). Ciò si può notare nel modello PS di set 1, dove l'errore raggiunge più di 4 cm nella misura A, nel

		SfM				PS			
Measures	Physical (in cm)	set 1 SfM	set 3 SfM	set 7 SfM	set 8 SfM	set 1 PS	set 3 PS	set 7 PS	set 8 PS
A	94	94				89,8			
B	63,2	62,8				63,2 u.t.s.			
C	21	20,6		20,3		20,1		21 u.t.s.	
D	19,1	19,3		19,3		19		20,1	
E	9,2	9,4		9,2	9,2	9,5		9,5	9,2 u.t.s.
F	10,5	10,4		10,5	10,5	10,2		10,4	10,1
G	11,7	11,7		11,9	11,6	11,5		12	11,9
H	17,7	17,5		17,3	17,1	17		17,7	17,4
I	5	4,8	4,9	4,7	4,8	5,1	4.75	5	
L	11,1	11	10,9	11	11	11,6	11,1 u.t.s.	11,6	
M	14,2	14,1	14	13,9	14	14,5	13,58	14,6	
N	16,9	16,8	16,7	16,6	16,7	17,3	16.16	17,2	
n. faces		2657991	2296172	5978877	3578174	6098978	6098978	6098978	6098978
n. points		1332065	1150177	2996740	1792684	3053056	3053056	3053056	3053056
		3D model cut		3D model cut	3D model cut				

Tab. 5 – Confronto tra le misure prese sulla roccia e sui modelli PS e SfM (u.t.s = utilizzato per scalare il modello PS).



Tab. 6 – Grafici di confronto delle misure: differenze tra i modelli e la roccia (valori positivi e negativi; tutti i grafici hanno la stessa scala).

modello medio, set 7, l'errore è di 1 cm (misura D), e nei piccoli set 8 e 3 le differenze sono inferiori a 1 cm.

3.5.2 Valutazione della distorsione geometrica

Come è noto, la convessità a cupola presenta una maggiore deviazione dalla superficie rocciosa reale nella zona centrale del modello PS, a causa degli effetti delle sorgenti luminose non ideali nelle ricostruzioni (Vanzi *et al.* 2016). Poiché le misure possono differire leggermente da un modello all'altro, per quantificare l'effetto di curvatura è stato calcolato un indice di sovraelongazione, per stimare tramite un valore numerico la differenza tra i due modelli.

In ogni set, per ogni coppia di superfici ricostruite, sono stati scelti punti omologhi, vicini ai margini dei modelli, per tracciarne dei profili grafici; questi

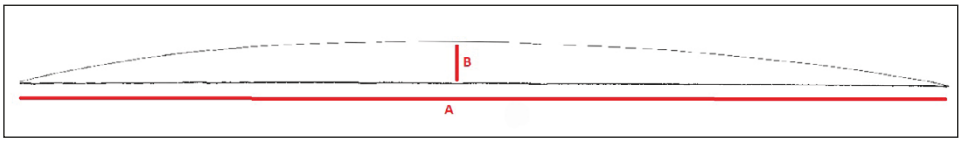


Fig. 8 – Descrizione delle misure prese per calcolare la sovra-elongazione (in percentuale).



Fig. 9 – Esempio di profili sovrapposti da set 1, dove l'effetto di curvatura è evidente.

Dataset	Overelongation (percentage)
SET 1	4.8%
SET 7	4%
SET 8	3.7%

Tab. 7 – Valori di sovraelongazione (B×100)/A.

	PS	SfM
Instruments	camera+tripod+flash and battery	camera
Light absence or scarcity (or presence of mobile shadows)	yes	difficult
Large surfaces	no	yes
Complex surfaces	no	yes
Surface - volume	2.5D	∾ 3D
Image processing speed	from seconds to few minutes	from minutes to several hours and more elaboration processes
Details accuracy	yes	affected by image quality
Thin traces (i.e. burin scratches)	yes	affected by image quality
Geometric accuracy	camber effect	yes
Texture	albedo	orthophoto, photos, tiled model
Orthomosaic	no	yes

Tab. 8 – Sintesi delle principali caratteristiche di PS e Agisoft Photoscan/Metashape.

sono stati sovrapposti sull'asse verticale, grazie ai punti omologhi, per evidenziarne la differenza data dalla bombatura. La differenza in altezza del profilo PS, rispetto a quello SfM, è stata calcolata in percentuale nel punto centrale dove la curvatura è maggiore, assumendo che la SfM non sia affetta da distorsioni: (B×100)/A (Fig. 8). Di conseguenza, la sovraelongazione è leggermente più alta quando vengono ricostruite aree ampie (Tab. 7; Fig. 9), confermando quanto già notato per le distanze euclidee (§4.5.1; Tabb. 5-6; Fig. 7).

3.5.3 Conclusioni dei test sulle geometrie

Due dei principali problemi che influiscono sulla ricostruzione tridimensionale sono il sottocampionamento e il numero di livelli di grigio o, nel caso di immagini a colori, il numero di livelli rosso-verde-blu. La cosiddetta pixelatura in PS non riguarda solo il dominio x, y, ma anche la ricostruzione del dominio z, profondità (Mannu *et al.* 2015). La curvatura dell'area centrale (bombatura) nei modelli PS è oggettiva ed è evidente anche nella percezione della superficie. Costituisce un rilevante problema di accuratezza nella proiezione bidimensionale delle forme, ovvero quando si utilizzano questi modelli come rappresentazioni geometriche per realizzare planimetrie o profili. D'altra parte, se il modello PS è più dettagliato e ci permette di individuare (e disegnare) ogni piccola e sottile traccia e la sequenza dei segni, può rivelarsi un utile

strumento di ricerca se integrato ad altre tecniche di documentazione, come il rilievo topografico della superficie generale, le immagini vettoriali (tracciate a mano o automaticamente: cfr. Cassen *et al*. 2014; Jalandoni, Shuker 2021) ma, prima di tutto, la documentazione tradizionale: foto, frottage e rilievi a contatto (Pedergnana, Cavulli 2015; Arcà 2022).

4. Conclusioni e soluzioni

Le tecniche fotogrammetriche realizzano modelli 3D accurati, sono facili da usare e utilizzano software relativamente economici; per queste ragioni hanno larga applicazione in campo archeologico. La sperimentazione condotta ha coinvolto solo due differenti algoritmi per l'elaborazione fotogrammetrica di superfici (2.5D), evidenziandone le caratteristiche, le criticità e i limiti. La tecnica SfM ha tempi di elaborazione piuttosto lunghi e risente in modo particolare dei problemi di luce nelle riprese fotografiche. Agisoft Metashape è un software completo che dà la possibilità di georeferenziare i modelli e creare ortofotomosaici, DEM, isoipse. Uno dei principali vantaggi del metodo PS è la ricostruzione della nitidezza delle tracce, la ricchezza di piccoli dettagli e la possibilità dell'albedo in uscita, ma le superfici ricostruite sono affette da una distorsione convessa al centro (bombatura).

Le incisioni rupestri in generale, e nello specifico la tecnica a graffito, rappresentano una classe peculiare di manufatti che necessitano di uno sforzo specifico e di un occhio allenato ad apprezzare le evidenze altrimenti invisibili, ma queste rimangono solo un dato soggettivo, relegato all'interpretazione del ricercatore, se non si possono documentare. Allo stesso modo, la sovrapposizione dei segni e delle diverse figure, come le croci e l'elemento podomorfo o la roncola che abbiamo preso in considerazione, merita una specifica analisi oggettiva che, lungi dall'essere completamente risolta dalla documentazione 3D, è meno affetta da pregiudizi e meglio descritta dalla rappresentazione tridimensionale (oltre alla possibilità di essere messa a disposizione dell'intera comunità scientifica), rispetto alla mera osservazione autoptica e alla soggettività del singolo ricercatore.

Lo studio delle incisioni rupestri necessita di un dettaglio più accurato rispetto ad altri lavori archeologici perché, per la prima volta, grazie a profili/sezioni trasversali e ingrandimenti di superficie, la ricerca può essere supportata da una descrizione di buona qualità in grado di dimostrare le interpretazioni, le sovrapposizioni e le intuizioni suggerite dall'archeologo (Plisson, Zotkina 2015). Per questa proposta, la PS è una buona tecnica, soprattutto se applicata a tecniche microscopiche o a immagini ad alta risoluzione, per generare profili in grado di analizzare quale segno cancella l'altro e, quindi, la sequenza delle incisioni. Questo è stato il caso di Pianaùra, dove la connessione tra la croce e il podomorfo era controversa: nel modello 3D

dettagliato, il primo elemento si sovrappone in modo piuttosto convincente al secondo.

È evidente che non esiste la ricostruzione perfetta o un software perfetto, ma la qualità del dato è strettamente legata agli obiettivi della ricerca e all'uso che si vuol fare delle ricostruzioni. Il modello utilizzato per la comunicazione/musealizzazione o per lo studio della cronologia relativa dei segni può essere dettagliato, ma non geometricamente perfetto, mentre le superfici costruite per analizzare e misurare le incisioni rupestri devono rispettare accuratamente forme e volumi reali. Quindi, per il disegno geometrico, lo studio quantitativo delle incisioni e la ricostruzione museale di grandi aree (o oggetti), SfM dà risultati migliori.

Anche se il modello 3D acquisisce sempre maggiore rilevanza nel campo della documentazione archeologica e artistica (e non solo) per via della sua ricchezza descrittiva e nonostante il crescente sviluppo dei Sistemi Informativi Geografici basati sulla gestione dello spazio in 2.5 o 3D (voxel), la documentazione archeologica e le analisi spaziali si basano ancora ampiamente su ortomosaici, curve di livello, DEM e vettori (spesso non 3D), oltre che sui tradizionali rilievi fotografici e iconografici 2D. Il dettaglio e l'accuratezza di queste elaborazioni bidimensionali rimangono la parte più importante della documentazione e quella che meglio si integra ancora con il sistema di documentazione attualmente utilizzato e diffuso.

In attesa che si sviluppino sistemi di documentazione e analisi realmente 3D e di facile utilizzo, la soluzione ideale potrebbe essere quella di utilizzare la tecnica SfM per ricostruire i contesti di grandi dimensioni e PS per ricostruire le aree di dettaglio. I modelli elaborati separatamente, infatti, possono essere integrati in una sorta di superficie patchwork finale che riassume le migliori caratteristiche delle due tecniche.

Fabio Cavulli*
Dipartimento di Studi Umanistici
Università degli Studi di Napoli Federico II
fabio.cavulli@unina.it

Carla Mannu, Massimo Vanzi
Dipartimento di Ingegneria Elettronica
Università degli Studi di Cagliari
ca.mannu@gmail.com, vanzi@diee.unica.it

Michele Mazzurana
Dipartimento di Lettere e Filosofia, LaBAAF
Università degli Studi di Trento
mazzurana.michele@gmail.com

* Corresponding Author

BIBLIOGRAFIA

Arcà A. 2022, *Metodi di studio: novità e tradizione nell'arte rupestre della Lombardia e dell'arco alpino*, in *Preistoria e Protostoria della Lombardia*, *Atti LII Riunione Scientifica IIPP (Milano 2017)*, «Rivista di Scienze Preistoriche», 72, S2, 327-345.

Barsky S., Petrou M. 2003, *The 4-source photometric stereo technique for three dimensional surfaces in the presence of highlights and shadows*, «IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence», 25, 10, 1239-1252.

Bezzi A., Bezzi L., Benjamin D. 2011, *Computer vision e Structure from Motion, nuove metodologie per la documentazione archeologica tridimensionale: un approccio aperto*, in G. De Felice, M.G. Sibilano (eds.), *V ArcheoFOSS Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica (Foggia 2010)*, Bari, Edipuglia, 103-111.

Cassen S., Lescop L., Grimaud V., Robin G. 2014, *Complementarity of acquisition techniques for the documentation of Neolithic engravings: Lasergrammetric and photographic recording in Gavrinis passage tomb (Brittany, France)*, «Journal of Archaeological Science», 45, 126-140 (https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.019).

Cavulli F. 2023, *In the sign of the billhook. The rock engravings around Stivo-Bondone mountain group (Trento) between figurative culture and landscape*, in D. Sigari, R. Grifoni Cremonesi, A. Maria Tosatti (eds.), *XII IAPP Abstract Book - XII Annual Meeting of Prehistory and Protohistory*, *New Discoveries and Progress in the Tracing and Analysis Methodologies of the Post-Palaeolithic Rock Art in Italy (Camaiore 2023)* (https://www.iipp.it/wp-content/uploads/2023/05/Abstract-Book_IAPP12.pdf).

Cavulli F., Avella R., Fuscone A., Carosi S., Pacciarelli M. 2022, *Prima campagna di scavo alla Grotta dei Moscerini, località Don Simone, Canino (VT)*, in F. Cavulli (ed.), *Come Federico opera sul campo 2021*, *Atti del Convegno (Napoli 2021)*, «Quaderni della Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici», 53-71.

Chandler J.H., Bryan P., Fryer J.G. 2007, *The development and application of a simple methodology for recording rock art using consumer-grade digital cameras*, «The Photogrammetric Record», 22, 10-21 (https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2007.00414.x).

Christiansen P.H., Shapiro L.G. 1994, *Three-dimensional shape from color photometric stereo*, «International Journal of Computer Vision», 13, 2, 213-337 (https://doi.org/10.1007/BF01427152).

Coleman E.N., Jain R. 1992, *Obtaining 3-dimensional shape of textured and specular surfaces using four source photometry*, «Computer Graphics and Image Processing», 18, 309-328 (https://doi.org/10.1016/0146-664X(82)90001-6).

Curci A., Urcia A. 2012, *Verso un sistema integrato di documentazione dell'arte rupestre. L'esperienza AKAP (Egitto)*, in A. Curci, A. Fiorini (eds.), *Documentare l'archeologia 2.0*, *Atti del Workshop (Bologna 2012)*, «Archeologia e Calcolatori», 23, 247-260 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=621).

Defrasne C. 2014, *Digital image enhancement for recording rupestrian engravings: Applications to an alpine rockshelter*, «Journal of Archaeological Science», 50, 31-38 (http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2014.06.010).

De Reu J., Plets G., Verhoeven G., De Smedt P., Bats M., Cherretté B., De Maeyer W., Deconynck J., Herremans D., Laloo P. 2013, *Towards a three-dimensional cost effective registration of the archaeological heritage*, «Journal of Archaeological Science», 40, 1108-1121 (https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.08.040).

Dessì R., Mannu C., Rodriguez G., Tanda G., Vanzi M. 2015, *Recent improvements in photometric stereo for rock art 3D imaging*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 2, 2-3, 132-139 (https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.05.002).

Díaz-Guardamino M., García Sanjuán L., Wheatley D., Rodríguez Zamora V. 2015, *RTI and the study of engraved rock art: A re-examination of the Iberian south-western stelae of Setefilla and Almadén de la Plata 2 (Seville, Spain)*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 2, 41-54 (http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2015.07.002).

Domingo Sanz I. 2014, *Rock art recording methods: From traditional to digital*, in C. Smith (ed.), *Encyclopaedia of Global Archaeology*, New York, Springer, 6351-6357 (https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0465-2_1277).

Guidi G., Remondino F., Russo M., Menna F., Rizzi A. 2008, *3D Modeling of large and complex site using multi-sensor integration and multi-resolution data*, in M. Ashley, S. Hermon, A. Proenca, K. Rodriguez-Echavarria (eds.), *Proceedings of the 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST 2008 (Braga 2008)*, Goslar (Germany), The Eurographics Association, 85-92.

Horn C., Peternell M., Ling J., Green A., Potter R. 2024, *Chapter 6. Rock art in three dimensions: Comments on the use and possibilities of 3D rock art documentation*, in M. Hostettler, A. Buhlke, C. Drummer, L. Emmenegger, J. Reich, C. Stäheli (eds.), *The 3 Dimensions of Digitalised Archaeology. State-of-the-art, Data Management and Current Challenges in Archaeological 3D-Documentation*, Springer, 87-108 (https://doi.org/10.1007/978-3-031-53032-6).

Jalandoni A. 2021, *An overview of remote sensing deliverables for rock art research*, «Quaternary International», 572, 131-138 (https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.10.008).

Jalandoni A., Domingo I., Taçon P. 2018, *Testing the value of low-cost Structure-from-Motion (SfM) photogrammetry for metric and visual analysis of rock art*, «Journal of Archaeological Science Reports», 17, 605-616 (https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.12.020).

Jalandoni A., Shuker J. 2021, *Automated tracing of petroglyphs using spatial algorithms*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 22, e00191 (https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00191).

Koutsoudis A., Vidmar B., Arnaoutoglou F. 2013, *Performance evaluation of a multi image 3D reconstruction software on a low-feature artefact*, «Journal of Archaeological Science», 40, 4450-4456 (https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.007).

Lymer K. 2015, *Image processing and visualisation of rock art laser scans from Loups's Hill, County Durham*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 2, 155-165 (http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2015.01.002).

Lucas B.D., Kanade T. 1981, *An interactive image registration technique with an application in stereo vision*, in P.J. Hayes (ed.), *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '81) (Vancouver 1981)*, Los Altos (https://www.ijcai.org/proceedings/1981-1), 647-679.

Mannu C., Rodriguez G., Tanda G., Vanzi M. 2015, *Nuovi sviluppi nelle tecniche di stereofotometria 3D di incisioni e rilievi. Applicazioni nella tomba XV di Sos Furrighesos, Sardegna*, in F. Troletti (ed.), *Prospect for the Prehistoric Art Research*, *Proceedings of XXVI Valcamonica Symposium 2015*, Capo di Ponte, CCSP, 285-288.

Pedergnana N., Cavulli F. 2015, *Un approccio multilayered alla documentazione e interpretazione dell'arte rupestre. L'integrazione delle tecniche di rilievo a Pianaùra (Massone, Arco di Trento)*, in F. Troletti (ed.), *Prospect for the Prehistoric Art Research*, *Proceedings of XXVI Valcamonica Symposium 2015*, Capo di Ponte, CCSP, 63-68.

Pedergnana N., Cavulli F. 2021, *La via segnata: Pianaùra e le incisioni rupestri nel paesaggio del Monte Stivo (TN)*, in F. Carrera, R. Grifoni Cremonesi, A.M. Tosatti (eds.), *L'arte rupestre nella penisola e nelle isole italiane: rapporti tra rocce incise e dipinte, simboli, aree montane e viabilità. Rock art in the Italian Peninsula and Islands: Issues about the Relation between Engraved and Painted Rocks, Symbols, Mountain Areas and Paths. Atti del 20th International Rock Art Congress IFRAO 2018 - sessione H2*, Oxford, Archaeopress, 31-60.

Plisson H., Zotkina L.V. 2015, *From 2D to 3D at macro-and microscopic scale in rock art studies*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 2, 102-119 (https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.06.002).

Remondino F., Campana S. (eds.) 2014, *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*, BAR International Series 2598, Oxford, Archaeopress.

Remondino F., Russo M., Rizzi A., Voltolini F., Menna F., Francesco Fassi F., Ercoli S., Masci M.E., Benedetti B. 2008, *A multi-resolution methodology for archaeological survey: The Pompeii Forum*, in M. Ioannides, A. Addison, A. Georgopoulos, L. Kalisperi (eds.), *14th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM) (Limassol, Cyprus, 2008)*, Eindhoven, Eurographics Publishing, 51-59.

Rivero O., Ruiz-Lopez J.F., Intxaurbe I., Salazar S., Garate D. 2019, *On the limits of 3D capture: A new method to approach the photogrammetric recording of palaeolithic thin incised engravings in Atxurra Cave (northern Spain)*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 14, e00106 (https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00106).

Robert E., Egels Y., Boche E., Peyroux M., Vialou D., Paillet P., Vigears D. 2014, *Applications 3D pour la contextualisation et le relevé d'art en grotte ornée*, in L. Costa, F. Djindjian, F. Giligny (eds.), *Actes des 3èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris, JIAP 2012*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 5, 88-101 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=734&sup=true).

Robert E., Vigears D., Melard N., Paillet P., Vialou D., Egels Y. 2012, *L'apport de la 3D dans l'art préhistorique: analyse et restitution des images et de leurs supports, exemples croisés des sites de Blanchard (La Garenne) et la Marche*, in F. Giligny, L. Costa, F. Djindjian, P. Ciezar, B. Desachy (eds.), *Actes des 2èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris*, *JIAP 2010*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 3, 339-354 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=653&sup=true).

Rondini P. 2018, *Digital Rocks. An integrated approach to rock arte recording: The case study of Ossimo-Pat (Valle Camonica)*, *Monolith 23*, «Archeologia e Calcolatori», 29, 259-278 (https://doi.org/10.19282/ac.29.2018.21).

Vanzi M., Bagnoli P.E., Mannu C., Rodriguez G. 2016, *Photometric stereo 3D visualisation of rock-art panels, bas-reliefs, and graffiti*, in S. Campana, R. Scopigno, G. Carpentiero, M. Cirillo (eds.), *CAA2015. Keep the Revolution Going*, *Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Application (Siena 2015)*, Oxford, Archaeopress, 1059-1065.

Vanzi M., Tanda G., Mannu C. 2013, *Stereofotometria per la documentazione in 3D di incisioni e rilievi. Applicazioni nell'arte preistorica della Sardegna*, in *Proceedings of XXV Valcamonica Symposium*, Capo di Ponte, CCSP, 155-160.

Williams K., Twohig E.S. 2015, *From sketchbook to structure from motion: Recording prehistoric carvings in Ireland*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 2, 120-131.

Woodham R.J. 1980, *Photometric method for determining surface orientation from multiple images*, «Optical Engineerings», 19, 1, 139-144 (https://doi.org/10.1117/12.7972479).

ABSTRACT

3D modelling represents a fundamental survey technique to represent archaeological evidence. It is particularly important to draw and analyse engravings because it is more descriptive and, somehow, objective than traditional drawings, which result interpretative and not replicable, becoming a debatable and often controversial matter. A technique able to verify the overlaying of signs is essential to establish the relative sequence, thus the chronology of engravings. However, there are several techniques and they provide different results. The paper tries to empirically compare SfM and PS methods to understand how they work on surface representation and which are their specificities in a difficult context such as the Pianaùra engravings. The aim of the paper is to verify the accuracy of the techniques. Three paths are pursued: the first analyses pure quantitative data, such as counting the number of points or faces built and so on; the second aims to verify quantitatively distortions by geometric measurements analysis; the third is a visual quality test, which focuses on users' perception of 3D models. It can be concluded that the distinct fields of application and the diverse purposes of the research enhance the different specificities of the two techniques.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 369-388
doi 10.19282/ac.35.1.2024.23

METHODS AND TOOLS FOR GENERATING THE DTM OF AN ARCHAEOLOGICAL SITE: THE CASE-STUDY OF THE PHOTOGRAMMETRIC SURVEY OF NORA (SARDINIA, ITALY)

1. Introduction

The project aims to produce a high-resolution (<10cm/pixel) Digital Elevation Model of the Nora peninsula (Pula, CA), which covers an area of over 14 hectares, and surrounding seabed[1]. The process will build and provide a database of raster and vector files for localizing current, historical, and future archaeological discoveries. The 3D model will help to understand the complex relationship between the peninsula, humans, and the sea. This relationship played a fundamental role in the birth, development, and disappearance of the ancient city and the model provides a valuable tool for studying this continuously evolving connection between humans and the environment.

Different techniques were used to achieve the project objectives due to the diversity of the environments studied. The photogrammetric method with Unmanned Aerial Vehicles was used for the mainland, while intertidal areas were surveyed with a total station. Seabed surveys were conducted using an echosounder (Church, Warren 2008; Drap *et al.* 2015). The survey of the Nora peninsula and surrounding seabed is useful for planning protection and consolidation measures against coastal erosion. This phenomenon has been active for centuries and has caused the submergence and destruction of many ancient monuments (Antonioli *et al.* 2012). Several studies have already proven the efficiency of this survey method as a monitoring tool for coastal erosion phenomena (Casella *et al.* 2016; Scarelli *et al.* 2017; Young *et al.* 2021). Aerial photogrammetry has many applications as a tool for studying archaeological sites and for mapping purpose (Campana 2017, 2020; Ahmad *et al.* 2018; Lou *et al.* 2019; Marin-Buzòn *et al.* 2021) and it can provide results in different areas: 1) to document cultural heritage (Hatzopoulos *et al.* 2017; Ali 2020; Bakirman *et al.* 2020; Kanun *et al.* 2021; Petrovič *et al.* 2021; Ulvi 2021; Pervolarakis *et al.* 2023); 2) to detect new sites in vast areas (Darwin *et al.* 2014; Colica *et al.* 2021; Vavulin *et al.* 2021); 3) to preserve, enhance and promote ancient sites (Olivito, Taccola 2014;

[1] Author Contributions: conceptualization: G.A.D.V, A.Z., J.B.; survey: C.M. and A.P.; survey analysis: G.A.D.V.; interpretation of the model: G.A.D.V. and J.B.; supervision, J.B., A.Z., E.F. Drafted section 1 G.A.D.V., A.Z., E.F. and J.B; drafted Section 2 A.Z.; drafted Section 3 A.P. and C.M.; drafted section 4 E.F.; drafted sections 5 G.A.D.V.; drafted section 6 G.A.D.V., A.Z., E.F. and J.B. G.A.D.V. realized Figures 1-10. All authors collaborated to the revision of the manuscript, have read and agreed to the published version of the manuscript.

Themistocleous *et al.* 2014; Nikolakopoulos *et al.* 2017; Chiambrando *et al.* 2018; Langhammer *et al.* 2018; O'driscoll 2018; Pena *et al.* 2021; Orsini *et al.* 2022).

The research project on the Roman site of Doclea (D'Eredità 2020) in Montenegro is particularly interesting because aerophotogrammetric techniques were integrated with GPS and total station surveying. This approach has yielded high-resolution orthophotos, 3D models and terrain profiles like those obtained at Nora using comparable instruments and methods. The high resolution of the Doclea survey output allows zooming from an overall view to individual elements and it is possible to contribute at the diachronic reconstruction of Doclea and its territory from the Bronze age to the Medieval period. Beyond the scientific results and their dissemination to the public, the project has contributed to promote its touristic and cultural fruition.

2. Archaeological background

The archaeological site of Nora lies on a peninsula of about 14 ha (Bonetto 2021b) along the southern coast of Sardinia (Pula, CA), connected to the mainland by a narrow isthmus at the south-western edge of the Gulf of Cagliari. The landform of the ancient city is shaped by two headlands, and the peak of the easternmost is 36 m asl (so called 'Torre di Sant'Efisio cape'). A smaller mound is located near the core of the peninsula (so called 'Tanit hill', 9 m asl), while a low-lying ground sits further S, between the central and the easter district of the site (today, Roman forum area). The surroundings of Nora were inhabited at least since the late Nuragic age, but the oldest settlement dates to the mid-8th c. BC, during the first phase of Phoenician presence on the island (Bonetto 2021a). At first, Nora was a commercial settlement, in which seasonal outposts were built of perishable materials, and have been archaeologically identified by postholes carved into the bedrock. The first proper urban centre dates to the Punic Age (late 6th-5th c. BC): masonry structures were built, with clay paving, stone foundations, and mudbricks in the upper part of the walls. Warehouses, silos, wells, cisterns, and a cobbled road were built in the same area later occupied by the forum; a housing district developed along the SE coast, while three shrine areas were placed at the urban fringe (Bonetto 2021b).

Between the first and the second Punic wars, Sardinia became a Roman province (227 BC), but Nora did not look like a Roman town until the second half of the 1st c. BC, when it became a *municipium civium romanorum* and was endowed with the town's main public monuments, such as the forum and the theatre (Ghiotto, Zara 2020). The peak of the monumental refurbishment of the city dates to the Severian age, but developed throughout the whole 3rd c. AD (Asolati *et al.* 2018): in this phase, the road network of

Nora was paved with andesite flagstones and it was equipped with sewers; an aqueduct from suburbia was built, supplying new thermal baths, both public (so called 'Terme a Mare', and 'Terme Centrali') and private (so called 'Piccole Terme'). In this phase, the main temples of the city were also rebuilt (so called 'Esculapio sanctuary' and 'Roman Temple'), using building materials from the Phlegraean area, but the monumental renovation also involved the private constructions: in that respect, the richest *domus* renovated in Middle Imperial age is the so called 'Casa dell'Atrio Tetrastilo', marked by mosaic floors, a central court, and a roadside portico with monolithic columns. The city's decline started in the 5th c. AD, during the Vandal's invasions, the crisis furthermore deepened in the Byzantine period, until it was finally abandoned in the early 8th c. AD (Bonetto, Ghiotto 2013).

The remains of the ancient city were never completely buried. After some research around Punic tophet and necropolis at the end of the 19th century and an excavation campaign by G. Patroni in 1901, extensive excavations in the city centre only took place after the mid-20th century, when G. Pesce led activities aimed at turning Nora into the first archaeological park in Sardinia (Mazzariol, Zara 2024). Since the earliest investigations, there was a need for an archaeological map of the ancient city, in which morphological features and ancient remains could be shown together. In 1901 the surveyor F. Nissardi drew the 'Piano archeografico dell'antica Nora', using the plane table and the graduated ruler and working both on land and on boat (Patroni 1901). Further, topographical surveys of the ancient city were drawn during the excavations by G. Pesce, using traditional systems (Pesce 1972), while the first digital aerial photogrammetric survey was carried out in conjunction with the new inter-university archaeological mission, which started in 1990 and is still ongoing (Gualandi *et al.* 1996; Tronchetti 2000). This survey, supplemented by direct acquisitions by total station and semi-differential GPS, was used to create the first digital terrain model of the peninsula (Kirschner 2008).

Since the beginning of the 2000s, excavations were greatly increased (Marchet, Zara 2020), and research has also been carried out in the suburban space (unavailable until the disposal of a military base in 2012) and in the marine space surrounding the peninsula (Bonetto *et al.* 2022a). On these premises, the ever-rising complexity of archaeological and geomorphological research in Nora calls for an increasingly up-to-date topographical documentation of the ancient city, which today cannot do without a high-resolution digital model of the entire peninsula.

3. The survey: data acquisition

The photogrammetric survey of the peninsula was conducted during the excavation campaign in October 2021 using an UAV (Unmanned Aerial

Vehicle) instrument – the DJI Matrice 300 RTK equipped with a Zenmuse P1 camera (Kersten *et al.* 2022). During data acquisition 61 markers were placed and geo-referenced with a differential GPS in WGS 84/UTM zone 32N-EPSG:32632 and then reprojected into Gauss-Boaga Monte Mario/Italy zone 1-EPSG:3003 in line with the one used by public authorities in Sardinia. The UAV has maintained an altitude of 100 m and a speed of 10 m/s; the flight paths were aligned along the SW-NE axis with a spacing of 25 m between them, ensuring a photo overlapping of 80% in the forward direction and of 70% in the lateral direction (Fig. 1).

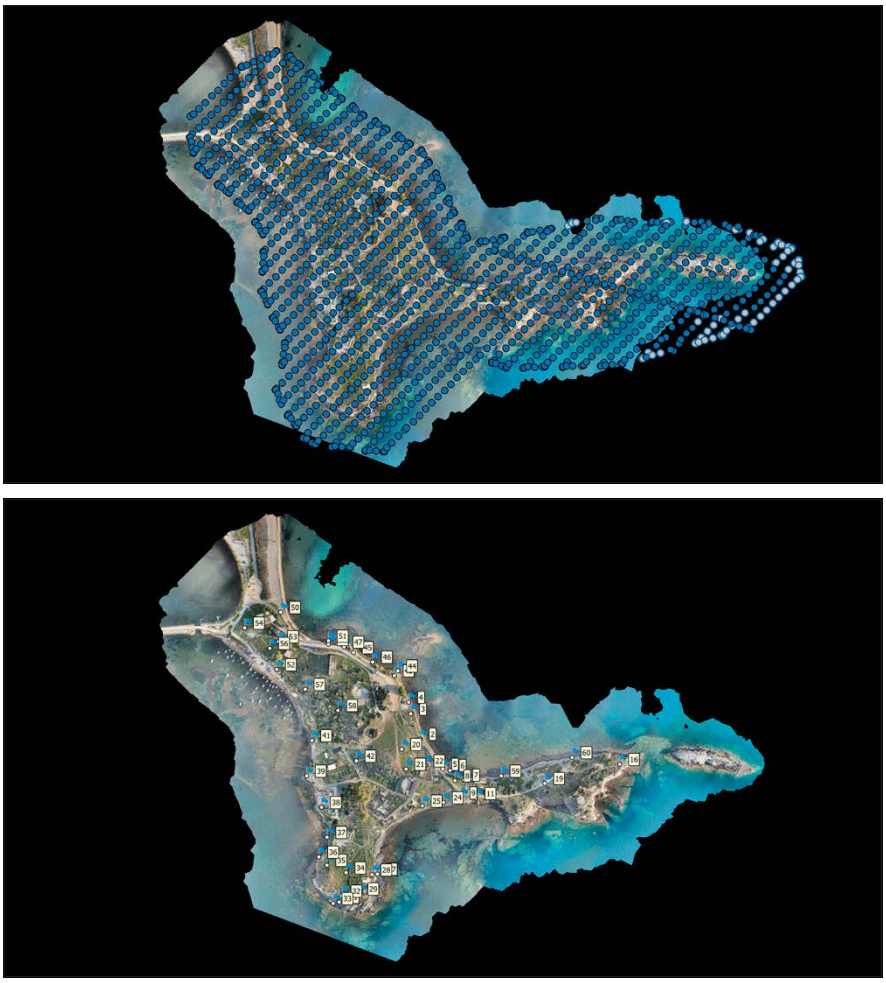


Fig. 1 – The orthophoto showing the positions of all GCPs (a) and all acquired photos (b).

Seabed depth data around the peninsula was obtained from a hydrographic sounding and a following shoreline survey using a total station (Bonetto *et al*. 2012). The Syqwest SingleBeam Bathy 500MF echosounder (frequencies of 208 kHz, 3° emission lobe and a resolution of 1 cm) was used to investigate the seabed from -4 to -10 m on a 10×10 m grid. For depths ranging from -0.8 to -4 m, a Syqwest echosounder was employed in a Sweep System configuration (frequencies of 208 kHz, 10°/18° emission lobe and a resolution of 1 cm). The Sweep System extended the seabed survey to an average depth of 0.5 m using net soundings for depths below -0.8 m. Topographic measurements were carried out for the remaining survey area from -0.5 m down to the coastline. The investigation was handled using a differential GPS+Glonass TRK Leica System 1200 and a total station.

4. Methods. Data processing: software and tools

4.1 *Generation of the 3D peninsula model*

The dataset, consisting of 1208 images, was processed with Agisoft Metashape© (Kingsland 2020) producing a sparse point cloud made up of about 1,302,979 points, a dense point cloud consisting of 250,709,397 points and a resulting textured mesh with 17,412,567 triangles. From the mesh thus processed a georeferenced orthophoto and a Digital Elevation Model with a resolution of 1.5 cm/pixel were obtained.

4.2 *Generation of the Digital Terrain Model (DTM)*

Three different software were used to obtain the Digital Terrain Model from the 3D model: CloudCompare for point cloud editing, Agisoft Metashape© for generating the DTM of the peninsula, and QGIS to combine the new DTM with the previous one of the seabed. Sea areas shown in the DEM were excluded as they are considered unreliable for creating the DTM due to optical distortion in reconstructing underwater objects in the photogrammetry process.

4.2.1 CloudCompare

CloudCompare (v. 2.12.1) was the preferred choice for its specific tools for editing the point cloud. The data set of the peninsula was segmented by removing positive and negative points along the z-axis associated with anthropic features such as buildings, wells and cisterns. Furthermore, points corresponding to plant elements like trees and bushes widespread in the northern and south-eastern regions of the peninsula, were deleted (Figs. 2, 3). The following step in the editing process was the filtering phase using two different tools. The first one was the Noise filter to reduce noise by deleting the point with a significant deviation from the mean value. The second tool employed was the SOR filter for decimating the point cloud by calculating the average distance between points

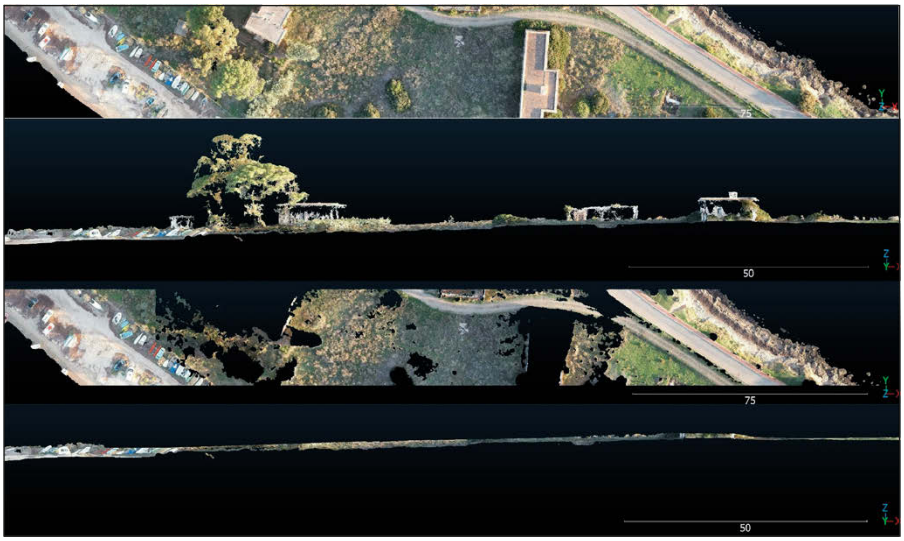


Fig. 2 – Processing workflow; from top to bottom: azimuthal view of the area; side view of the cloud before segmentation; azimuthal view of the point cloud after segmentation and side view of the cloud after segmentation.



Fig. 3 – The cloud resulting from the non-ground point deleting activity; a considerable part of the cloud has been removed.

and deleting those whose distance from neighbouring points exceeds. In this case, a mean value of 6 cm was chosen for decimating the cloud.

4.2.2 Agisoft Metashape©

The point cloud resulting from the editing process in CloudCompare was imported in Agisoft Metashape and then meshed in a polygon network of 1,813,850 triangles. The model presented holes in areas where buildings and vegetation had been removed, and in order to have a 3D model devoid of gaps the filling holes tool was applied considering Z-values from neighbouring points. The reconstructed areas were then decimated and smoothed (Fig. 4). From the mesh thus processed the DTM was calculated with a resolution of 6 cm/pixel (26,507×21,170 pixels).

4.2.3 QGIS: TIN interpolation tool

In order to create a detailed and accurate DTM of the emerged and submerged land of Nora, the model derived from Agisoft Metashape elaboration and the previous one, obtained with a LiDAR survey led by the Region of Sardinia, were combined together in QGIS environment. The dry land from the oldest DTM was isolated by extrapolating contour lines from the raster data with an interval between isobaths fixed at 0.25 cm. All isohypses above 0 m were removed to mark the bathymetric contour lines of the seabed. The same workflow was followed for extracting contour lines of the emerged area with 0.1 cm interval from the new peninsula DTM. The merged vector layer tool has hereby created a new layer that is the result of merging the two selected input layers. TIN interpolation tool was applied to combine the two surveys processed within the Gauss-Boaga coordinate system (Fig. 5). The tide-corrected seabed (adjusted by the tidal curve measured *in situ*) was referenced to the mean sea level of the IGM network (using the Cagliari 1956 tide gauge) using the geoidal undulation model Italgeo 1999.

5. Results

The peninsula's high-resolution orthophoto (1.5 cm/pixel) was used as a raster base for positioning vector elements, including the excavation sites. The orthophotos and DTM were employed to develop a GIS/WebGIS platform for the archaeological area. This integration combines historical cartography with digital excavation maps from over thirty years of university research on the peninsula (Fig. 6). The result is the first digital archaeological map of Nora, which aims to improve the knowledge, use, protection and promotion of the site (Howland *et al.* 2015).

Analysing a Digital Terrain Model in a Geographic Information System environment has proven to be useful in several ways. Firstly, the DTM was processed to create different basemaps. A shaded and false-colour representation

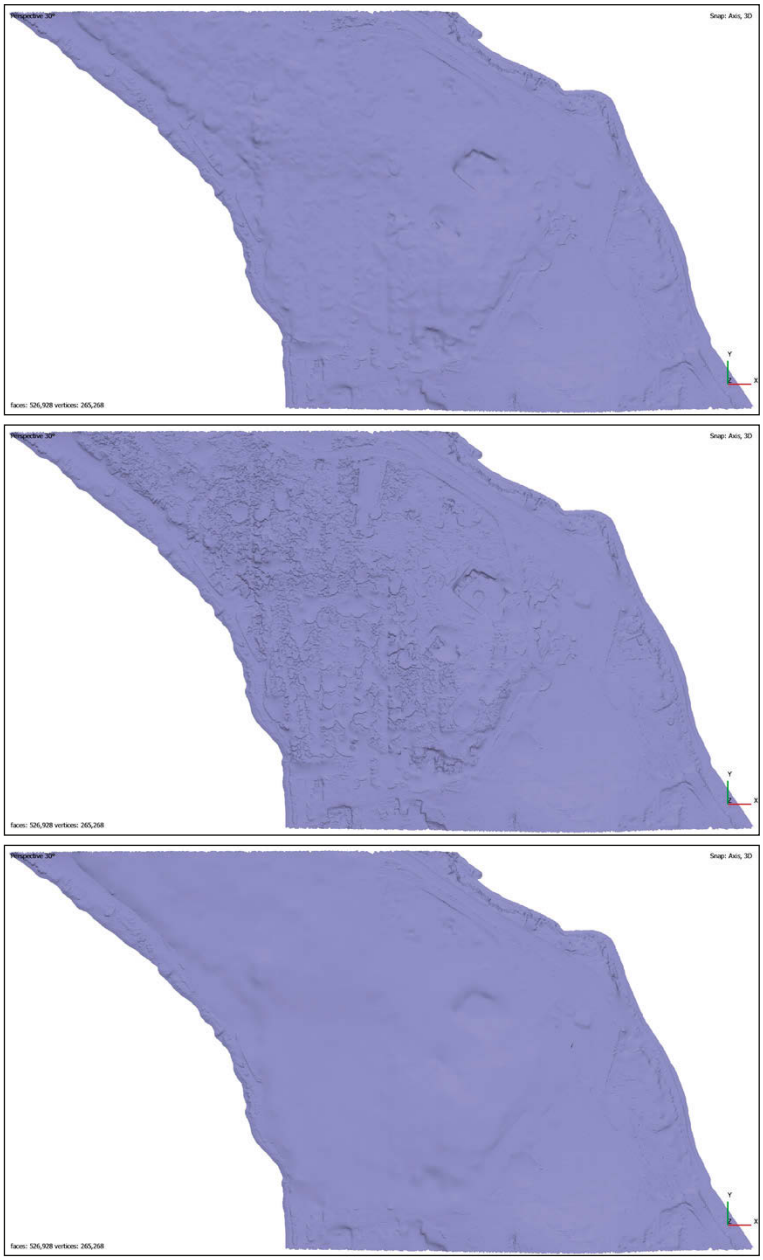


Fig. 4 – Example of the workflow: 1) the mesh with roughness due to the vegetation covering the Marina Militare area; 2) the area after a first attempt with value 10; 3) the area after a second attempt with value 50.

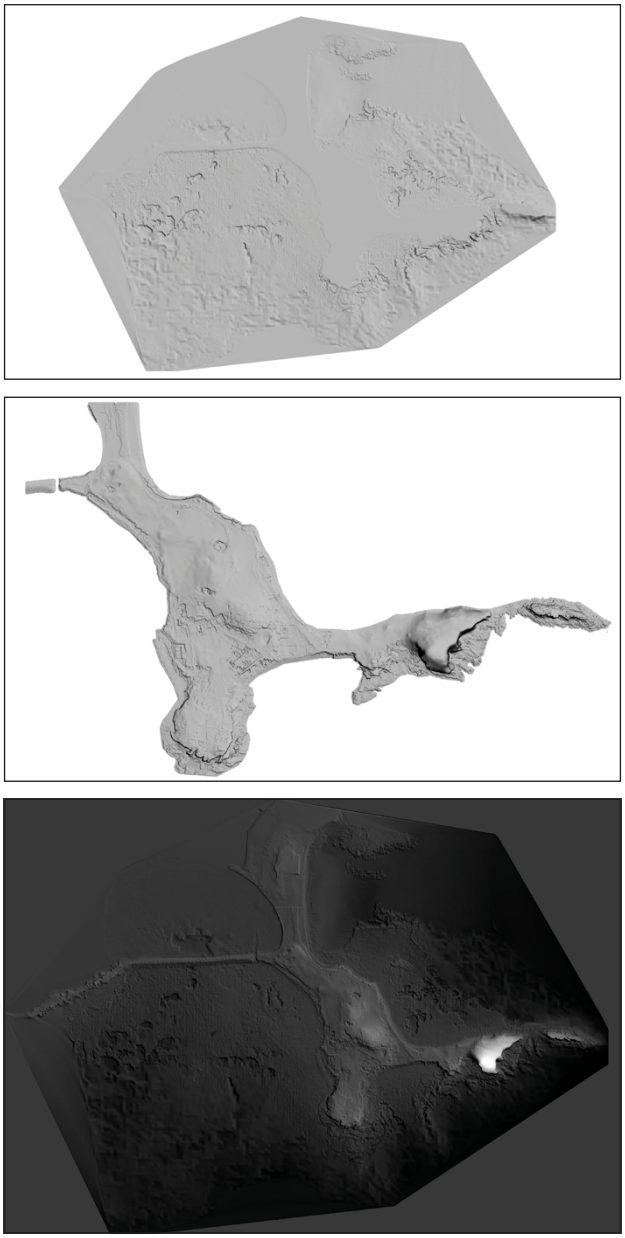


Fig. 5 – The three steps to obtain the complete DTM: at the top, the DTM of the seabed from which the landmass has been removed; in the middle, the model of the peninsula to be integrated into the seabed reel; at the bottom, the complete model.

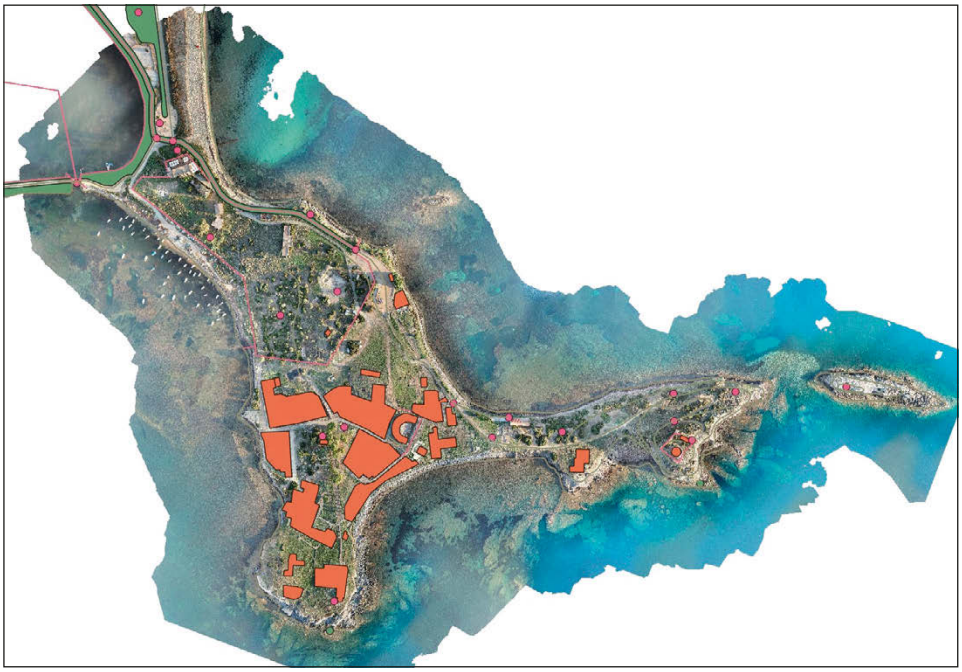


Fig. 6 – Orthophoto of the site with overlaid vector elements (excavation areas and Regional Trigonometric Vertices) of the Regional Technical Map (CTR) of Sardinia (reference system EPSG 3003).

of the peninsula was generated using a multidirectional approach with a light incidence of 30 degrees from the horizon. This technique enhances the three-dimensionality of the raster through the false colours, improving the perception of elevation. During the second phase of graphical processing, contour lines were extracted at intervals of 0.5 m, 1 m, and 2 m. The 2 m interval was used as a schematic base map, which was essential for producing a simplified map of the site without losing elevation data.

Several geomorphological analyses have been carried out on the DTM. These analyses are useful both for the archaeologists working at Nora and for the protection and management of the site. The 'slope analysis' (Fig. 7) was the first tool used to identify the most erosion-prone areas of the peninsula: the southern coast, particularly around the two promontories, shows large erosion fronts and slopes, and the eastern Phoenician necropolis in the N has been destroyed by meteorological and marine action. Consolidation work was carried out on the erosion front along the southern and western coastline to protect the remains of the Terme a Mare and the early christian Basilica. The Digital Terrain Model is a useful tool for monitoring these destructive phenomena that

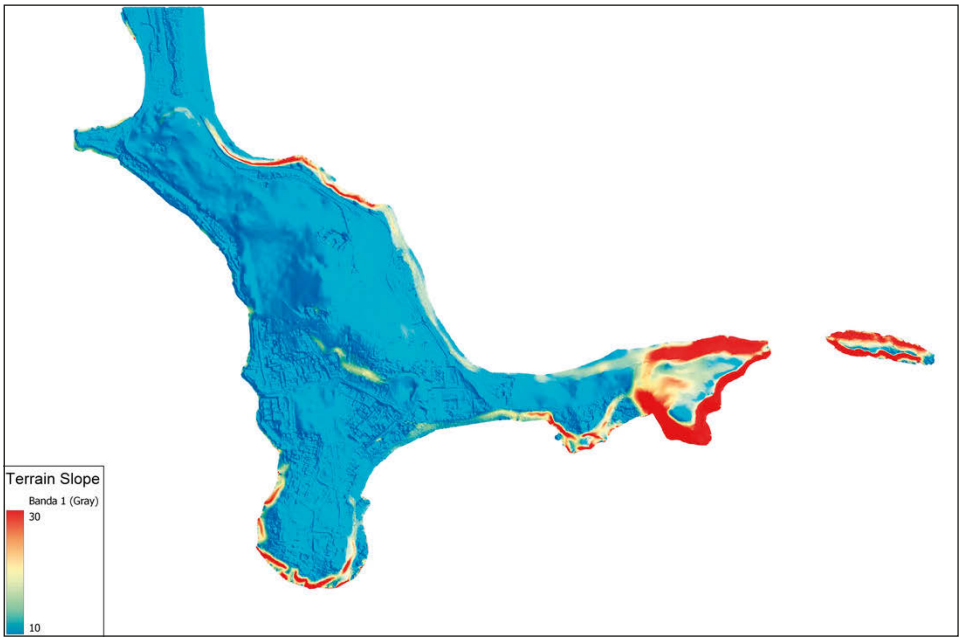


Fig. 7 – The slope map of the peninsula shows the main changes in slope at the erosion fronts. The overburden of the so-called Kasbah is in the centre of the peninsula and is highlighted in red.

threaten the archaeological remains. This allows authorities to compare future surveys with previous ones, calculate the rate of progress of these phenomena and take appropriate measures to protect the site (Young *et al.* 2021).

The tools for geomorphological analysis were useful in studying the settlement from an urban planning perspective and investigating the site spatially. The 'slope analysis' tool revealed an anomaly on the south-western side of the Tanit Hill. This irregularity resulted from two distinct human interventions: the northern step delineates the limits of excavation, while the S-shaped anomaly is the result of terracing in Punic times. The intervention aimed to adjust the slope of the hill for future constructions, resulting in the formation of the Kasbah quarter. The tool for calculating exposure identified that the slopes have different levels of exposure to light. By replacing light with wind, it also determined how they were exposed to weathering. The Phoenician settlements are associated with the most sheltered areas from the mistral (W-NW). This is the strongest and predominant wind throughout the year. The structures found at Tanit Hill were probably huts, as evidenced by the remaining pile holes, and the correlation suggests that the choice of location was deliberate and influenced by the limited resistance of the structures to the occasional

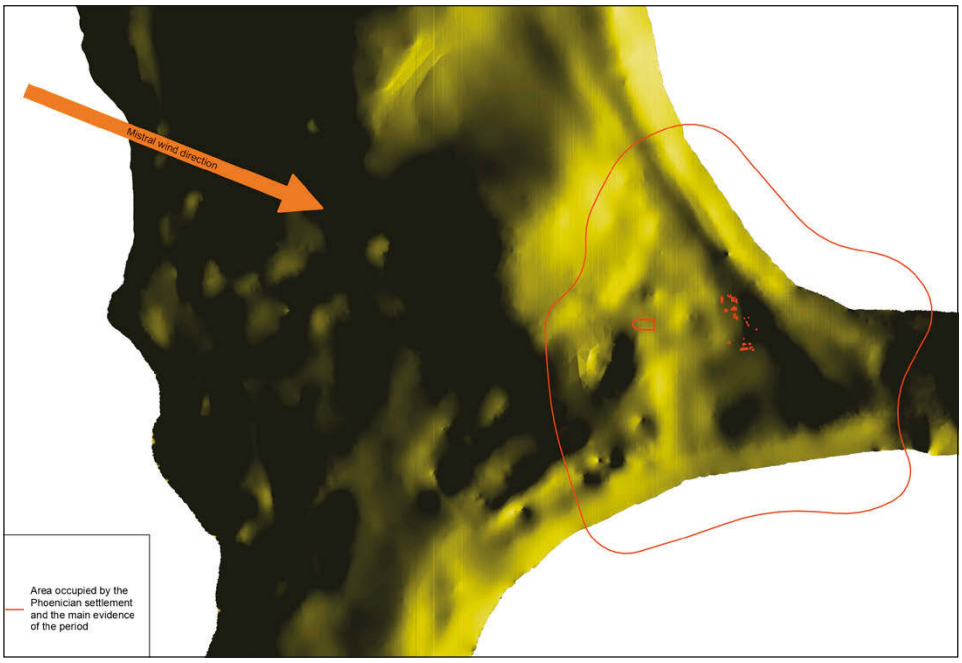


Fig. 8 – Detail of the peninsula. Yellow areas are protected from the Mistral wind as they face in the opposite direction (S-E); red areas indicate evidence from the Phoenician period and the hypothesis of the settlement's extension.

wind pressure. Wind protection may also have been a factor in the reduction of heat loss during the colder months. It is important to note that Tanit Hill is a relatively small relief, standing at only 9 m high. The evidence for Phoenician settlement in the area is limited. Therefore, the boundaries of the occupied area, which currently coincide with the plateau on the south-eastern slopes of Tanit Hill, remain hypothetical (Fig. 8).

DTM analysis has greatly supported the study of the relationship between humans and the environment. In a recent study (Bonetto *et al.* 2022b), the coring and dating of sediments have provided extensive data on the gradual rise of the sea level within the peninsula and the surrounding wetlands. The researchers used the previous DTM, which was derived from LiDAR data of the Region of Sardinia, to produce a graphic representation in false colours. This representation shows how the land mass of the peninsula has changed in relation to average sea levels over time. Coastal profiles were calculated for different historical periods, including Nuragic, Phoenician, Punic, Republican Roman, Imperial Roman, and Late Antique. The reconstruction helps to explain the decrease in inhabitable land over years and will aid in organizing

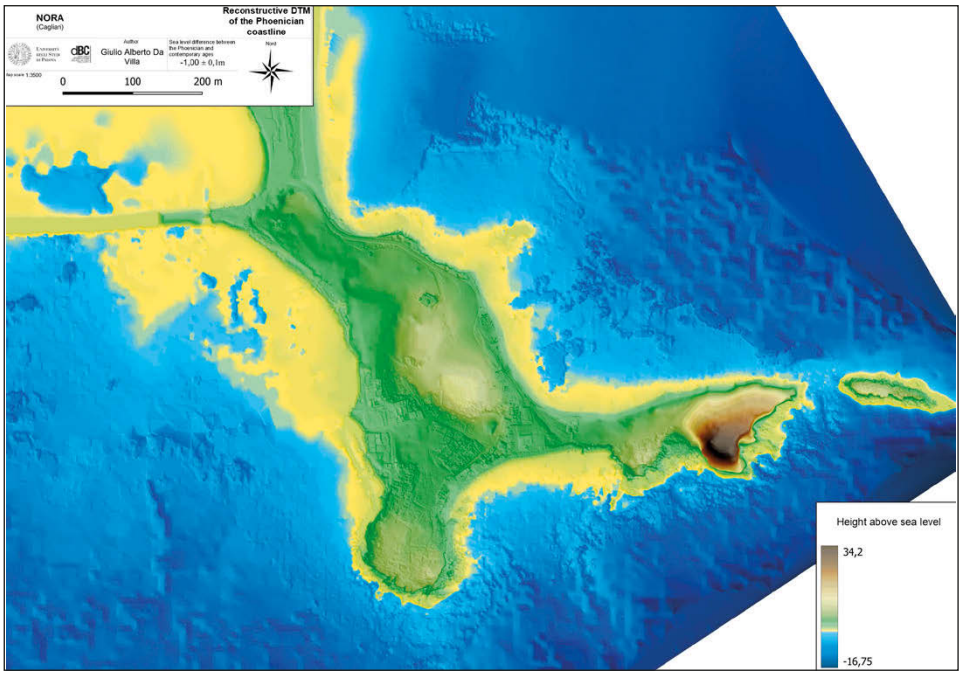


Fig. 9 – False-colour DTM of the Phoenician peninsula with yellow areas indicating submerged land.

future archaeological investigations (Bechor *et al.* 2020). The new DTM allows reviewing data from previous research on the ancient coastline and other unpublished information on submerged areas near the Peninsula and this provides new tools for analysing the archaeological site (Fig. 9).

The model can be made interactive by integrating geomorphological features and archaeological information based on classifying the evidence and can be further developed to virtually enhance the site. Within the DSM, buildings can be categorised chronologically, allowing the temporal alignment of shoreline and structures to be visualised. This feature would provide a consistent representation of historical periods. In addition, the cartographic outputs, orthophotos, and 3D model are useful tools for improving and updating the visual content of the panels on the site, which are currently being renovated.

5.1 *Printing*

The Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering at the University of Padua collaborated on a printing test using a chalk powder printer (ZPrinter450). Based on the texture applied to the 3D model, the printer applies colours to the model during printing. The print file

was obtained from the DTM raster file processed using QGIS software and the dedicated plug-in: DEMto3D. The printer was chosen for its potentials and large print volume (203×254×203 mm). The model's texture uses false colours, with a blue scale representing bathymetry. The colour map ranges from yellow at sea level (0 m above sea level) to brown at 32 m above sea level, with areas in between at 15 m in green. The palette chosen aims to make the peninsula's elevation easily understandable to anyone, regardless of expertise. In addition, the model can be coloured to highlight specific aspects; for example, the orthophoto can be used to give a photo-realistic aspect to the printed model (Fig. 10).

6. Conclusions

The research has led to the creation of a new tool for investigating, protecting, and managing high-impact sites. This tool can be summarised as follows:

– The university team and the Superintendence have conducted extensive research on the Nora site since 1990. However, until now, there has been a lack of highly accurate, geo-referenced, three-dimensional cartographic support. The survey and restitution activities have provided a complete and highly precise working basis for developing multi-thematic cartographies. This is now available to the scientific and official community. The geo-referenced point cloud is in line with the reference systems used by the universities and



Fig. 10 – The 3D printed tile displays clear levels and colours.

public authorities in Nora. This will make it possible to keep the database up to date with new acquisitions, even if different methods of data collection are used. It also provides an important basis for future surveys.
– In terms of research, the advantages are immediately evident on the detailed landforms features produced by the survey. The site is laid out on a system of low hills and maritime shores, where geomorphological aspects played a crucial role in settlement forms from the Nuragic age to the early Middle ages. The resulting DTM will enable researchers to comprehend the influence of the natural context on occupational dynamics. Furthermore, studying the layout of the ancient structures, the alignment of the Roman road system, the course of the hydraulic systems, and other crucial details is useful for the historical interpretation of the site. The elevation model provides significant advantages, particularly in two specific areas: a) in the northern area, where there is over 4 hectares of unexplored land, the micro-relief is an essential tool for predictive purposes due to the effects on soil generated by ancient presences; b) accurate elevation measurements of emerged and submerged areas in coastal and intertidal zones aid in comprehending the coastal land and seabed. This also enables the calculation of shoreline progression caused by rising sea levels over time. By studying the historical relationship between marine and terrestrial space, it is possible to predict future coastal advancing scenarios and prevent potential impacts on ancient coastal structures. In summary, a tool that provides a comprehensive and detailed understanding of landforms in a site of high geomorphological complexity has the potential to significantly enhance the research. In the context of the Nora site, where four universities are conducting ongoing studies, this aspect is particularly significant.
– The photogrammetric survey of the site has provided a useful tool for site management practices. It allows the analysis of the location and consistency of the deposits, the verification of the position and depth of the ancient multi-layered remains, and the planning of the technical networks and service infrastructures. This is particularly important for a site that is visited by thousands of tourists every year.
– The 3D model obtained in this study is a useful tool for dissemination purposes. It can be presented as a virtual or physical image of the excavations and archaeological area (DSM), or as a model representing the peninsula in its various chronological phases (DTM). 3D printing allows the creation of tangible accurate models for educational and illustrative purposes (Themistocleous *et al.* 2015; Monturi *et al.* 2020; Wałek 2020; Higueras *et al.* 2021; Arias *et al.* 2022; Fernandez *et al.* 2022; Kantaros *et al.* 2023).

This research project also highlighted some of the limitations of photogrammetry and needs a consideration on the nature of the DTM obtained for

a particular area, such as an archaeological site. Vegetation noise is a major challenge, and this aspect can be overcome by preparing the survey area before the flight or by selecting the areas to be surveyed during the planning phase. A preliminary LiDAR survey has been carried during this research project, for supplementing missing data in tree covered areas, but results are not presented in this paper because of the sensor was not able to penetrate bushes. It is scheduled in upcoming campaigns a new UAVs LiDAR survey with a different sensor hopefully able to acquire ground data under dense vegetation; this new acquisition will be planned based on the photogrammetric data described in this paper, combined with available satellite images. Moreover, archaeological. sites present a significant challenge in distinguishing between natural terrain and historical remains discovered during excavations. These remains, which can be thousands of years older than the surrounding terrain, make it difficult to accurately map unexcavated areas and reconstruct the peninsula's DTM without human intervention. Due to extensive excavations carried out in the last century, the morphology of the peninsula has been irreversibly altered, making it impossible to exclude historical elements. Therefore, the excavated areas have been preserved to reflect the modern layout of the land, which has been shaped over the last two millennia by various inputs as anthropogenic sedimentation, and removals, such as archaeological excavations. This approach also enables monitoring of the works' progress and preservation of the historical context.

Giulio Alberto Da Villa, Arturo Zara, Emanuela Faresin, Jacopo Bonetto
Dipartimento dei Beni Culturali
Università degli Studi di Padova
giulioalberto.davilla@studenti.unipd.it, arturo.zara@unipd.it, emanuela.faresin@unipd.it
jacopo.bonetto@unipd.it

Cristiano Miele, Antonio Persichetti
Archetipo S.r.l., Padova
info@archetipo-srl.com

Acknowledgements

We would like to thank Prof. G. Concheri of the Department of Engineering at the University of Padua for his interest in this project and for providing the 3D printer for this work. We also thank Dott. E. Brombin for supporting the editing and polishing of the English.

REFERENCES

Ahmad M.J., Ahmad A., Kanniah K.D. 2018, *Large scale topographic mapping based on unmanned aerial vehicle and aerial photogrammetric technique*, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169, 1, 012077 (https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012077).

Ali U.L.V.I. 2020, *Importance of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the documentation of cultural heritage*, «Turkish Journal of Engineering», 4, 3, 104-112 (https://doi.org/10.31127/tuje.637050).

Antonioli F., Orrù P., Porqueddu A., Solinas E. 2012, *Variazioni del livello marino in Sardegna durante gli ultimi millenni sulla base di indicatori geo-archeologici costieri*, in M.B. Cocco, A. Gavini, A. Ibba (eds.), *L'Africa romana, Atti del XIX Convegno di Studi (Sassari 2010)*, Roma, Carrocci, 2963-2971

Arias F., Enríquez C., Jurado J.M., Ortega L., Romero-Manchado A., Cubillas J.J. 2022, *Use of 3D models as a didactic resource in archaeology. A case study analysis*, «Heritage Science», 10, 1, 1-15 (https://doi.org/10.1186/s40494-022-00738-x).

Asolati M., Bonetto J., Zarabea A. 2018, *Un deposito rituale di antoniniani dal settore orientale dell'abitato di Nora (Sardegna)*, «Annali dell'Istituto Italiano di Numismatica», 64, 99-146 (https://hdl.handle.net/11577/3316684).

Bakirman T., Bayram B., Akpinar B., Karabulut M.F., Bayrak O.C., Yigitoglu A., Seker D.Z. 2020, *Implementation of ultra-light UAV systems for cultural heritage documentation*, «Journal of Cultural Heritage», 44, 174-184 (https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.01.006).

Bechor B., Sivan D., Miko S., Hasan O., Grisonic M., Rossi I.R., Brook A. 2020, *Salt pans as a new archaeological sea-level proxy: A test case from Dalmatia, Croatia*, «Quaternary Science Reviews», 250, 106680 (https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106680).

Bonetto J. 2021a, *Nora fenicia. Nuovi dati e nuove letture*, in *Tra le coste del Levante e le terre del tramonto. Studi in ricordo di Paolo Bernardini*, Roma, Quasar, 195-208 (https://hdl.handle.net/11577/3410955).

Bonetto J. 2021b, *Nora nel V secolo: dall'emporio fenicio a colonia cartaginese*, in S.F. Bondì, M. Botto, G. Garbati, I. Oggiano (eds.), *La Sardegna, il Mediterraneo occidentale e Cartagine nel V secolo a.C.*, Roma, Quasar, 91-106 (https://hdl.handle.net/11577/3392118).

Bonetto J., Carraro F., Metelli M.C. 2022a, *Progetto "Nora e il mare" 2.0: un nuovo approccio multidisciplinare per la ricostruzione dell'ambiente antico*, «Quaderni Norensi», 9, 1, 329-332 (https://doi.org/10.14658/PUPJ-QUNO-QUNO-2022-1-29).

Bonetto J., Carraro F., Metelli M.C., Vacchi M., Venturoli A., Rossi V. 2022b, *Le variazioni del livello del mare e l'articolazione dell'abitato di Nora (Sardegna, Italia) tra età nuragica e tarda età romana*, «Archeologia Marittima Mediterranea», 19, 27-62 (https://doi.org/10.19272/202204501003).

Bonetto J., Falezza G., Bertelli A., Ebner D. 2012, *Nora e il mare. Il Progetto Noramar. Attività 2011*, «Quaderni Norensi», 4, 1, 327-338.

Bonetto J., Ghiotto A.R. 2013, *Nora nei secoli dell'alto Medioevo*, in R. Martorelli (ed.), *Settecento-Millecento. Storia, archeologia e arte nei "secoli bui" del Mediterraneo. Dalle fonti scritte, archeologiche ed artistiche alla ricostruzione della vicenda storica. La Sardegna laboratorio di esperienze culturali. Atti del Convegno (Cagliari 2012)*, Cagliari, Scuola Sarda Editrice, 271-290 (https://hdl.handle.net/11577/2574722).

Campana S. 2017, *Drones in archaeology. State-of-the-art and future perspectives*, «Archaeological Prospection», 24, 4, 275-296 (https://doi.org/10.1002/arp.1569).

Campana S. 2020, *Drone-based imaging in archaeology: Current applications and future prospects*, «Unmanned Aerial Remote Sensing», 217-237 (https://doi.org/10.1002/arp.1569).

Casella E., Rovere A., Pedroncini A., Stark C.P., Casella M., Ferrari M., Firpo M. 2016, *Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean)*, «Geo-Marine Letters», 36, 151-163 (https://doi.org/10.1007/s00367-016-0435-9).

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

Church R.A., Warren D.J. 2008, *Sound methods: The necessity of high-resolution geophysical data for planning deepwater archaeological projects*, «International Journal of Historical Archaeology», 12, 2, 103-119 (https://doi.org/10.1007/s10761-008-0047-9).

Colica E., D'Amico S., Iannucci R., Martino S., Gauci A., Galone L., Paciello A. 2021, *Using unmanned aerial vehicle photogrammetry for digital geological surveys: Case study of Selmun promontory, northern of Malta*, «Environmental Earth Sciences», 80, 1-14 (https://doi.org/10.1007/s12665-021-09846-6).

Darwin N., Ahmad A., Zainon O. 2014, *The potential of unmanned aerial vehicle for large scale mapping of coastal area*, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 18, 1, 012031 (https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012031).

Drap P., Seinturier J., Hijazi B., Merad D., Boi J.M., Chemisky B., Long L. 2015, *The ROV 3D Project. Deep-sea underwater survey using photogrammetry: Applications for underwater archaeology*, «Journal on Computing and Cultural Heritage», 8, 4, 1-24 (https://doi.org/10.1145/2757283).

Eyoh A., Ubom O., Ekpa A. 2019, *Comparative analysis of UAV photogrammetry and total station traversing on route survey*, «European Journal of Engineering and Technology», 7, 4.

Fiz Fernández I., Martín Serrano P.M., Cuesta Moratinos R., Subías Pascual E., Codina Reina D., Cartes Reverté T. 2022, *Examples and results of aerial photogrammetry in archeology with uav: Geometric documentation, high resolution multispectral analysis, models and 3D printing*, «Drones», 6, 59 (https://doi.org/10.3390/drones6030059).

Ghiotto A.R., Zara A. 2020, *Nora tra III e I secolo a.C.: la graduale transizione da città punica a città romana*, in J. Bonetto, R. Carboni, M. Giuman, A. Zara (eds.), *Nora antiqua*, II. *Nora dalla costituzione della provincia all'età augustea. Atti del Convegno di Studi (Pula 2018)*, Roma, Quasar, 3-18.

Graça N., Mitishita E., Gonçalves J. 2014, *Photogrammetric mapping using unmanned aerial vehicle*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 40, 129-133.

Gualandi M.L., Tascio M., Pala G., Bonetto J. 1996, *Sistema cartografico per il centro antico di Nora*, in P. Moscati (ed.), *III International Symposium on Computing and Archaeology (Roma 1995)*, «Archeologia e Calcolatori», 7, 113-128 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=130).

Hatzopoulos J.N., Stefanakis D., Georgopoulos A., Tapinaki S., Pantelis V., Liritzis I. 2017, *Use of various surveying technologies to 3D digital mapping and modelling of cultural heritage structures for maintenance and restoration purposes: The tholos in Delphi, Greece*, «Mediterranean Archaeology&Archaeometry», 17, 3.

Higueras M., Calero A.I., Collado-Montero F.J. 2021, *Digital 3D modeling using photogrammetry and 3D printing applied to the restoration of a Hispano-Roman architectural ornament*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 20, e00179 (https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00179).

Howland M.D., Liss B., Najjar M., Levy T.E. 2015, *GIS-based mapping of archaeological sites with low-altitude aerial photography and Structure from Motion: A case study from Southern Jordan*, «Digital Heritage», 1, 91-94 (https://doi.org/10.1109/DigitalHeritage.2015.7413842).

Kantaros A., Soulis E., Alysandratou E. 2023, *Digitization of ancient artefacts and fabrication of sustainable 3D-printed replicas for intended use by visitors with disabilities: The case of Piraeus archaeological museum*, «Sustainability», 15, 17, 12689 (https://doi.org/10.3390/su151712689).

Kanun E., Alptekin A.,Yakar M. 2021, *Documentation of cultural heritage by photogrammetric methods: A case study of Aba's Monumental Tomb*, «Intercontinental Geoinformation Days», 3, 168-171.

Kersten T., Wolf J., Lindstaedt M. 2022, *Investigations into the accuracy of the Uav system Dji Matrice 300 Rtk with the sensors zenmuse P1 and L1 in the Hamburg test field*, «The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 43, 346 (https://doi.org/10.5194%2Fisprs-archives-XLIII-B1-2022-339-2022).

Kingsland K. 2020, *Comparative analysis of digital photogrammetry software for cultural heritage*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 18, e00157 (https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00157).

Kirschner P.H. 2008, *Appendice tecnica. La creazione di un modello tridimensionale del terreno per il sito di Nora*, in J. González, P. Ruggeri, C. Vismara, R. Zucca (eds.), *L'Africa romana. Le ricchezze dell'africa. Risorse, produzioni, scambi*, *Atti del XVII Convegno di studio* (*Sevilla 2006*), 3, Roma, 1689-1695.

Langhammer J., Janský B., Kocum J., Minařík R. 2019, *3-D reconstruction of an abandoned montane reservoir using UAV photogrammetry, aerial LiDAR and field survey*, «Applied Geography», 98, 9-21 (https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.001).

Luo L., Wang X., Guo H., Lasaponara R., Zong X., Masini N., Yao Y. 2019, *Airborne and spaceborne remote sensing for archaeological and cultural heritage applications: A review of the century (1907-2017)*, «Remote Sensing of Environment», 232, 111280 (https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111280).

Marchet B., Zara A. (eds.) 2020, *Nora 1990-2020. Bibliografia generale*, in J. Bonetto, R. Carboni, M. Giuman, A. Zara (eds.), *Nora Antiqua*, II. *Nora dalla costituzione della provincia all'età augustea. Atti del Convegno di Studi* (*Pula 2018*), Roma, Quasar, 139-198 (https://hdl.handle.net/11577/3349716).

Marín-Buzón C., Pérez-Romero A., Lopez-Castro J.L., Ben Jerbania I., Manzano-Agugliaro F. 2021, *Photogrammetry as a new scientific tool in archaeology: Worldwide research trends*, «Sustainability», 13, 9, 5319 (https://doi.org/10.3390/su13095319).

Mazzariol A., Zara A. 2024, *Nora. Viaggiatori, antichisti e archeologi. Storia delle ricerche e degli studi tra XVI sec. e XX sec.*, Roma, Quasar.

Montuori R., Gilabert-Sansalvador L., Rosado-Torres A.L. 2020, *3D printing for dissemination of Maya Architectural Heritage: The acropolis of La Blanca (Guatemala)*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 44, 481-488 (https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-481-2020).

Nikolakopoulos K.G., Soura K., Koukouvelas I.K., Argyropoulos N.G. 2017, *UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 14, 758-773 (https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.004).

O'driscoll J. 2018, *Landscape applications of photogrammetry using unmanned aerial vehicles*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 22, 32-44 (https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.09.010).

Olivito R., Taccola E. 2014, *3D modelling in the agora of Segesta: Techniques and data interpretation*, «Archeologia e Calcolatori», 25, 175-188 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF25/09_Olivito_Taccola.pdf).

Orsini C., Benozzi E., Williams V., Rossi P., Mancini F. 2022, *UAV photogrammetry and GIS interpretations of extended archaeological contexts: The case of Tacuil in the Calchaquí area (Argentina)*, «Drones», 6, 2, 31 (https://doi.org/10.3390/drones6020031).

Patroni G. 1901, *Nora. Scavi eseguiti nel perimetro di quell'antica città e in una delle sue necropoli durante i mesi di maggio e giugno 1901*, «Notizie degli Scavi», 365-381.

Pena J.A., Miranda W.P., Marques E.C.N. 2021, *Drone application in topography services-case study*, «International Journal of Advanced Engineering Research and Science», 8, 6.

Pervolarakis Z., Zidianakis E., Katzourakis A., Evdaimon T., Partarakis N., Zabulis X., Stephanidis C. 2023, *Three-dimensional digitization of archaeological sites. The use case of the palace of Knossos*, «Heritage», 6, 2, 904-927 (https://doi.org/10.3390/heritage6020050).

Pesce G. 1972, *Nora. Guida agli scavi*, Cagliari, Editrice Sarda Fossataro.

Petrovič D., Grigillo D., Kosmatin Fras M., Urbančič T., Kozmus Trajkovski K. 2021, *Geodetic methods for documenting and modelling cultural heritage objects*, «International Journal of Architectural Heritage», 15, 6, 885-896 (https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1683779).

Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D. 2012, *UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling-current status and future perspectives*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 38, 25-31 (https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011).

Scarelli F.M., Sistilli F., Fabbri S., Cantelli L., Barboza E.G., Gabbianelli G. 2017, *Seasonal dune and beach monitoring using photogrammetry from UAV surveys to apply in the ICZM on the Ravenna coast (Emilia-Romagna, Italy)*, «Remote Sensing Applications: Society and Environment», 7, 27-39 (https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.06.003).

Themistocleous K., Agapiou A., King H.M., King N., Hadjimitsis D.G. 2014, *More than a flight: The extensive contributions of UAV flights to archaeological research. The case study of Curium site in Cyprus*, in *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation and Protection. 5th International Conference, EuroMed 2014 (Limassol, Cyprus, 2014)*, Proceedings 5, Springer International Publishing, 396-409 (https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0_38).

Themistocleous K., Ioannides M., Agapiou A., Hadjimitsis D.G. 2015, *The methodology of documenting cultural heritage sites using photogrammetry, UAV, and 3D printing techniques: The case study of Asinou church in Cyprus*, in *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*, 9535, 312-318 (https://doi.org/10.1117/12.2195626).

Tronchetti C. (ed.) 2000, *Ricerche su Nora-I (anni 1990-1998)*, Cagliari, Grafiche Sainas.

Ulvi A. 2021, *Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners*, «International Journal of Remote Sensing», 42, 6, 1994-2021 (https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1834164).

Vavulin M.V., Chugunov K.V., Zaitceva O.V., Vodyasov E.V., Pushkarev A.A. 2021, *UAV-based photogrammetry: Assessing the application potential and effectiveness for archaeological monitoring and surveying in the research on the 'valley of the kings' (Tuva, Russia)*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 20, e00172 (https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00172).

Wałek M. 2020, *Applying digital tools as an effective support for conservation research and design process: The Rocca Janula castle in Cassino, Lazio*, in A. Caravale, P. Moscati (eds.), *Logic and Computing. The Underlying Basis of Digital Archaeology. Proceedings of the MetroArchaeo 2019 Special Session, 2019 Imeko tc-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (Florence 2019)*, «Archeologia e Calcolatori», 31.2, 245-256 (https://doi.org/10.19282/ac.31.2.2020.23).

Young S.S., Steven R., Kayla D. 2021, *Monitoring the erosion and accretion of a human-built living shoreline with drone technology*, «Environmental Challenges», 5, 100383 (https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100383).

ABSTRACT

This paper describes the high-resolution survey of the archaeological site of Nora (Sardinia, Italy) using the aerophotogrammetric technique. The survey was conducted in October 2021 on a 14-hectare peninsula located in the Gulf of Cagliari. Previous attempts to survey the area, aside from the 1 metre/pixel LiDAR survey carried out by the Region of Sardinia, have been hampered by the challenges posed by the size of the area and the costs involved. The Digital Terrain Model was obtained from the 3D model created with the Agisoft Metashape© software by removing the buildings and the vegetation. The segmentation process was carried out using Cloud Compare and the resulting DTM was then analysed using the geomorphological analysis tools provided by QGIS. The seabed DTM was obtained through several survey campaigns between 2013 and 2015, using the same software. The terrestrial DTM was merged with the seabed DTM, resulting in a comprehensive 3D and 2D model of the peninsula and its surroundings. The final DTM was printed with rapid prototyping technologies to explore its potential use as a tactile model for promotion and dissemination in the field.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 389-406
doi 10.19282/ac.35.1.2024.24

APPLICATION OF INTEGRATED 3D SURVEY TECHNOLOGIES IN AN ETRUSCAN NECROPOLIS: THE CASE OF SASSO PINZUTO (TUSCANIA, VT)

1. Introduction

The Sasso Pinzuto necropolis is located along the eastern side of the Marta River southeast of the urban center of Tuscania (VT), on the western slope of the large *plateau* of San Lazzaro (Fig. 1). It represents one of the less investigated cemeteries in the area: the burial ground is flanked by a segment of an Etruscan road cut off in the tufa, connecting Tuscania with the hinterland of *Caere*, which in Roman times became the *via Clodia*. Due to its connection via this crucial communication route, the site experienced an uninterrupted occupation in ancient times. The chamber tombs currently visible belong to two main types: one type exhibits an upper fissure in the middle of the roof ('tombe a fenditura superior'), while the second one is entirely excavated in the tufa. The tombs entirely excavated in the tufa are the most numerous and display different types of plans. Most of them consist of single rooms, but there are also several tombs composed of two coaxial rooms. Generally, the typology of the two coaxial chambers is widespread in Tuscania and began in the late 7th century BCE. There are other hypogea with plans and characteristics of internal elements that suggest a dating mostly within the 6th century BCE, mainly influenced by models developed in *Caere* (Quilici Gigli 1969; Prayon 1975).

Limited and challenging-to-identify excavations were conducted on the site in the 19th century and the first half of the 20th century. Between the 1960s and 1990s, the Soprintendenza dell'Etruria Meridionale undertook targeted excavations, mostly aimed at recovering illicit and clandestine activities, which remained largely unpublished (Scardozzi 2012, 101-107). At the end of the 1960s, S. Quilici Gigli focused on the archaeological topography of the site, in the broader context of the archaeological map of Tuscania (Quilici Gigli 1970). G. Scardozzi made a valuable contribution to the documentation of archaeological evidence at Sasso Pinzuto (Scardozzi 2012, 2019), recording, systematizing and updating both legacy and newly acquired data (Fig. 2).

Within the research carried out in Sasso Pinzuto, a notably discovery occurred during the rescue excavations conducted by L. Marchese in April-May 1963. Fragments of molded clay plaques decorated with figure in relief were found, including one depicting a departing warrior moving right followed by two biga horses (Moretti, Ricciardi 1993, 177, fig. 46, 'scena di partenza II'; Sgubini Moretti, Ricciardi 2004; Winter 2009, 262, n. 4.D.4). In



Fig. 1 – The Sasso Pinzuto area (in white) in the context of Tuscania (Viterbo, Latium) on a satellite image (2023, Google Maps).

August 1994 the Superintendence, in collaboration with volunteers from the Gruppo Archeologico Romano (GAR) leaded by the late M. Incitti, decided to carry out a cleaning and documentation operation on a known *tumulus* in the area (Tumulus 1, see below). Further investigations were carried out in the 2000s by the Superintendence, leading to the discovery of new tomb contexts, culminating in 2020 with the first intervention by the Center for Ancient Mediterranean and Near Eastern Studies (CAMNES), based in Florence but already active in the Tuscania area, through the exploration of the 'Black Pigs' tomb.

A.N.

2. The 2022 excavation campaign

The 2022 excavation campaign investigated two areas of the necropolis of Sasso Pinzuto conventionally called the Northern and the Southern Areas (Fig. 3, A and B) (for further information about 2022 excavation see Naso *et al.* in press). In the Northern Area, the research started with Tumulus 1,



Fig. 2 – Aerial views A) on the archaeological site of Sasso Pinzuto with Tuscania in the background; B) on the Area B investigated in 2022 campaign.

already investigated in 1994 by GAR. The chamber tomb contained in Tumulus 1 (approx. 10 m in diameter) is a hypogeal tomb totally dug into the tufa and it follows a typology derived from models developed at *Caere* in the late 7th century BCE with a transversal *atrium* and three chambers excavated on the back wall (Naso 2023) (Fig. 4).

The tomb, called 'tomba Incitti' in honour of M. Incitti, had been already violated in ancient times, but the excavation made possible the recovery of remarkable finds: some ceramics of Etruscan production (bucchero and Etruscan-Corinthian amphorae from the Monte Abatone Group), imported (Attic Black-figure and East-Greek vases), and few metals including a gold braid clip. According to the architectural typology and the materials found during the GAR excavation in 1994, it is possible to hypothesize a chronology around the first quarter of the 6th century BCE. A small 'fossa' grave was found intact and recently published by A.M. Moretti Sgubini, belonging to a newborn child (Moretti Sgubini 2018). The grave was located on the



Fig. 3 – Sasso Pinzuto-Tuscania (in white): in the context of the river Marta Valley on a historical aerial photograph georeferenced in GIS; in white dash dot line, A) the Northern Area; B) the Southern Area.

southern side of the *dromos* and originally covered by a tufa block; according to the objects found inside, it may be dated to around the second quarter of 6th century BCE.

During the 2022 excavation around the *tumulus* have been found some fragments of molded decorated clay slabs, in particular one fragment with riders (finds from Tuscania, Ara del Tufo: Moretti, Ricciardi 1993, 169, figs. 25-26, 'cavalieri al passo II') and other fragments with rests of a biga including horse paws and wheel (Moretti, Ricciardi 1993, 169-175, 'scena

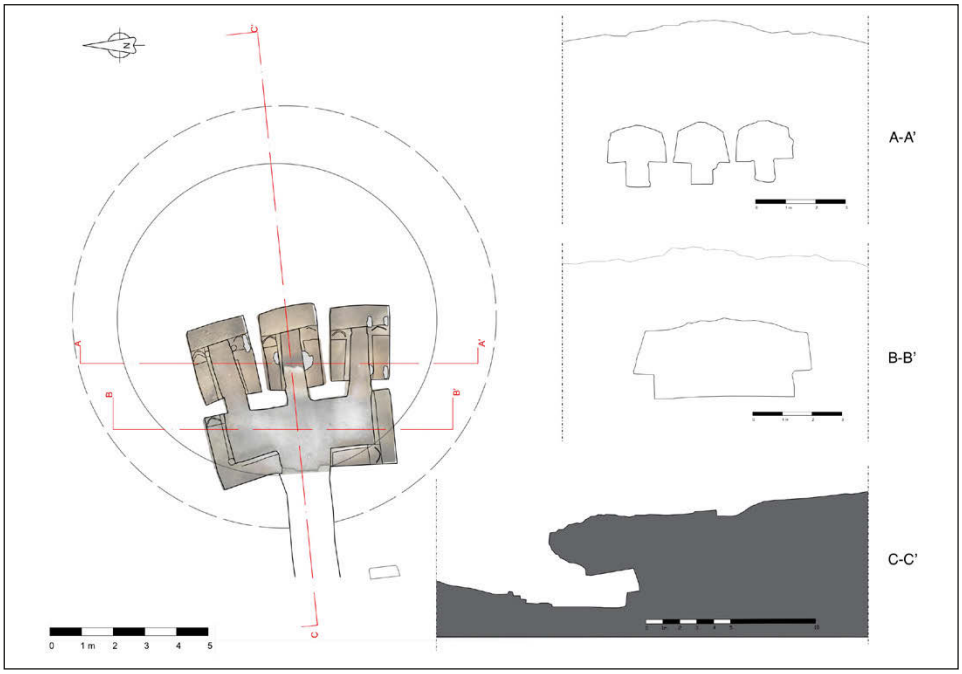


Fig. 4 – Tumulus 1, Sasso Pinzuto-Tuscania: tomb plan and sections with the chambers' orthophoto plan. The crepis of the *tumulus* is not entirely excavated.

di partenza I'). Worth mentioning are also fragments with painted *guilloche* in the white-on-red technique (Winter 2009, 94, fig. 2.6.a, *guilloche* A).

In the Southern Area – a small plain about 90 m from the Northern Area – four fossa graves (n. 126, 127, 128, 130) and two chamber tombs (n. 125 and 129) were excavated. The *fossae* correspond to two types: one has a simple profile (n. 126 and 128), and the other characterized by a more complex profile of deeper level (n. 123 and 130). All tombs were violated but it was possible to recover small finds of personal equipment that had escaped from the illegal excavations. In Tomb 126 a fibula type Lo Schiavo 142 (Lo Schiavo 2010, 310, tav. 151) establishes the chronology within the 7th century BCE; Tomb 127 yielded a thin fibula with a rhomboidal profile, type Lo Schiavo 183 (Lo Schiavo 2010, 416, tavv. 229-232). In the small fossa 128 (approx. 90 cm long and 30 cm wide), a small cushion in relief had been cut into the inner surface. Although the burial did not yield any funerary equipment, the dimensions suggest that it belonged to an infant, and shows in this sector the presence of tombs reserved for both infants and adults, perhaps member of the same family. In chamber Tomb 125, belonging to the coaxial type, some

elements, with special regard to impasto lenticular ribbed spindle, allow us to establish that at least one female figure was buried here. Some complete vases belonging to bucchero drinking sets (*kyathoi*, cups, chalices, *kantharoi*, *oinochoe* and a small jug) have been also found.

Particularly significant on a stratigraphic level is the discovery of a layer composed by dense, dark clay, with plastic consistency, positioned in the vestibule of the tomb near the entrance door. This can be interpreted as a waterproofing arrangement, functional to the sealing of the chamber and to avoid water infiltrations. The preliminary results of chemical analysis of samples carried out by C. Rispoli, Dept. of Earth Sciences, University of Naples Federico II revealed that some minerals have been intentionally added to the natural clay to increase its waterproof properties.

Chamber Tomb 129 has a cruciform plan with a *dromos* and vestibule featuring a tufa seal, made of two overlapping quadrangular slabs resting on two monoliths, both positioned at the end of the *dromos*. Some iron objects such as spearheads, javelin heads, *sauroteres*, a knife and a spit were found along the steps of the *dromos* and they can be interpreted as a possible ritual offering after a reopening of the tomb. On that occasion, the tufa slabs were placed in the vestibule and some clay vases were moved in front of the entrance door. The vases consist of Etruscan-Corinthian pots (two *amphorae*, a figured *alabastron* and additional balsam flasks painted with linear decoration), bucchero (chalices, *kantharoi*, cups, *oinochoai* and *olpai*) and impasto vases (jars and bowls). Two trade amphoras respectively from Samos and Chios along with an Attic *floral band cup* date the deposit no later than 530 BCE (*CVA* Adria: Bonomi 1991). In the chambers, some elements shed light on the people buried in the tomb. In the left-side chamber, fragments of iron sandals and a scarab from Naukratis (Hölbl 1979, 142, tav. 95, 6-7; 96, 8-10; Gorton 1996, 96, fig. 20, 3 from Perachora, 98, 123-124) ensure that at least one woman was buried here; in the right-side chamber, a rare protome of a ram and a small paw both in bucchero belong to rare objects to interpret probably as special commissions for the tomb's owners.

M.Z.

3. The topographic survey project

The site's geomorphology is mainly characterized by extensive outcrops of so-called 'red lithoid tuff with black scoria', in which the Etruscan funerary landscape as well as the Roman and Medieval occupations phases were carved out. In the last century, the archaeological landscape was re-shaped by the agricultural exploitation, which intensified in the entire area after the Second World War (Scardozzi 2019, fig. 6). The changes occurred in the local landscape could clearly be deduced from the comparison between

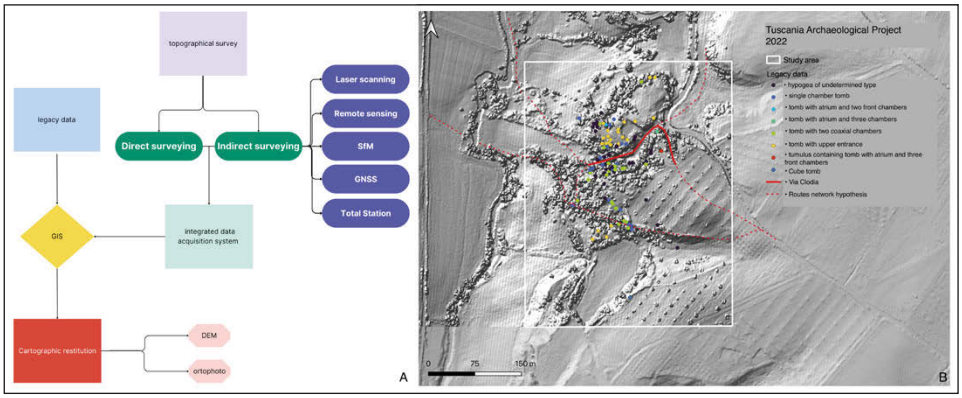


Fig. 5 – A) Diagram of the topographic data integration process; B) Sasso Pinzuto-Tuscania (in white): archaeological legacy data available for the site pletted on a topographic basis obtained from a 1 m LiDAR Composite DTM (2013, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del mare) in the GIS created for the project.

historical aerial photographs, satellite images and m1 Airborne LiDAR Data (ALD) obtained by the Italian Ministry of the Environment[1]. The latter one was visually interpreted using image blends of LiDAR visualizations (VAT method) based on in-house-generated digital terrain models carried out in the Digital Archaeological Mapping Lab (University of Naples) (Fontana 2022; Brancato *et al*. in press) (Fig. 5, A).

The archaeological research project at the site started in June 2021 with the topographical survey[2]. In the plan design phase, special attention was paid to the integration of different methods in terms of complexity, costs, and yield, both for the acquisition and visualization phases (Pansini *et al*. 2018; Brancato *et al*. 2023). Preliminarily, all new and legacy data were stored, annotated, georeferenced and vectorized in a Geographic Information System (GIS) platform (Bogdani 2020). As it is well known, GIS serves as a

[1] Acquired by the Italian Ministry of the Environment (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del mare) during the first phase of the Extraordinary Plan of Remote Sensing (Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale) between 2008 and 2013, the ALD are accessible as WMS through the Italian Geoportale Nazionale (https://gn.mase.gov.it/portale/servizio-di-consultazione-wms): Costabile, Cocco, Petriglia 2013; García Sánchez 2018.

[2] The paper presents the preliminary result of the on-site field workshop '3D Archaeology. Tecnologie e strumenti digitali per la conoscenza del paesaggio, 01.07.2022, Tuscania (VT)' organized by R. Brancato, A. Naso and M. Zinni, with the participation of G. Scardozzi (CNR-ISPC) and S. Amici (Leica Geosystems): the students (L. Ceruleo, C. De Simone, L. Fusco, G. Giorgio, G. Luongo, D. Moschetti, A. Neri, C. Pianese, O. Proietti) selected for the intensive course were actively engaged in all the activities, from data acquisition to data processing, yielding relevant and promising results (http://www.ssba.unina.it/?p=1283).

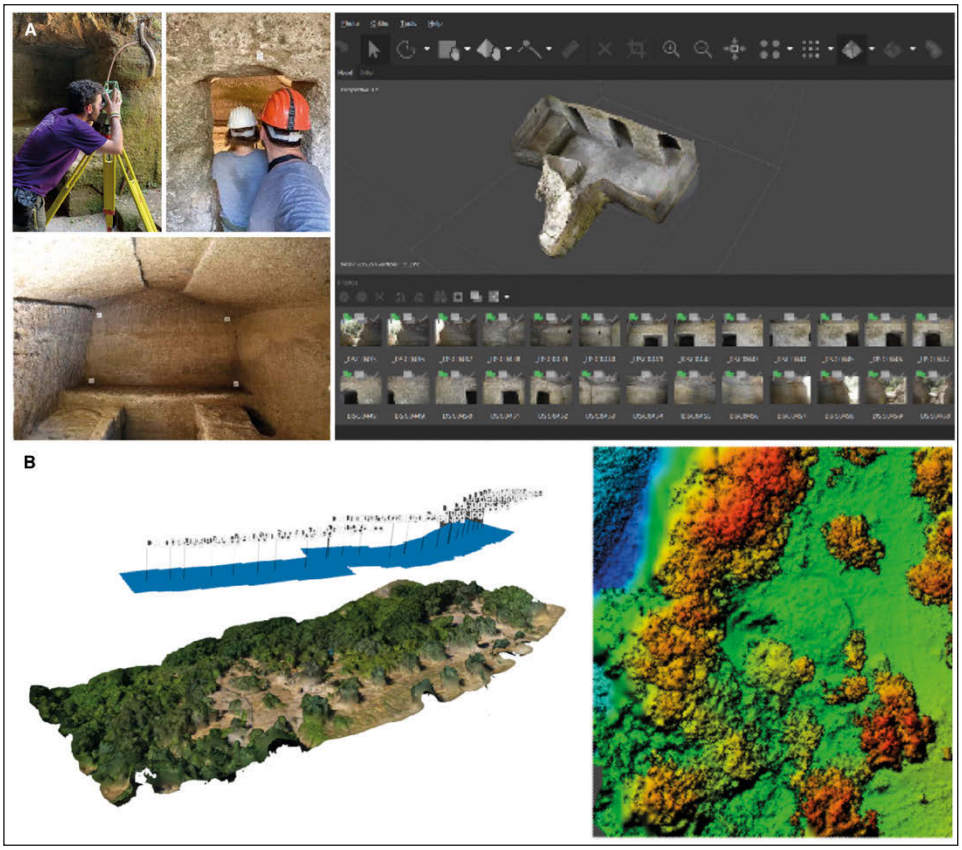


Fig. 6 – Sasso Pinzuto-Tuscania: workflow followed for SfM modelling: A) on-site photo capturing inside Tumulus 1, a snapshot of Agisoft Metashape software, showing the position of the images, photo alignment, and camera settings, the location of GCPs; B) UAS-Based Photogrammetry, photo alignment the Agisoft Metashape project, the dense point cloud and the DTM finally obtained (right).

digital platform that seamlessly integrates and visualizes archaeological data, aligning it with its topographic and semantic meaning (Fig. 5, B).

The digital topographic survey methods applied at Sasso Pinzuto were precisely calibrated to ensure efficient and high-quality documentation tailored for the technical analysis of archaeological structures. Given the complex multi-level layout along the southern slopes leading down to the 'via cava', coupled with dense vegetation coverage, a thorough survey approach was imperative for the execution of the planned activities.

In addition to the direct surveying of each tomb, a comprehensive digital topographical survey was planned for the entire area and the sectors involved

in the 2022 campaign (North Area, Fig. 3, A; South Area, Fig. 3, B), utilizing an integrated data acquisition system that included: 1) Structure from Motion (SfM) technology; 2) close-range remote sensing with unmanned aerial vehicles (UAVs); and 3) both static and mobile laser scanning. Indirect surveying was strategically planned to utilize conventional topographic instruments (Total Station, GNSS antenna)[3] to capture functional topographic points essential for cartographic restitution in archaeological research. Celerimetric survey operations were conducted in the area, leading to the establishment of an open-type topographic polygon. This choice was informed by the need to navigate the challenging visibility issues caused by dense vegetation on the *plateau's* summit, especially on the northern slope.

The instrumental survey was designed to produce high-resolution digital cartography for the entire site (geometric model) and to provide a topographical foundation for 3D models, addressing the needs of research, conservation, and enhancement within cultural heritage studies (Lock 2003; Moscati 2009; Ferdani *et al.* 2019). Multi-scalar 3D digital models were created – and integrated – in photogrammetry software platforms (Agisoft Metashape; Leica Cyclone) (Fig. 6, A). The digital images and 3D spatial data derived from photogrammetric processing were georeferenced using the WGS 84 UTM Zone 32N system (EPSG 32632). This was achieved through the identification in the images of Ground Control Points (GCPs) utilized for the placement of total station and precisely measured with the GNSS antenna. On the basis of the same GCPs, through the 'Georeferencing' plugin available in the cartographic software QGIS, each vector and raster file was then georeferenced and integrated as layers in the GIS platform.

Boths the tombs previously investigated and the new contexts unearthed during the 2022 campaign were documented using a digital camera (Sony α6000 with APS-C 24.3 MP). To maximize the documentation quality and definition, photographic surveying was conducted by an operator and, when necessary, using a calibrated telescopic pole. In order to understand the relationship between each individual tomb and the entire context of the Sasso Pinzuto necropolis, a comprehensive photogrammetric survey of the investigated area was also planned.

Proximity remote sensing of the entire area (ha 14,262) was carried out through systematic aerial surveys using a quadcopter drone, piloted by an operator (Fig. 6, B). Captured periodically throughout the project, the aerial imagery was integrated with the other topographic measures used for the survey project by recording the three-dimensional coordinates of the GCPs clearly identifiable in the aerial photographs. The proximally sensed data

[3] Total station TS03 5' R500 Leica; GNSS Leica FLX100.

were used for the creation of an ultra-high-definition digital model (1.2 cm per pixel), from which it is possible to extract not only photo plans but also an updated topographic base with 10 cm contour lines.

Across both micro (e.g., the chamber tomb) and macro (the necropolis area) scales, the 3D digital survey was carried out with students actively participating also in the data processing, which took place during the excavation campaign. Data collected at different scales were seamlessly integrated into a workflow designed to generate three-dimensional and two-dimensional models (Fig. 5). This process, based on the systematic application of SfM techniques, enables the extraction of orthophotos for plans and sections from the obtained Digital Elevation Models (DEMs) (Bezzi *et al.* 2010). Indeed, the multi-scalar 3D models produced allow for the extraction of digital objects that can be employed in archaeological topography across various scales of representation: these include comprehensive, detailed, and georeferenced orthophoto plans, sections, and axonometric projections.

R.B.

4. The laser scanner application

In Sasso Pinzuto, 3D laser scanning technology was tested through the so-called RC (Reality Capture) technology in both static (on a tripod) and dynamic (mobile) formats. Indeed, two different laser scanners were used: the static Leica BLK360, characterized by its compact dimensions (16×10 cm), making it suitable for confined scenarios such as hypogean contexts, and the mobile Leica BLK2GO, distinguished by its portability and the integration of SLAM-derived robotic technology (Simultaneous Localization and Mapping), IMU (Inertial Measurement Unit), and VIS (Visual Inertial System) platforms (Fig. 7). These sensors, collaborating within a dedicated GPU, enable the dynamic calculation of station coordinates. The scanning process starts on a passive base serving as the emanation center (x, y, z with a value of 0). The GRANDSlam, a combination of the three aforementioned sensors, continuously calculates the movement and changing position of the instrument's phase center, defining the 3D trajectory on which the coordinates of the 420,000 points/sec emitted by the on-board LiDAR are calculated. Additionally, three on-board low-resolution cameras capture a triad of photos used to directly color the 3D model with the recorded RGB value and enable the VIS calculation of the trajectory. The result is a cloud recognizable in a single setup, in a local reference system, identifying all points encountered along the performed (and estimated) 3D trajectory.

The resulting product of the scan is a set of points, formed by a cloud of x, y, z coordinates in a local reference system defined by the instrumental axes, with the emanation center corresponding to the rotating prism's

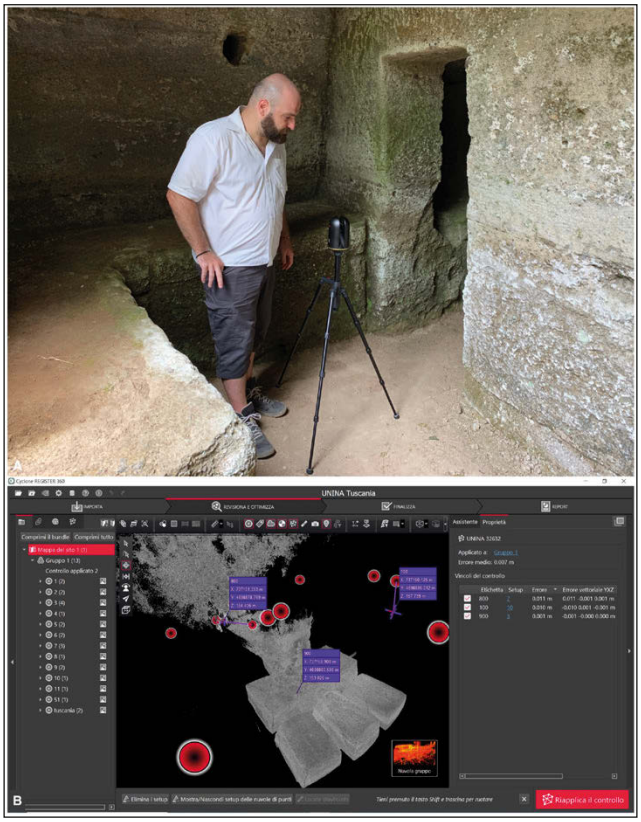


Fig. 7 – Tumulus 1, Sasso Pinzuto-Tuscania: A) setup 2 scanned with the BLK360G1; B) georeferencing by Gruppo Nuvola with GNSS and TPS measurements.

position. Reflectance is defined by a set of parameters calculated each time, as the laser return quantity is linked to various aspects such as the angle of incidence with the reflecting surface, temperature, color, detected material, albedo (the material's ability to reflect or absorb electromagnetic waves), humidity conditions, etc. Color information is acquired by on-board cameras, with varying resolution depending on the chosen model, calibrated to know the distortion and position values of the obtained equirectangular image, so it can be adapted to the spherical point cloud, coloring the geometric point according to the RGB value averaged from the photographic data.

In the case of the Tumulus 1 of Sasso Pinzuto, two phase modulation laser scanners were employed, which are very fast in the acquisition phase but adequately accurate for the survey's purposes. The static BLK360 laser

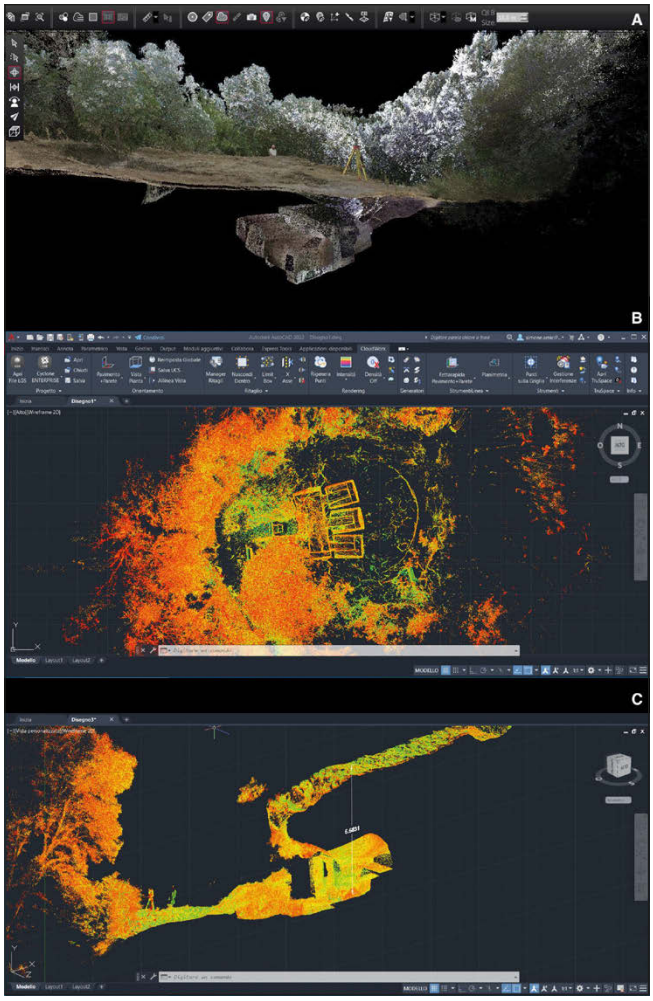


Fig. 8 – Tumulus 1, Sasso Pinzuto-Tuscania: A) Group Point Cloud deduced from static and mobile LS union; B) cloud data that can be vectorized within CAD software; C) section with height dimensioning between the walking surface of the central chamber and the external surface.

scanner was used inside the Tomba Incitti: 12 high-resolution setups (5mm @ 10m) with LDR photos were carried out, with an acquisition time of 4 minutes and 20 seconds for each scan. Scans covered the internal chambers (1 scan per chamber), the *atrium* (3 scans), the access *dromos* (2 scans), and what remains of the upper cap of the *tumulus* (4 scans), aiming to obtain

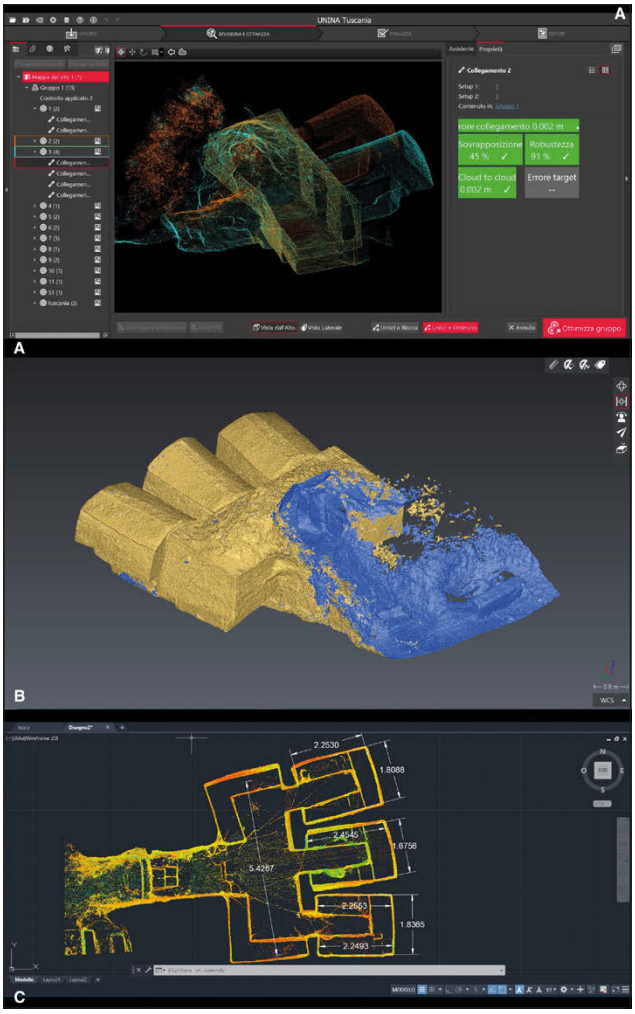


Fig. 9 – Tumulus 1, Sasso Pinzuto-Tuscania: A) registration process between two cloud setups; B) 3D modeling separately from the cloud data; C) point cloud dimensioning at 1:1 scale.

a single point cloud group for extracting geometric information useful for reconstructing plans, elevations, and sections of the investigated object. The three-dimensional data was also georeferenced according to the reference system by recognizing the topographic nails used for the positioning of the total stations from which the open framing polygon was derived, also duly measured using GNSS instrumentation (Figg. 7-8).

The closed and well-defined geometry of the Tomba Incitti was selected as a reference point for the mobile survey conducted with BLK2GO: once the instrument was initialized, by walking inside each desired geometry (internal chambers, *atrium*, *dromos*, upper cap of the *tumulus*, connecting path between the two areas of the necropolis, and South Area), it was possible to map this large portion of the necropolis in less than 10 minutes. After completing the acquisition work, the Cyclone Register 360 software was used to download and verify the obtained data: dynamic sections on the x, y, and z axes (slices) were used to verify the quality of the registration that did not require the use of targets for any of the phases, but only the real-time acquired point cloud data. The resulting survey is a blend of geometric data with very high accuracy, linked to photographic documentation that the current state of the locations at the time of the survey. The next step was to export a single 'frozen' cloud in the desired coordinate system, imported into the Cyclone 3DR modeling software (Fig. 9).

This program allowed not only the creation of a continuous mesh of the obtained geometric data (subsequently textured using equirectangular images directly obtained from the instrument) but also the comparison and analysis of geometric deviations (Δx, Δy, and Δz) recorded between point clouds (e.g., the same tomb acquired with static and mobile instrumentation), between clouds and meshes (to verify different triangulation parameters used), between meshes or polylines. The use of these different geometric natures – points, lines, and surfaces – opens a new field of application for Cultural Heritage that is still little practiced today, that of the so-called geomatic monitoring. Through laser scanner technology, it is equally possible to acquire a specific archaeological dataset, both in geometric and photographic terms, comparing and modeling it for knowledge as well as preservation purposes: through acquisition over time, perhaps following a defined programming, it will be possible to monitor the 'health' status of that Heritage, highlighting any critical areas and narrowing down the field to portions affected by wear or detachment, all simply by comparing point clouds or 3D models acquired at different times.

S.A.

5. Final remarks

The work at Sasso Pinzuto revealed once more how significant can be the research on sites known through rescue excavations and never systematically investigated. The re-opening and cleaning of chamber tombs explored by illegal excavators yielded valuable finds and gave new information about tomb architecture and decoration including wall painting. The new finds at Sasso Pinzuto help to define the cultural features of Tuscania



Fig. 10 – Tumulus 1, Sasso Pinzuto-Tuscania: A) spherical RGB image measurable with Point Cloud; B) equirectangular image extracted from the scanner for documentation purposes; C) point cloud group sectioned at the height of the funeral beds.

in 7th and 6th cent. BC and confirmed the local development of funerary cults inside the cemeteries areas. The cults are revealed by the clay slabs belonging originally to timber building(s). The plaques fragments are so distributed on the ground that one can hypothesize a deliberated destruction of the building(s), whose scanty rests have been further scattered by later agriculture activities.

Moreover, the research experience at Sasso Pinzuto did help in defining an efficient 3D integrated protocol for topographic digital data collection and revision in an archaeological site characterized by poor visibility, notable areal (both indoor and outdoor) development and complex geomorphology. In comparison to the so-called digital photogrammetric technology and SfM application, laser scanners prove to be superior in terms of quality regarding the obtained geometry. Indeed, a range-based sensor is better suited to replicate and record complex surfaces, such as excavated tombs. Additionally, this technological tool is the only one applicable in contexts completely devoid of natural light, such as underground scenarios. From a colorimetric perspective, however, highly valued by those working in the field of Cultural Heritage, the point cloud and the resulting texture obtained on the calculated mesh fall short in comparison to that computed through SfM procedures (Fig. 10).

As highlighted in the 2022 report activities, the team involved in the new topographical survey of the site was able to channel the best that each technology can offer within its work, from macro-to micro-scale. Indeed, in Sasso Pinzuto, the use of the most advanced methods of 3D acquisition and modeling allowed for the representation of archaeological features through the creation of digital models that combined the graphic representation capabilities of images (typically used for documentation) with the precision of topographic surveying. By adopting an integrated approach involving legacy data GIS integration, direct survey, digital photogrammetry and 3D laser scanning (Cardaci *et al.* 2013, 221-226), it was possible to obtain a high-definition three-dimensional multi-scale digital model of the whole area, from the entire cemetery to each chamber-tombs.

R.B., A.N.

Alessandro Naso, Rodolfo Brancato, Martina Zinni
Dipartimento di Studi Umanistici
Università degli Studi di Napoli Federico II
alessandro.naso@unina.it, rodolfo.brancato@unina.it, martina.zinni@unina.it

Simone Amici
Leica Geosystems Italia
simone.amici@leica-geosystems.com

REFERENCES

Bezzi A., Bezzi L., Ducke B. 2010, *Computer vision e Structure from Motion, nuove metodologie per la documentazione archeologica tridimensionale: un approccio aperto*, in G. De Felice, M.G. Sibilano (eds.), *ArcheoFOSS. Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del V Workshop (Foggia 2010)*, Bari, Edipuglia, 103-111.

Bogdani J. 2020, *Fieldnotes for the development and publication of open standards for the vectorisation of archaeologic and architectonic topographic legacy data*, in J. Bogdani, R. Montalbano, P. Rosati (eds.), *ArcheoFOSS XIV 2020: Open Software, Hardware, Processes, Data and Formats in Archaeological Research. Proceedings of the 14th International Conference*, Oxford, Archaeopress, 138-147 (https://www.archaeopress.com/Archaeopress/download/9781803271248).

Bonomi S. 1991, *Corpus Vasorum Antiquorum*, Italia LXV, Adria II, Roma.

Brancato R., Giacoppo F., Luongo G., Pianese C., Roccuzzo M.C., Scerra S. in press, *Osservazioni archeologiche e topografiche sull'insediamento d'altura nel territorio ibleo (Sicilia sud-orientale): il caso di Monte Casasia*, in *Hyblaea* II.

Brancato R., Lamanna C., Manganelli L., Mirto V. 2023, *Digital technologies and the archaeological topography of Castellito (Sicily): The reconstruction of a Roman villa*, «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 185-206 (https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.10).

Cardaci A., Gallina D., Versaci A. 2013, *Laser Scanner 3D per lo studio e la catalogazione dell'archeologia medievale: la chiesa di Santa Croce in Bergamo*, «Archeologia e Calcolatori», 24, 209-229 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=669).

Costabile S., Cocco S., Petriglia L. 2013, *Il nuovo piano straordinario di telerilevamento ambientale: esempio di sinergia tra amministrazione centrale e amministrazione locale*, in *Atti della 17° Conferenza Nazionale ASITA. Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (Riva del Garda 2013)*, New York, Springer, 491-494.

Ferdani F., Demetrescu E., Cavalieri E., Pace G., Lenzi S. 2019, *3D modelling and visualization in field archaeology. From survey to interpretation of the past using digital technologies*, «Groma», 4 (https://doi.org/10.12977/groma26).

Fontana G. 2022, *Italy's hidden hillforts: A large-scale Lidar-based mapping of* Samnium, «Journal of Field Archaeology», 47, 4, 245-261 (https://doi.org/10.1080/00934690.2022.2031465).

García Sánchez J. 2018, *Archaeological LiDAR in Italy: Enhancing research with publicly accessible data*, «Antiquity», 92, 364, 1-12 (https://doi.org/https://doi.org/10.15184/aqy.2018.147).

Gorton A.F. 1996, *Egyptian and Egyptianizing scarabs: A typology of steatite, faience and paste scarabs from Punic and other Mediterranean sites*, Oxford, Oxford University Committee.

Hölbl G. 1979, *Beziehungen der ägyptischen Kultur zu Altitalien* (Etudes préliminaires aux religions orientales dans l'Empire romain 62), Leiden, Brill.

Lock G. 2003, *Using Computers in Archaeology: Towards Virtual Pasts*, London-NewYork, Routledge (https://doi.org/10.4324/9780203451076).

Lo Schiavo F. 2010, *Le fibule dell'Italia meridionale e della Sicilia dall'età del Bronzo recente al VI sec. a.C.*, Stuttgart, Franz Steiner Verlag.

Moretti A.M., Ricciardi L. 1993, *Le terrecotte architettoniche di Tuscania*, in E. Rystedt, C. Wikander, Ö. Wikander (eds.), Deliciae Fictiles, *Proceedings of the first Iternational Conference on Central Italic Architectural Terracottas*, Stockholm, Åstroms, 163-181.

Moretti Sgubini A.M. 2018, *Una tomba infantile della necropoli di Sasso Pizzuto di Tuscania*, «Mediterranea», 15, 309-322.

Moscati P. 2009, *Archeologia e musealizzazione virtuale*, in A.L. D'Agata, S. Alaura (eds.), *Quale Futuro per l'Archeologia?*, Roma, Gangemi, 189-200.

Naso A. 2023, *Tombe a camera con atrio a tre celle: novità da Tuscania*, in R. Brancato (ed.), *Città e territorio nel Mediterraneo antico. Studi offerti a Edoardo Tortorici*, Roma, Quasar, 49-59.

Naso A., Zinni M., Brancato R., Carosi S. in press, *La necropoli di Sasso Pinzuto a Tuscania: campagna di scavo 2022*, in *Come Federico opera sul campo*, II, Roma, Quasar.

Pansini A., Alvaro C., Amici S., Bajeot J., Danesi G., Gerogiannis G.M., La Marca C., Liberotti G., Moscone D., Pizzoli E., Zinni M. 2018, *The 'Shape of Monuments' project: Traditional methods and new technologies in the Basilica of San Lorenzo Fuori le Mura, Rome*, in D. Spampinato (ed.), *Settimo Convegno Annuale AIUCD 2018 (Bari 2018). Patrimoni culturali nell'era digitale. Memorie, culture umanistiche e tecnologia, Book of Abstracts*, Bari, Associazione per l'Informatica Umanistica e la Cultura Digitale, 183-187.

Prayon F. 1975, *Frühetruskische Grab- und Hausarchitektur*, Heidelberg, Kerle Verlag.

Quilici Gigli S. 1969, *Per una tipologia delle tombe di Tuscania*, «Palladio», 19, 135-138.

Quilici Gigli S. 1970, *Tuscana*, *Forma Italiae VII.2*, Roma, De Luca Editore.

Scardozzi G. 2012, *La necropoli etrusca di Casale Galeotti a Tuscania: studio storico-topografico*, «ATTA», 22, 99-121.

Scardozzi G. 2019, *Gli ipogei della necropoli etrusca di Casale Galeotti (Tuscania): tipologie architettoniche e trasformazioni*, «Daidalos», 17, 81-128.

Sgubini Moretti A.M., Ricciardi L. 2004, *Testimonianze di Tuscania*, in A.M. Sgubini Moretti (ed.), *Scavo nello scavo. Gli Etruschi non visti. Ricerche e 'riscoperte' nei depositi dei Musei archeologici dell'Etruria meridionale*, Catalogo della mostra, Viterbo, Union Printing, 63-67.

Winter N. 2009, *Symbols of the Wealth and Power. Architectural Terracotta Decoration in Etruria and Central Italy, 640-510 B.C.*, Ann Arbor, The University of Michigan Press.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the results of the research undertaken through a series of on-site surveys (2021-2023) at the Sasso Pinzuto site, located approximately 1 km SE of Tuscania (Viterbo, Italy). Situated along the eastern side of the Marta river valley, the necropolis layout is little known but it is extensive, including ca. 100 rock-cut chamber tombs. The 2021-22 archaeological campaigns started with a new topographical survey of the site and investigated two areas conventionally defined the Northern and the Southern Area. In the Northern Area, specifically within the vicinity of Tumulus 1, fragments of mould-decorated architectural plaques from a building discovered. In the Southern Area, a small *plateau* about 90 m from the Northern Area, four burial graves (n. 126, 127, 128, 130) and two chamber tombs (125 and 129) were excavated. This study sheds light to the great potential of applying digital technologies for a new understanding of the Etruscan tombs. Indeed, by using various non-destructive prospecting methods (aerial photogrammetry, fieldwalking survey, architectural drawings), coupled with precise location using RTK GNSS, and integration of legacy data in GIS, the site underwent a comprehensive reexamination.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 407-426
doi 10.19282/ac.35.1.2024.25

DALLA REPLICA DIGITALE ALLA MODELLAZIONE INFORMATIVA. UN APPROCCIO SCAN-TO-BIM ALLA DOCUMENTAZIONE DEL MICROSCAVO E RESTAURO DELLA TOMBA 27 DI COLLE VACCARO (AP)

1. Introduzione

Lo scavo archeologico è un'azione prevalentemente distruttiva. Al fine della redazione della documentazione di scavo è però oggi possibile fare ricorso a consolidate filiere di acquisizione ed elaborazione digitale in grado di produrre un'accurata rappresentazione di ogni fase operativa (Delpiano 2021). Ciò costituisce non solo un utile strumento per l'analisi archeologica delle stratigrafie e dei singoli materiali restituiti (Zangrossi *et al*. 2019), ma anche un efficacie ausilio ai processi di conservazione (Garagnani, Gaucci 2020), nonché un importante supporto alle attività legate alla divulgazione dei risultati e alla valorizzazione dei contesti (Clini *et al*. 2022).

Quello della digitalizzazione, intesa come approccio complessivo alle proprie collezioni (Apollonio *et al*. 2021), rappresenta peraltro uno degli obiettivi prioritari della programmazione strategica prefissata dalla direzione del Museo Archeologico Statale di Ascoli Piceno, anche in linea con quanto disposto dal Piano Triennale di Digitalizzazione del Ministero della Cultura[1] (2019) e dai Livelli Uniformi di Qualità (LUQ) e obiettivi di miglioramento fissati dal Sistema Museale Nazionale. Per tale ragione ai fini della documentazione del microscavo delle tombe della necropoli di Colle Vaccaro (AP), progetto avviato grazie alla convenzione in essere tra Direzione Regionale Musei Marche e Istituto Centrale per il Restauro (ICR), si è scelto di collaborare con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura dell'Università Politecnica delle Marche per la definizione di un metodo finalizzato alla rappresentazione digitale delle fasi di scavo e dei reperti, basato su strumenti in grado di fornire un'accurata ricostruzione tridimensionale degli oggetti. Tale sperimentazione, condotta parallelamente al lavoro di studio e restauro sui materiali di corredo della tomba 27 della necropoli di Colle Vaccaro, ha permesso di individuare una metodologia efficace sia ai fini della documentazione, evidenziando enormi potenzialità dal punto di vista della ricostruzione dei dati utili all'indagine archeologica, sia ai fini della conservazione e del restauro e sia ai fini della valorizzazione del contesto, rappresentando una

[1] http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l'Innovazione-dei-Musei.pdf.

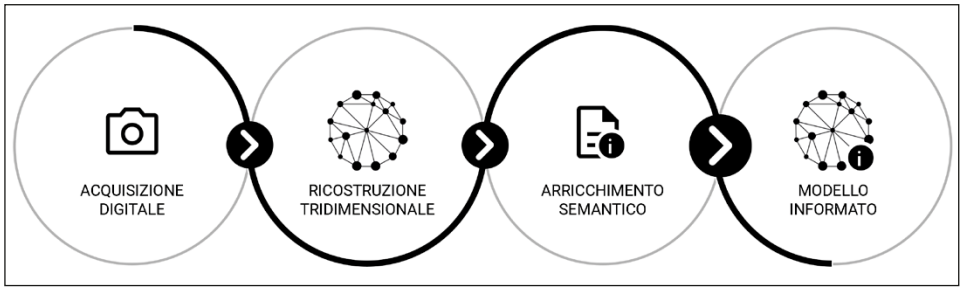


Fig. 1 – Schema del flusso di lavoro seguito per l'elaborazione delle repliche digitali informate.



Fig. 2 – Localizzazione del sito di Colli del Tronto (AP) (da Google Maps).

ottimale base di lavoro funzionale al racconto che accompagnerà la futura musealizzazione della tomba.

Il presente articolo descrive dunque un innovativo flusso di lavoro, applicato in particolare alla suddetta tomba: a partire dalla documentazione fotografica delle indagini di scavo e dei reperti, sfruttando le metodologie di fotogrammetria digitale, se ne sono ottenute delle accurate repliche digitali,

successivamente ottimizzate dal punto di vista geometrico e quindi informate sfruttando le potenzialità offerte da una piattaforma open source di BIM authoring, quale Blender con l'add-on BlenderBIM (Fig. 1). Tutti i dati utili ad una successiva fase di analisi storico-archeologica sono stati così fatti confluire nel modello, strutturando un vero e proprio archivio delle operazioni di scavo e di restauro, che potrà essere ulteriormente implementato ai fini della conservazione e valorizzazione della tomba e degli oggetti costituenti il corredo.

2. Il caso studio: la tomba 27 di Colle Vaccaro

La necropoli in località Colle Vaccaro costituisce una delle aree di sepoltura a servizio dell'abitato di Colli del Tronto (Figg. 2-3). Quest'ultimo, sorto a controllo dell'antico percorso di fondovalle del fiume Tronto, in



Fig. 3 – Necropoli picena di Colle Vaccaro. Panoramica dell'area di scavo, 1991 (foto Archivio Soprintendenza Archeologia Belle Arti Paesaggio delle Marche per le province di Ancona e Pesaro e Urbino).

corrispondenza della futura via Salaria (Lucentini 1987), vide un significativo sviluppo a partire dall'età del Bronzo recente, quando in località Casale Superiore si impiantò un abitato protostorico tra i più importanti della vallata, che con una estensione di 9 ettari sui versanti di una bassa collina (Lucentini 1991) fu frequentato sino all'VIII secolo a.C. In virtù della strategica posizione, il centro di Colli, all'incrocio col tratturo per la Valtesino e la Val Vibrata e forse vicino ad uno degli approdi fluviali sul Tronto, divenne a partire dalla piena età del Ferro, un importante centro di scambi e servizi. In coincidenza con l'abbandono dell'insediamento di Casale Superiore, le necropoli (Contrada Rocca, Case Bianche, Case Sparse, Colle Vaccaro), che, a partire dal VII-VI secolo a.C., si andarono formando disponendosi ad anello attorno al declivio del colle stesso e che furono utilizzate per tutta l'età arcaica, possono essere considerate un segno tangibile della concentrazione demografica favorita dalla particolare vitalità economica e commerciale dell'insediamento. Relativamente a queste necropoli, indagate per la maggior parte nel corso

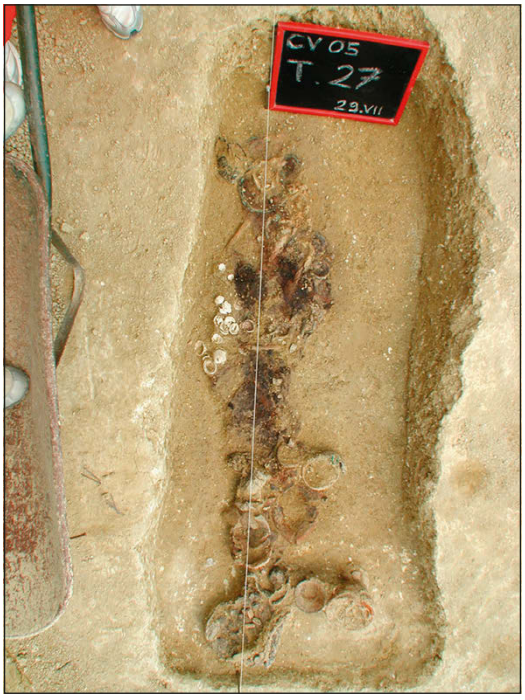


Fig. 4 – La tomba 27 di Colle Vaccaro ancora *in situ* (foto Archivio Soprintendenza Archeologia Belle Arti Paesaggio delle Marche per le province di Ancona e Pesaro e Urbino).



Fig. 5 – Pane di terra della tomba 27 di Colle Vaccaro presso il Museo Archeologico di Ascoli Piceno individuata come caso di studio.

dell'800, le informazioni sono scarse e frammentarie e i materiali confluiti nelle collezioni dei Musei di Ascoli, Offida, Como e al Pigorini di Roma. Una documentazione completa è, altresì, quella di cui disponiamo per la necropoli in località Colle Vaccaro.

La necropoli ricade in un'area lottizzata e venne identificata nel 1989 a seguito di lavori in via delle Vignali a Colle Vaccaro, in occasione dei quali le indagini condotte dall'allora Soprintendenza Archeologica delle Marche tra il 1989 e il 1997 misero in luce una serie di 8 sepolture (Lucentini 1999). Le indagini proseguirono poi fino al 2005, scoprendo una necropoli caratterizzata da 31 tombe ad inumazione (Lucentini 2002). La particolare complessità del contesto di scavo, data dalle condizioni conservative delle sepolture e dei corredi e dal fatto che le tombe erano impostate su di un'area di paleofrana e, quindi, su di un terreno particolarmente instabile che aveva già in alcuni casi determinato lo scivolamento a valle delle tombe stesse, determinò la decisione di procedere al taglio e all'asportazione dei blocchi di terra contenenti le sepolture. I blocchi furono pertanto immagazzinati nei depositi della Soprintendenza e del Museo Archeologico di Ascoli Piceno con l'intento di procedere al microscavo, allo studio e alla musealizzazione dei contesti, avvenuto negli anni successivi per 5 delle 31 tombe (tombe 1, 2, 6, 14, 31), i cui corredi furono allestiti ed esposti nella sezione picena del Museo di Ascoli.

Grazie all'accordo stipulato con l'ICR, nel 2021 sono riprese le indagini. Il lavoro di censimento, acquisizione e studio dei dati di archivio relativi allo scavo *in situ* è ancora in corso e non ha, purtroppo, ad oggi ancora consentito l'identificazione di una planimetria generale della necropoli con posizionamento di tutte le singole tombe. L'individuazione della tomba

27 come caso di studio è stata determinata dalle condizioni conservative particolarmente critiche mostrate dal pane di terra che, all'indomani della asportazione, era già stato oggetto di un primo parziale intervento di scavo in laboratorio a seguito del quale alcuni degli oggetti di corredo erano stati rimossi, mentre altri rimanevano *in situ* in parte esposti a condizioni microclimatiche non ottimali (Figg. 4-5).

Le operazioni di scavo, dirette e coordinate da S. Cingolani e da A. Di Giovanni per l'ICR, sono state concluse nel settembre 2021, mentre le operazioni di restauro e l'analisi dei dati sono ancora in corso. Ciò implica che, al momento, possono essere avanzate solo poche considerazioni di carattere estremamente preliminare in attesa delle analisi paleoantropologiche, dei dati restituiti dalla flottazione e dall'analisi di eventuali altri resti organici individuati e dello studio dei numerosi elementi di corredo che potrà essere completato solo successivamente alle operazioni di consolidamento e restauro di tutti gli elementi. Allo stato attuale siamo in grado di affermare sulla base dei pochi resti organici individuati che l'età al decesso del defunto, sulla base di una prima analisi autoptica degli elementi dentari, è verosimilmente ipotizzabile intorno ai 5-7 anni, mentre sulla base della tipologia e della quantità di corredo pare desumibile il sesso femminile dell'individuo.

La giovane defunta, quindi, risultava deposta su di un fianco e rivestita dei suoi ornamenti, molti dei quali di tipologia ricorrente nelle altre tombe indagate della necropoli, mentre in corrispondenza del capo e dei piedi si trovava il corredo ceramico. Tra i materiali relativi a quest'ultimo, si segnala la presenza di tipi ceramici tradizionali della produzione picena, tra i quali olle in ceramica di impasto, *pocula* monoansati con bugne, tazze monoansate. La defunta indossava orecchini a cerchio in bronzo con vago in ambra, braccialetti e alcuni *torques* in filo di bronzo, mentre numerose perline in ambra e pasta vitrea sono state rinvenute in corrispondenza del collo e del petto. Forse tra le mani doveva reggere una collana composta da circa 15 valve di conchiglie marine. Tra i numerosi ornamenti deposti sul busto, si segnalano elementi tipici e ricorrenti all'interno della necropoli, tra i quali una grossa fibula ad arco ondulato e decorato con la tecnica dell'agemina e staffa trifida tipo Montedinove, un pendaglio costituito da un dente di cinghiale rivestito di bronzo e numerosi pendenti a bulla. Si segnala anche un grande pendaglio caratterizzato dalla presenza di una piastra trapezoidale in ferro e bronzo dalla quale si dipartono lunghe catenelle, a cui sono probabilmente riferibili pendenti di foggia ancora da individuare. La posizione dell'oggetto indurrebbe ad ipotizzare che esso non fosse indossato al collo quanto piuttosto utilizzato per ornare la veste o un mantello. La tipologia, attestata a Belmonte, Montegiorgio, Ripatransone, Cupramarittima, è probabilmente riferibile ad una produzione di ambito locale (Coen-Seidel 2009-2010, 185; Weidig 2017, 137, cat. 54). Risulta attestato anche in altri corredi della necropoli,

come ad esempio nella tomba 1, un pendaglio in bronzo a forma di *oinochoe* miniaturizzata, tipologia di ampia diffusione nel medio versante adriatico nel VI secolo a.C. Si segnala, tra i pendagli, anche la presenza di numerosissime bulle bivalvi in lamina bronzea.

S.C.

3. Il contesto della sperimentazione: il cantiere didattico ICR

Il microscavo può essere definito come «la serie di operazioni di scavo stratigrafico e conservazione che si effettuano in laboratorio sui reperti contenuti in una porzione di deposito archeologico asportata in blocco dal terreno di giacitura. Si tratta di un'operazione complessa nella quale i principi della stratigrafia archeologica si coniugano con le esigenze conservative e l'applicazione di metodologie scientifiche» (De Palma *et al.* 2013). Partendo da questa definizione, che in poche righe evidenzia la totalità e complessità delle operazioni che si svolgono durante il microscavo, appare chiaro come nella formazione di un restauratore, specializzato in materiale archeologico, si tratti di un momento di apprendimento prezioso.

Generalmente, il prelievo di interi blocchi di terreno contenenti manufatti viene eseguito per quelle situazioni che presentano una complessità tale da non poter assolutamente essere affrontate durante lo scavo archeologico: si tratta dunque di reperti che sono sovrapposti in livelli articolati e che si caratterizzano per essere formati da numerosi elementi, spesso di piccole dimensioni, a volte dislocati dalla posizione iniziale perché originariamente applicati e tenuti insieme da substrati di origine organica (tessuti, cuoio, legno, etc.), che purtroppo per la loro stessa natura non si sono conservati o se n'è conservata solo una traccia. Le operazioni di microscavo, prelievo e restauro dei manufatti sono necessariamente sempre accompagnate e supportate dalla documentazione della situazione attuale, con la finalità di non perdere alcuna informazione che potrà dunque all'occorrenza essere anche analizzata e studiata in un momento successivo, finalizzato, ad esempio, alla comprensione della connessione dei vari reperti tra loro e alla ricostruzione della originaria posizione di giacitura dei manufatti (Delgado Llata 2022). Le operazioni di microscavo e recupero presuppongono inevitabilmente la rimozione di strati e con questi dei reperti e dei dati in essi contenuti, con l'intento di garantirne la conservazione e la trasmissibilità futura. Appare dunque evidente l'importanza di registrare tutte le informazioni, ragione per cui tutti i microscavi effettuati dall'ICR sono condotti accompagnando sempre la tecnica di scavo stratigrafico alla registrazione continua e aggiornata dei livelli, con un'accurata documentazione fotografica, grafica e testuale, come nel caso della sepoltura 27 dalla necropoli di Colle Vaccaro, oggetto del cantiere didattico per il Percorso Formativo Professionalizzante 4 (PFP4) dell'ICR nel settembre 2021.

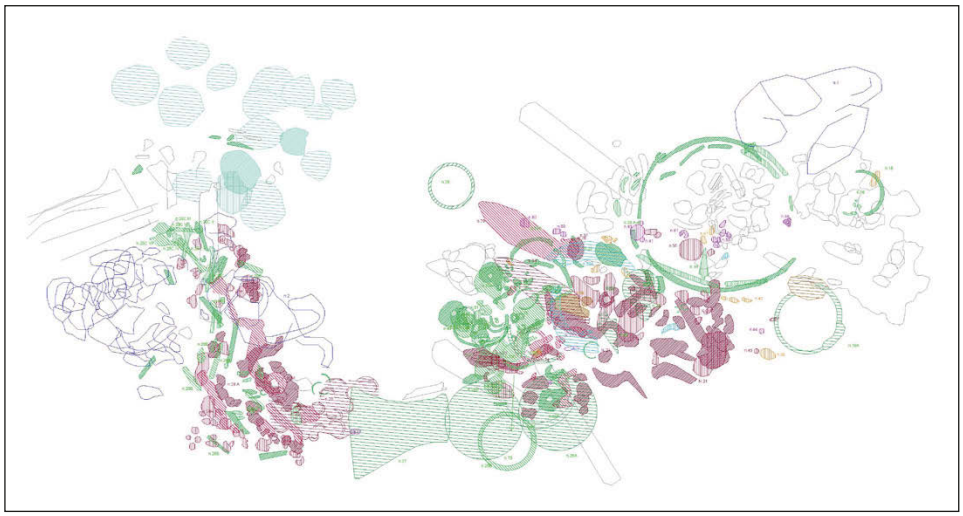


Fig. 6 – Rilievo degli oggetti del corredo nel corso del microscavo.

Da sempre il PFP4 dell'ICR dedica una parte della didattica all'insegnamento delle tecniche di microscavo, preferibilmente attraverso l'allestimento di un cantiere didattico che consente agli studenti di occuparsi di questa delicata tematica. Nel corso dell'attività di microscavo sono stati realizzati rilievi 1:1 (Fig. 6) e riferimenti (punti fissi sul piano di lavoro) per poter procedere al recupero graduale degli elementi conservati nel pane di terra e al loro riposizionamento sul grafico, individuando così varie tipologie di materiali costitutivi, quali ceramiche, oggetti in ferro, in bronzo, ma anche piccole paste vitree e ambre. In tal modo sono stati identificati tre principali livelli di sovrapposizione dei reperti e le allieve, con il supporto degli esperti dell'Università Politecnica delle Marche, hanno eseguito l'acquisizione delle immagini fotografiche finalizzate alla ricostruzione tridimensionale dei suddetti strati.

Nella tomba 27 sono stati rinvenuti numerosi reperti di piccole dimensioni, soprattutto vaghi di ambra e pasta vitrea nella zona del collo, ma anche complesse catenelle in ferro con pendenti in bronzo all'altezza del bacino. La difficoltà maggiore è consistita proprio nel mettere in relazione tutti questi elementi: a seguito di probabili collassi avvenuti durante la fase di giacitura e della perdita dei supporti in materiale organico, quali vesti e stoffe, tali manufatti si presentavano in modo disordinato e confuso. Tutti i reperti prelevati sono stati dunque documentati, registrati e singolarmente restaurati, avendo cura di mantenerli sempre nella posizione originale di rinvenimento attraverso l'uso dei rilievi 1:1 e delle foto. In questi contesti,

unitamente agli studi archeologici, le restituzioni tridimensionali rivestono infatti un ruolo fondamentale nel comprendere la relazione che intercorre tra i vari elementi, costituendo altresì un valido ed efficace strumento di documentazione e valorizzazione: il rilievo tridimensionale consente di posizionare esattamente i reperti anche in base alle quote, agevolando la ricostruzione a livello conservativo ed espositivo di oggetti particolarmente complessi, come nel caso dei numerosi pendagli presenti nella tomba 27 e delle catenelle ad essi collegati.

F.A., L.S., A.D.G., R.B.

4. Tecniche fotogrammetriche per la documentazione delle fasi di microscavo e dei reperti

Nell'ambito di uno scavo stratigrafico, la documentazione di tutte le caratteristiche dei manufatti, delle singole stratigrafie e delle relative informazioni, metriche e non solo, prima che queste subiscano una modifica da parte degli archeologi, assume un ruolo fondamentale nel garantire l'acquisizione di ogni tipo di dato utile sia nella fase di ricerca che nel processo interpretativo (Arrighetti, Pansini 2022b). Nell'ambito del microscavo della tomba 27 di Colle Vaccaro, si sono dunque acquisite per ciascuna fase di lavoro immagini fotografiche finalizzate alla loro documentazione tridimensionale, seguendo un flusso di lavoro ormai consolidato (Garagnani 2021). Gli scatti sono stati realizzati utilizzando una fotocamera Sony a6500, impostando la lunghezza focale a 32 mm e illuminando il pane di terra con 2 pannelli led in posizione fissa. Eseguendo l'acquisizione a 1 m di distanza dal soggetto, 24 immagini sono risultate necessarie per ottenere un'adeguata sovrapposizione tra scatti immediatamente successivi. Al fine di garantire la fedeltà cromatica della rappresentazione digitale, un ColorChecker Classic X-Rite è stato inserito nella scena per un singolo scatto, successivamente utilizzato per generare il profilo colore da applicare alle altre immagini.

I diversi scatti, memorizzati in formato "grezzo", sono stati quindi processati in Adobe CameraRaw, editandone il bilanciamento del bianco e il profilo colore, e salvati in formato compresso. Si è poi proceduto alla ricostruzione tridimensionale in Agisoft Metashape, eseguita per set di immagini relative ad una stessa fase di microscavo, seguendo il flusso di lavoro standard previsto dal software: allineamento delle immagini, inserimento dei marker, come riferimento metrico e per l'ottimizzazione dell'allineamento precedentemente ottenuto, generazione della nuvola di punti densa e da questa del modello mesh (highpoly). Quest'ultimo output è stato quindi successivamente processato in Meshlab al fine di eliminarne gli errori topologici, chiudere eventuali buchi e quindi procedere all'operazione di retopology, finalizzata ad ottenerne una seconda versione a mesh quadrate

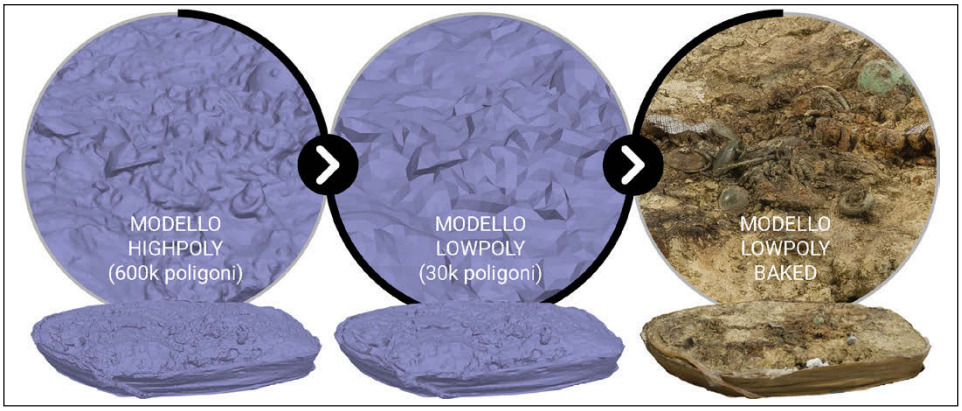


Fig. 7 – Step principali nel processo di elaborazione della replica digitale di una delle fasi di scavo.

e ridotta nel numero di poligoni (lowpoly). Dei due modelli elaborati si è poi eseguito lo UV unwrapping in Blender e la versione highpoly è stata quindi nuovamente importata in Agisoft Metashape per la generazione della texture fotografica. Infine, per garantire al modello lowpoly la medesima resa visiva di quello highpoly, si sono eseguite le operazioni di normal e diffuse baking (Fig. 7).

Il medesimo processo di documentazione è stato quindi applicato ad alcuni reperti, integrandolo in questo caso con la tecnica del focus stacking al fine di garantire un adeguato livello di dettaglio nonostante le ridotte dimensioni degli oggetti (Clini *et al.* 2016). Ciascuno dei reperti presi in esame è stato posizionato su di un piatto rotante, riportante sulla sua superficie dei target a distanza nota e posto all'interno di un softbox illuminato da due pannelli led posti al suo esterno. Le immagini sono state acquisite utilizzando una fotocamera Sony α9 dotata di obiettivo macro a distanza focale fissa 90 mm e montata su di un cavalletto fotografico posto a 35 cm dal soggetto. Impostato l'angolo di rotazione del piatto pari a 30°, definite 4 diverse altezze di ripresa e individuati 5 punti di messa a fuoco per ciascuna di esse, un totale di 240 immagini sono state acquisite per ciascun reperto, oltre ad un singolo scatto relativo al colorchecker (Fig. 8). Le immagini, suddivise per reperto, sono state quindi processate in Adobe CameraRaw e, utilizzando il software Helicon Focus, per ciascun set di foto corrispondente ad una medesima posizione di acquisizione, ma differente punto di messa a fuoco, si è proceduto alla fusione in un'unica immagine. Si è infine eseguito il processo di ricostruzione tridimensionale secondo il medesimo flusso di lavoro già descritto per le fasi di microscavo.

R.A., P.C.

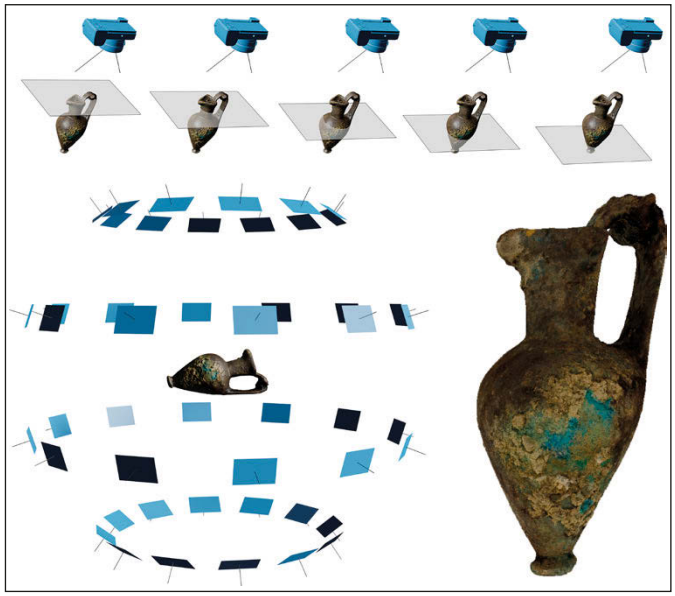


Fig. 8 – Piani di messa a fuoco e postazioni di ripresa per la replica digitale di un pendaglio a forma di *oinochoe*.

5. Un modello informato per la documentazione e la fruizione virtuale dei dati di scavo

I modelli tridimensionali delle diverse fasi operative e dei reperti hanno quindi costituito il punto di partenza per la strutturazione di un archivio digitale del microscavo basato su un approccio di modellazione informata: l'idea base è stata quella di mutuare i vantaggi peculiari del Building Information Modeling (BIM), garantendo l'arricchimento informativo precipuo per il caso di specie. Numerosi lavori di ricerca (Licheri 2016; Bosco *et al.* 2019) hanno sperimentato l'applicazione di tale metodologia in ambito archeologico, evidenziando come l'efficacia di tale processo dipenda dalla possibilità di una corretta rappresentazione degli oggetti reali, basata su rilievi 3D (Centofanti *et al.* 2016) e dall'associazione di dati derivanti dall'analisi diretta dei manufatti, nonché dalla conoscenza di testi antichi e tecniche di realizzazione. Coerentemente a tale considerazione (Scianna *et al.* 2020) individua tra i principali aspetti da valutare nell'ambito della rappresentazione il livello di dettaglio di un oggetto BIM, definito dalla normativa italiana (UNI 11227:2017) come livello di sviluppo (Level Of Development, LOD). Il LOD viene in particolare riferito a due componenti: il livello di geometria (Level Of Geometry, LOG), prettamente attinente alla rappresentazione

grafica dell'oggetto, e il livello di informazione (Level Of Information, LOI), riferito alle informazioni semantiche ad esso associate. In Maiezza 2019, partendo dai concetti di LOG e LOI, vengono proposti per il patrimonio storico due livelli di affidabilità: il livello di accuratezza (Level of Accuracy, LoA), dipendente dall'accuratezza geometrica, e il livello di qualità (Level of Quality, LoQ), riferito ai contenuti informativi associati a ciascun oggetto. LoA e LoQ permettono insieme di definire quindi il livello di affidabilità complessivo della rappresentazione (Level of Reliability, LoR).

Alcuni degli studi fin qui citati hanno inoltre sottolineato come l'approccio BIM, in origine pensato per le nuove costruzioni (Eastman *et al.* 2008), così come quello HBIM, oggi diffusamente applicato all'architettura storica (Gigliarelli *et al.* 2022; Mammoli *et al.* 2022), non si adattino in maniera ottimale all'ambito archeologico. In Garagnani *et al.* 2016 si è quindi coniato il termine ArchaeoBIM, per definire un processo di gestione delle informazioni attraverso modelli analitici integrati, declinato specificatamente alla ricostruzione archeologica. La modellazione parametrica viene anche in questo caso realizzata tramite software di BIM authoring (Autodesk Revit) dichiaratamente sviluppato per la progettazione di nuove costruzioni. In Garagnani 2021 lo stesso metodo viene consolidato, concentrandosi in particolare sulla generazione di modelli ricostruttivi di architetture completamente o in parte perdute. In Bosco *et al.* 2021, il medesimo software viene utilizzato come strumento di modellazione nell'ambito di un workflow per la generazione di un Archaeological BIM (ABIM) finalizzato allo studio, utilizzo e conservazione di un sito archeologico. In tale progetto la modellazione parametrica viene eseguita sulla base di una nuvola di punti ottenuta da immagini acquisite tramite drone, utilizzandone il dato tridimensionale unicamente come strumento per la costante verifica dei modelli manualmente generati. In Pepe *et al.* 2021, la rappresentazione "scan to BIM" è invece realizzata attraverso un'innovativa procedura basata su strumenti forniti da diversi software di modellazione tridimensionale non parametrica e finalizzata all'implementazione in ambiente GIS.

L'approccio proposto per il microscavo della tomba 27 di Colle Vaccaro segue quest'ultima impostazione, non prevedendo un'ulteriore modellazione in ambiente BIM, bensì esclusivamente l'arricchimento semantico dei modelli elaborati tramite il processo di ricostruzione fotogrammetrica precedentemente descritto. A tal fine, le rappresentazioni tridimensionali in formato non parametrico sono state importate in Blender, dove, utilizzando l'add-on BlenderBIM, è stato possibile associare loro diverse informazioni secondo lo standard IFC. *In primis*, il sito di provenienza del pane di terra è stato rappresentato tramite un elemento privo di geometria (empty) attribuito alla classe IFCSite, di cui sono stati valorizzati i campi relativi al nome, alla descrizione, alla tipologia e alle coordinate geografiche e a cui è stato associato come documento allegato la relativa scheda dell'ICCD. Dopo un'attenta

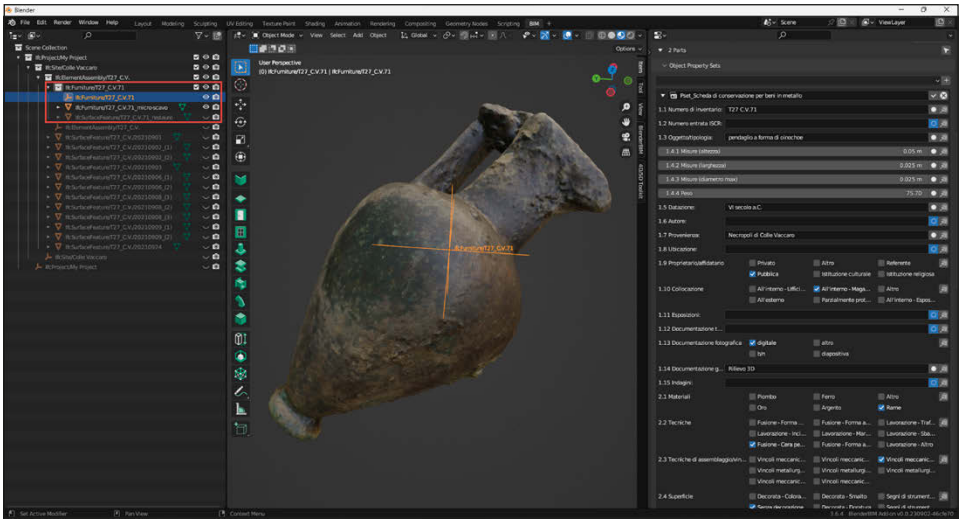


Fig. 9 – Visualizzazione del progetto in ambiente BIM. A sinistra, la struttura definita per il singolo reperto, al centro visualizzazione del modello 3D, a destra il property set riportante le informazioni della scheda per la conservazione dell'oggetto.

analisi delle diverse classi IFC disponibili, si è deciso di attribuire il pane di terra alla classe IFCElementAssembly, associata anche in questo caso ad una empty, valorizzandone i campi relativi a nome, descrizione e tipo di oggetto. Il modello 3D relativo a ciascuna delle fasi di lavoro del microscavo è stato invece assegnato alla classe IFCSurfaceFeature.

Appartenendo a 3 diversi livelli della medesima unità stratigrafica, i 12 modelli del pane di terra sono stati quindi raggruppati in 3 coerenti IFCGroup e riferiti all'IFCElementAssemby precedentemente definito in qualità di suoi aggregates, risultando in tal modo tutte le fasi di lavoro del microscavo raccolte all'interno della medesima collection. A ciascuna di esse è stato quindi associato un ID di riferimento e l'informazione temporale relativa all'avvio e al termine delle sue operazioni di scavo, nonché l'indicazione degli operatori coinvolti. Per quanto inerente ai reperti, seguendo il medesimo approccio, si è generata una empty che è stata quindi assegnata alla classe IFCFurniture valorizzandone il campo riferito al nome con il rispettivo numero di inventario e definendone la tipologia di oggetto (i.e., pendaglio). In aggiunta a ciascuna empty è stato associato un elenco di valori personalizzato (IFCCustomPropertySet) riportante tutte le informazioni proprie della scheda di conservazione dell'oggetto come redatta dalle studentesse e verificata dalle docenti dell'ICR. Le repliche realizzate relative alla fase di scavo sono state associate alla classe IFCFurniture, mentre quelle successive al restauro sono

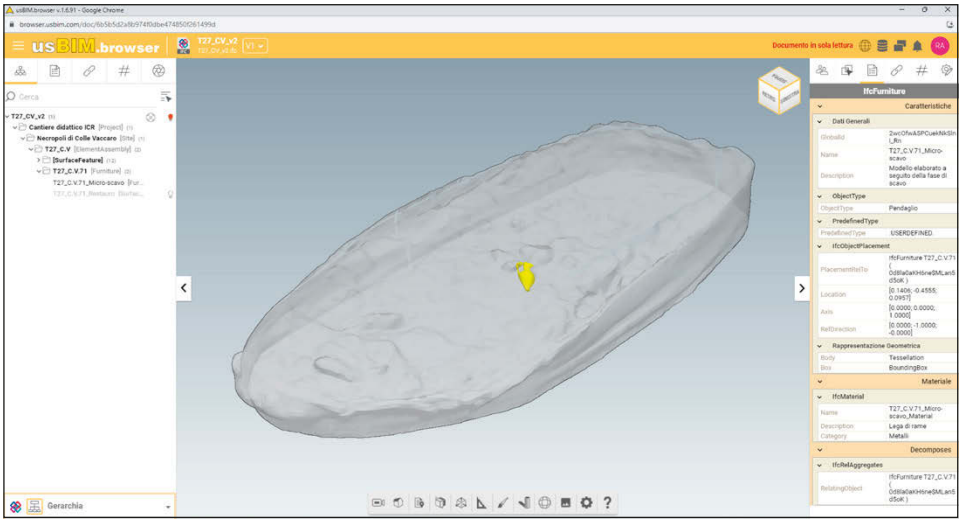


Fig. 10 – Visualizzazione del progetto nella piattaforma di condivisione IFC usBIM.browser. Modello di fase di scavo e in evidenza modello di reperto a questa associato.

state associate alla classe IFCSurfaceFeature. Entrambi i due oggetti sono stati individuati come aggregates dell'oggetto IFCFurniture definito in fase iniziale dalla empty (Fig. 9). Infine, i diversi materiali caratterizzanti i reperti sono stati associati alla classe IFCMaterial e potranno essere ulteriormente dettagliati in ragione delle informazioni derivanti dalle indagini fisico-chimiche che saranno in futuro condotte.

Dalla struttura gerarchica finale del progetto IFC risultano chiare le relazioni tra i diversi oggetti: un'istanza IFCSite, il sito archeologico della necropoli di Colle Vaccaro, seguita da un'istanza IFCElementAssembly, la tomba 27, infine, al livello più basso, le istanze IFCFurniture, relative a ciascun reperto archeologico. Ai fini della visualizzazione, per facilitare la lettura e l'individuazione dei diversi oggetti, si sono inoltre definiti degli IFCLayer distinti per tipologia di reperto.

L'utilizzo dello standard IFC, formato file neutrale e aperto, permette infine di condividere facilmente tali dati anche tramite soluzioni online completamente gratuite, offrendo così un'efficacie e agile soluzione per la consultazione e l'integrazione dei dati da parte di studiosi e ricercatori, un aspetto considerato fondamentale nell'ambito della presente ricerca. In particolare, si è deciso di utilizzare la piattaforma gratuita usBIM.browser. Una demo del progetto IFC relativo al microscavo della tomba 27, riportante le 12 fasi di scavo documentate e un singolo reperto archeologico, è stata quindi caricata online, offrendo la possibilità di visualizzare, integrare e modificare i dati a

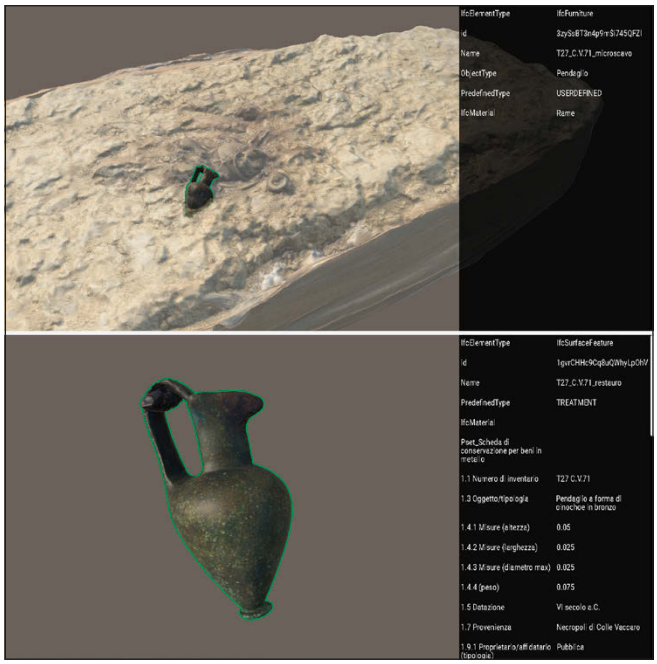


Fig. 11 – Visualizzazione e interazione con il progetto IFC sviluppate in Unity. Sopra, pendaglio a forma di *oinochoe* nell'ambito della fase di microscavo associata al rinvenimento; sotto, il reperto dopo il restauro.

seconda del ruolo assegnato all'utente. L'esportazione del progetto IFC dal contesto software di Blender ha indotto però la perdita dell'UV unwrapping e delle texture associate ai modelli tramite materiali PBR (Photorealistic Based Render). Ricorrendo al visualizzatore utilizzato, o ad altri della medesima tipologia, i modelli vengono così visualizzati di un singolo colore, come definito dalla proprietà IFCStyle (Fig. 10). Al fine di ovviare a tale problematica, si è quindi deciso di sviluppare un visualizzatore dedicato, ricorrendo al motore grafico Unity. Tale ambiente di sviluppo, grazie all'utilizzo del plugin IFCImporter, ha reso possibile lo sviluppo di un visualizzatore che permette di esplorare tridimensionalmente i diversi modelli, impostarne la visibilità, e mostrarne i diversi set di informazioni associati, offrendo un'interazione analoga a quella proposta dai visualizzatori IFC disponibili online. Grazie alle potenzialità del motore grafico utilizzato si è però reso possibile rintrodurre le informazioni legate all'UV unwrapping e alle texture, garantendo nuovamente la visualizzazione fotorealistica dei modelli (Fig. 11).

R.A., R.Q.

6. Conclusioni e sviluppi futuri

Il presente lavoro di ricerca ha messo in evidenza la versatilità della rappresentazione informata nella documentazione del patrimonio archeologico, estendendone l'applicazione dall'ambito prettamente architettonico a quello dalle operazioni di scavo e di restauro. In particolare, si è dimostrata l'efficacia di strumenti propri della metodologia BIM anche per una documentazione esaustiva delle fasi di scavo e delle azioni volte alla conservazione di reperti di tipologia differente. Si è così strutturato un sistema informativo completo, in grado di assicurare la gestione di diverse informazioni semantiche riferite all'intero sito così come ai suoi singoli reperti, evitando quella dispersione di conoscenza che spesso ricorre in ambiti come questo caratterizzati dalla collaborazione di diverse discipline. La scelta di un approccio BIM ha infatti permesso un'efficace integrazione di rappresentazioni tridimensionali e informazioni di diverso tipo, consentendo in fase di scavo agli archeologi di documentare in modo accurato e dettagliato i diversi livelli del pane di terra e i suoi reperti; successivamente, al restauratore di integrare con ulteriori rappresentazioni e informazioni legate al loro processo di conservazione. Si è quindi generata una rappresentazione 4D tanto del pane di terra, nelle sue diverse fasi di scavo, quanto dei suoi reperti, come rinvenuti e dopo il restauro, cui sono state ulteriormente associate informazioni legate agli aspetti conservativi. Un modello che, inoltre, offre un'esatta rappresentazione della originale distribuzione dei reperti, conservando memoria delle loro relazioni spaziali; un aspetto che in ambiti analoghi può giocare un ruolo fondamentale per la valutazione dell'evoluzione nel tempo del sito archeologico.

Il flusso di lavoro proposto ha poi permesso di ovviare alle limitate possibilità di modellazione tridimensionale in ambiente BIM, pensata per nuove costruzioni in ambito edilizio che, come già evidenziato in altri studi, mal si concilia con le esigenze di rappresentazione di siti archeologici. Un aspetto peraltro in contrasto con la sempre maggiore disponibilità di soluzioni in grado di generare in maniera semi-automatica repliche digitali caratterizzate da un altissimo livello di accuratezza geometrica e colorimetrica. Il flusso di lavoro proposto ha offerto dunque una possibile soluzione per sfruttare appieno tali potenzialità, partendo dall'elaborazione di modelli non informati, quindi informati come istanze IFC. Un processo che ha previsto l'unico compromesso di generare modelli lowpoly, necessari per facilitarne la condivisione web-based e la visualizzazione, ma che ha comunque permesso di raggiungere un elevato LoA senza ricorrere a lunghi processi di modellazione manuale tramite software di BIM authoring.

Per quanto riguarda invece le informazioni semantiche associate alle istanze IFC, il presente processo è stato strutturato a partire dalle classi

predefinite e dalle relative definizioni. Un IFCSite è in particolare definito come un sito che può essere utilizzato per erigere, ristrutturare o demolire un edificio, o per altri sviluppi legati alla costruzione. Nonostante la chiara derivazione di tale definizione all'ambito delle costruzioni, i parametri ad essa associati, come ad esempio i riferimenti geografici, ben si prestano anche all'arricchimento semantico di uno scavo archeologico. Un IFCElementAssembly è definito invece come un elemento composito, in questo caso si sono intesi come componenti della IFCElementAssembly i reperti, per i quali si è optato per l'associazione alla classe IFCFurniture, trattandosi di elementi relativi all'arredo funerario. Per meglio specificarne le caratteristiche, si è quindi reso necessario associare a tali istanze un set di parametri personalizzati, un aspetto che potrebbe essere in futuro superato arrivando alla definizione di classi IFC prettamente riferite all'ambito archeologico, non solo di carattere architettonico. Difatti, se nel suo insieme la metodologia BIM si è rivelata molto efficace ai fini della rappresentazione e della sistematizzazione delle informazioni per il caso di studio proposto, manca ad oggi una standardizzazione condivisa di classi legate all'archeologia, che ne potrebbe favorire una più larga diffusione in tale ambito, non solo per manufatti architettonici. Dunque, lavori che si occupino della definizione di classi e ontologie archeologiche sono sicuramente indicabili come possibili sviluppi futuri.

È inoltre auspicabile che il flusso di lavoro per la documentazione del microscavo della tomba 27 di Colle Vaccaro possa essere in futuro applicato anche agli scavi delle altre tombe ivi rinvenute. Questo permetterebbe infatti di strutturare un sistema informativo completo dell'intera area, ampliando il progetto qui presentato e dimostrando l'efficienza della soluzione proposta, garantita dalla possibilità di riutilizzo dei set di parametri personalizzati già definiti. Infine, va sottolineato come l'implementazione in Unity del progetto IFC renda possibile l'implementazione di ulteriori interazioni che aprono a scenari di fruizione rivolti anche a pubblici di non addetti ai lavori.

R.A.

Sofia Cingolani
Direzione Regionale Musei Marche
sofia.cingolani@cultura.gov.it

Paolo Clini, Ramona Quattrini, Renato Angeloni
Università Politecnica delle Marche
p.clini@univpm.it, r.quattrini@univpm.it, r.angeloni@univpm.it

Francesca Angelo, Livia Sforzini, Antonella di Giovanni, Roberta Bollati
Istituto Centrale per il Restauro
francesca.angelo@cultura.gov.it, livia.sforzini@cultura.gov.it
antonella.digiovanni@cultura.gov.it, roberta.bollati@cultura.gov.it

BIBLIOGRAFIA

Apollonio F.I., Fantini F., Garagnani S., Gaiani M. 2021, *A photogrammetry-based workflow for the accurate 3D construction and visualization of museums assets*, «Remote Sensing», 13, 3, 486 (https://doi.org/10.3390/rs13030486).

Arrighetti A., Pansini R. (eds.) 2022a, *Sistemi e tecniche di documentazione, gestione e valorizzazione dell'architettura storica. Alcune recenti esperienze*, «Archeologia e Calcolatori», 33.1 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/idyear.php?IDyear=2022-07-25).

Arrighetti A., Pansini R. 2022b, *Introduzione*, in Arrighetti, Pansini 2022a, 9-14 (https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.01).

Bosco A., Carpentiero L., D'Andrea A., Minucci E., Valentini R. 2021, *Developing an ABIM system: A new prospective for archaeological data management*, in A. Caravale (ed.), *Archaeological Computing: Selected Papers from the 2020 IMEKO TC-4 MetroArchaeo International Conference*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 167-176 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.15).

Bosco A., D'Andrea A., Nuzzolo M., Zanfagna P. 2019, *A BIM approach for the analysis of an archaeological monument*, «The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 165-172 (https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-165-2019).

Centofanti M., Brusaporci S., Maiezza P. 2016, *Tra "HistoricalBIM" ed "HeritageBIM": Building Information Modeling per la documentazione dei beni architettonici*, in S. Parrinello, D. Besana (eds.), *IV Convegno internazionale sulla documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e per la tutela paesaggistica (Firenze 2016)*, Firenze, Edifir, 42-51.

Clini P., Angeloni R., D'Alessio M., Perna R., Sforzini D. 2022, *La digitalizzazione per la documentazione, lo studio e la fruizione di un sito archeologico. La VR experience del teatro di Ricina*, in Arrighetti, Pansini 2022a, 279-296 (https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.15).

Clini P., Frapiccini N., Mengoni M., Nespeca R., Ruggeri L. 2016, *SfM technique and focus stacking for digital documentation of archaeological artifacts*, «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences», XLI-B5, 229-236 (https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-229-2016).

Coen A., Seidel S. 2009-2010, *I materiali preromani di Montegiorgio della collezione Gian Battista Compagnoni Natali conservati presso il Museo Archeologico di Ancona*, «Bullettino di Paletnologia italiana», 98, n.s. 16, 173-295.

Delgado Llata R. 2022, *Una metodologia di microscavo e di documentazione al servizio della conservazione*, «Bollettino ICR», n.s. 37, 24-36.

Delpiano D. 2021, *Antiche e moderne tecnologie: l'applicazione delle tecniche di rilevamento tridimensionale per la rappresentazione e l'analisi dei manufatti litici*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 43-62 (https://doi.org/10.19282/ac.32.1.2021.03).

De Palma G., Donati P., Giuliani M.R. 2013, *Il pronto intervento sullo scavo e microscavo*, in *Il restauro in Italia. Arte e tecnologia nell'attività dell'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro*, Roma, Gangemi Editore, 215-221.

Eastman C., Teicholz P., Sacks P.R., Liston K. 2008, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Hoboken, Wiley.

Garagnani S. 2021, *Quick digitization techniques: The case study of Numana necropolis*, in V. Baldoni (ed.), *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 53-62 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.06).

Garagnani S., Gaucci A. 2020, *The ArchaeoBIM method and the role of digital models in archaeology*, in A. Caravale, P. Moscati (eds.), *Logic and Computing. The Underlying Basis of Digital Archaeology. Proceedings of the MetroArchaeo 2019 Special Session, 2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology*

and Cultural Heritage (Florence 2019), «Archeologia e Calcolatori», 31.2, 181-188 (https://doi.org/10.19282/ac.31.2.2020.17).

Garagnani S., Gaucci A., Govi E. 2016, *ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 251-270 (https://doi.org/10.19282/AC.27.2016.13).

Gigliarelli E., Cangi G., Cessari L. 2022, *Rilievo per la modellazione e la gestione informativa HBIM. Approccio multicomponente per l'analisi strutturale e il restauro di edifici storici*, in Arrighetti, Pansini 2022a, 135-155 (https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.08).

Licheri A. 2016, *Prospettive sull'utilizzo del Building Information Modelling (BIM) in archeologia*, in P. Basso, A. Caravale, P. Grossi (eds.), *ArcheoFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del IX Workshop (Verona 2014)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 8, 197-202 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_8/25_Licheri.pdf).

Lucentini N. 1987, *Note per la viabilità dell'Ascolano meridionale in età preistorica*, in *Le strade nelle Marche. Il problema nel tempo. Atti del Convegno (Fano-Fabriano-Pesaro-Ancona 1984)*, I, Ancona, Arti Grafiche Editoriali Urbino,463-465.

Lucentini N. 1991, *Colli del Tronto (AP), località Casale Superiore: insediamento dell'età del Bronzo e del Ferro*, in M. Luni (ed.), *Scavi e ricerche nelle Marche*, Urbino, QuattroVenti, 17-18.

Lucentini N. 1999, *Schede per località. Colli del Tronto*, «Picus», 19, 349-355.

Lucentini N. 2002, *Museo Archeologico di Ascoli Piceno*, Pescara, Carsa.

Maiezza P. 2019, *As-built reliability in architectural HBIM modeling*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 42-2/W9, 461-466 (https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-461-2019).

Mammoli R., Inì M., Quattrini R. 2022, *Metodologie a supporto ricerca storico-archivistica e per la trasparenza del modello HBIM del Lazzaretto di Ancona nel progetto di Luigi Vanvitelli*, in Arrighetti, Pansini 2022a, 157-178 (https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.09).

Pepe M., Costantino D., Alfio V.S., Restuccia A.G., Papalino N.M. 2021, *Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site*, «Journal of Cultural Heritage», 50, 115-125 (https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.006).

Scianna A., Gaglio G.F., La Guardia M. 2020, *HBIM data management in historical and archaeological buildings*, «Archeologia e Calcolatori», 31.1, 231-252 (https://doi.org/10.19282/ac.31.1.2020.11).

Weidig J. (ed.) 2017, *Il ritorno dei tesori piceni a Belmonte. La riscoperta a un secolo dalla scoperta*, Roma, Astra Edizioni.

Zangrossi F., Delpiano D., Cocilova A., Ferrari F., Balzani M., Paesani M. 2019, *3D visual technology applied for the reconstruction of a Paleolithic workshop*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 28, 102045 (https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102045).

ABSTRACT

The widespread integration of digital technologies in the field of archaeology, facilitated by increasingly powerful and economically accessible tools, is producing a profound transformation in the conventional methodologies employed by archaeologists. This contribution specifically delves into the documentation of excavation phases and artifacts, presenting a workflow tested on the tomb 27 of the Colle Vaccaro necropolis (AP) within the educational project managed by the Istituto Centrale del Restauro (ICR). The digital representation of distinct layers and artifacts, developed together with with micro-excavation and restoration

operations, serves as a tool for real-time analysis and documentation. Crucially, it acts as a foundational element for constructing an information system geared towards subsequent and more comprehensive historical-archaeological analyses. The outcome of this contribution is the formulation of a semi-automatic process designed to ensure a geometrically accurate and informed three-dimensional representation. This workflow for documenting an excavation and its artifacts is designed to facilitate efficient data utilization both for scholars and professionals.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 427-445
doi 10.19282/ac.35.1.2024.26

BIM E ARCHEOLOGIA: I CASI STUDIO DEGLI ANFITEATRI ROMANI DI VERONA E POLA

1. Introduzione

L'impiego del Building Information Modeling in ambito ingegneristico e architettonico è pratica ormai assodata e largamente diffusa. Particolarmente rilevante, ai fini della definitiva affermazione di tale tecnologia, è stata la Direttiva Comunitaria 2014/24/CE del 26 febbraio 2014, la quale, nel tentativo di promuovere una modernizzazione intelligente, sostenibile ed inclusiva del settore dei contratti pubblici, ha proposto a tutti paesi membri l'adozione del BIM come principale metodo di progettazione e gestione di nuovi e vecchi edifici, in virtù delle sue evidenti capacità in termini di digitalizzazione, gestione, analisi e condivisione dei dati. Decisamente diversa appare, invece, la situazione nell'ambito dei beni culturali, dove, complice l'assenza di qualsiasi tipo di normativa al riguardo, si continua a discutere da oltre un decennio sul ruolo che il BIM può avere nello studio e nella gestione del patrimonio storico costruito, evidenziandone, caso per caso, vantaggi e svantaggi anche alla luce dei più recenti avanzamenti tecnologici in materia. L'ultima delle sfide lanciate al Building Information Modeling in tale settore è quella che prevede la sua applicazione a realtà di tipo archeologico. Si tratta di un ambito relativamente giovane e assolutamente singolare che mette a contatto due mondi apparentemente lontani tra loro costringendoli al dialogo e alla collaborazione, nell'ottica di dar vita ad un nuovo strumento che possa supportare ciascuna fase della ricerca archeologica sul campo, ma anche della gestione e valorizzazione di un sito archeologico (Carpentiero 2020).

Il seguente contributo mira ad analizzare le potenzialità, i vantaggi e i limiti di questo particolare campo d'applicazione del BIM attraverso la presentazione di due casi studio, quali gli anfiteatri romani di Verona e Pola, per ciascuno dei quali è stato realizzato un modello BIM basato su dati ottenuti tramite i tradizionali metodi della ricerca archeologica.

L.D., C.P.

2. Building Information Modeling: definizione, genesi e sviluppo

Molte sono le domande che possono affollare la mente di chi per la prima volta si affaccia al mondo del Building Information Modeling. Quesiti leciti, certo, ma a cui non è per nulla semplice dare una risposta, in quanto si pongono come interrogativi di un settore ancora giovane e caratterizzato da una forte e continua evoluzione. Alla stessa sigla BIM non è associabile una

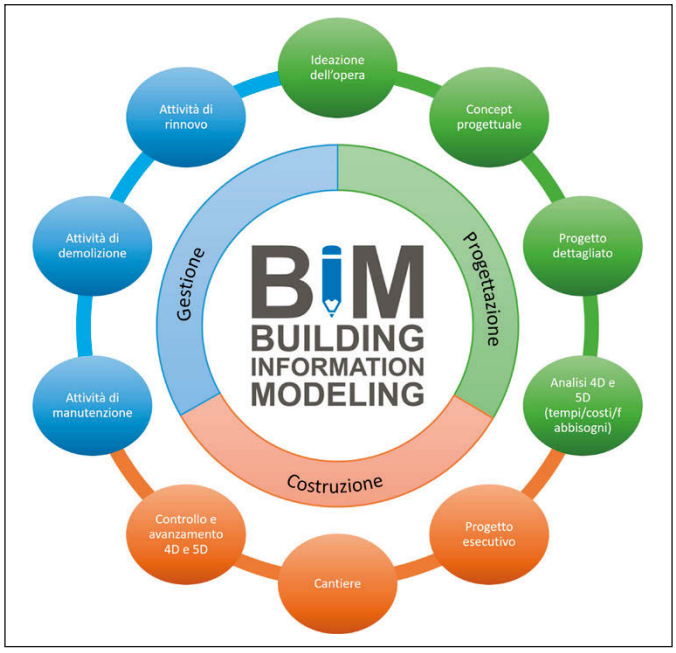


Fig. 1 – Resa schematica delle varie fasi componenti un processo BIM (elaborazione L. Doria).

definizione univoca, in quanto essa dipende dal peso e dal significato dato, di volta in volta, a ciascuno dei tre vocaboli componenti l'acronimo, ovvero ai termini Building, Information e Modeling. Allo stato attuale delle ricerche, la tendenza generale è quella di identificare il BIM non tanto con una particolare tipologia di modello 3D digitale informativo (Capparelli 2019) quanto con tutte le attività che hanno portato alla realizzazione di quest'ultimo e con tutti i comportamenti futuri che da esso dipendono. In altre parole, il BIM è quel processo che, sfruttando le più moderne ICT technologies, porta alla creazione di strumenti digitali utili a pianificare e gestire tutto il lifecycle di un edificio, dalla fase concettuale a quelle di gestione e manutenzione (Garagnani *et al.* 2011, 2021; Counsell, Taylor 2017; Sacks *et al.* 2018) (Fig. 1).

Aspetto fondamentale di tale processo è la componente informativa, la quale, nonostante l'eterogeneità, viene raccolta e gestita tramite un sistema univoco, configurato come un grande archivio digitale interattivo. Ciò consente da un lato di ridurre al minimo le possibilità di errore e dall'altro di aumentare quelle di interrogazione, visualizzazione e analisi integrata dei dati, portando dei benefici anche in termini di ottimizzazione delle risorse disponibili, efficienza, sostenibilità e sicurezza sul lavoro e condivisione e

collaborazione tra i vari professionisti coinvolti nel progetto (Garagnani *et al.* 2012; Arayici 2015).

Tali risultati sono possibili grazie alla cosiddetta modellazione semantica o object-oriented: particolare tipo di modellazione digitale 3D, teorizzata da D.C. Engelbart agli inizi degli anni '60, basata sull'uso esclusivo di oggetti semantici, ovvero di strumenti virtuali dotati di attributi informativi (Capparelli 2019; Scandurra 2020). Il primo a comprendere a pieno questa nuova tecnica di modellazione è stato C. Eastman, il quale, verso la metà degli anni '70, ne ha sfruttato le potenzialità per dare vita al BDS (Building Description System), innovativo approccio alla progettazione e alla gestione edilizia da molti considerato come il vero e unico antenato del BIM (Eastman 1974). Nonostante i vantaggi derivanti dall'uso di tale tecnologia siano più che evidenti, il BDS prima e il BIM poi hanno faticato a farsi strada nel complesso mondo della progettazione edilizia, a causa sia delle resistenze incontrate tra i fautori della tradizionale logica in auge nel settore in questione, quella che prevede l'utilizzo di un gran numero di tavole e viste 2D e 3D, sia dell'assenza di regolamenti ufficiali e di un linguaggio settoriale universale. Solo a partire dai primi anni 2000 si è cercato di sopperire a queste due mancanze, introducendo da un lato regolamenti e direttive che impongono l'utilizzo del BIM a livello nazionale e internazionale e dall'altro ideando un sistema di standard globalmente riconosciuti, noti sotto il nome di Industry Foundation Classes (IFC), utili alla generazione di database aperti, fruibili e interrogabili da chiunque senza problemi di linguaggio, copyright e altri diritti economici e commerciali (Capparelli 2019; Scandurra 2020).

L.D.

3. Il BIM applicato al patrimonio architettonico esistente

Da circa quindici anni, si è fatta largo l'idea di applicare il BIM al patrimonio architettonico esistente. I motivi alla base di tale intuizione sono essenzialmente due: uno di natura numerica, gli edifici storici sono molti di più rispetto alle nuove costruzioni, e l'altro di natura politica, le attuali normative in materia di edilizia e ambiente impongono di adeguare queste strutture a particolari standard qualitativi (Fai *et al.* 2010; Edwards 2017; Capparelli 2019). Nonostante il BIM sia stato fin da subito individuato come il procedimento più adatto ad ottenere dei prodotti in grado di supportare le varie attività da condurre sull'architettura storica, il suo utilizzo in questo particolare ramo del settore edilizio risulta ancora limitato. Basti pensare che dal 2009, anno in cui il prof. M. Murphy applicò per la prima volta il BIM allo studio di edifici storici (Murphy *et al.* 2013), i casi in cui tale approccio è stato utilizzato in contesti architettonici esistenti sono pochi. Tra i più virtuosi e noti a livello internazionale vi sono sicuramente quelli che hanno visto per

protagonisti l'Heritage Cottage in Galles (Edwards 2017), la Sidney Opera House in Australia (Counsell, Taylor 2017) e il villaggio industriale di Batawa in Canada (Fai *et al.* 2011). In Italia, invece, si possono citare i casi studio della Basilica di Sant'Ambrogio a Milano (Banfi *et al.* 2018) e della Chiesa dei Santi Sergio e Bacco a Roma (Scianna *et al.* 2015).

È chiaro che a questo deficit numerico corrisponda tutta una serie di problematiche, non sempre semplici da risolvere, di volta in volta riscontrate dai progettisti. Applicare la filosofia BIM a contesti appartenenti al patrimonio architettonico storico, infatti, implica rovesciarne completamente la logica, in quanto il fine ultimo non sarà più quello di progettare un edificio da costruire, ma quello di arrivare ad ottenere una rappresentazione digitale di uno stabile già esistente (Garagnani *et al.* 2016). Si tratta, in poche parole, di simulare digitalmente il processo costruttivo di un edificio esistente tramite l'utilizzo di oggetti semantici, ai quali viene associato il contenuto informativo derivante dallo studio preliminare dell'edificio stesso. A questa principale difficoltà se ne sommano spesso altre di natura più tecnica. La modellazione dei vari elementi architettonici costituenti gli edifici storici risulta di norma assai complicata, a causa delle loro forti irregolarità e specificità geometriche (Garagnani *et al.* 2012; Capparelli 2019). Anche l'aspetto informativo del modello finale non è sempre di semplice realizzazione, i dati disponibili sono spesso incompleti o, comunque, difficili da trasferire all'interno di un ambiente BIM.

I metodi messi a punto finora sono essenzialmente due: lo Scan2BIM o HeritageBIM (HBIM) e l'HistoricBIM (HBIM) (Garagnani *et al.* 2021). Nello Scan2BIM gli output delle attività conoscitive preliminari, restituiti sotto forma di nuvole di punti, vengono direttamente utilizzati come base guida per la realizzazione del modello, ovvero vengono importati nel software di modellazione e ricalcati con gli oggetti semantici da questo offerto, ottenendo il cosiddetto digital twin dell'edificio considerato. Il più grande limite di questo approccio consiste nel fatto che nei casi in cui non è possibile soddisfare contemporaneamente canoni estetici e contenuto informativo, i primi prevalgono sempre sui secondi, dando luogo ad un modello BIM perfetto sotto il profilo realistico, ma poco preciso a livello informativo (Garagnani *et al.* 2012, 2021; Capparelli 2019).

L'HistoricBIM, invece, prevede un uso indiretto delle nuvole di punti. Esse, preventivamente frazionate in tante parti quanti sono gli elementi architettonici dell'edificio da rappresentare, vengono utilizzate come database per estrarre dati geometrici, metrici ed estetici da sfruttare, assieme ad informazioni storiche, culturali, materiche e costruttive, in fase di modellazione di ciascun oggetto semantico. Così facendo si ottiene un prodotto finale molto ricco dal punto di vista informativo ma meno preciso sotto il profilo della resa stilistica in quanto, dove non è possibile soddisfarle entrambe, la

parametricità dei singoli oggetti semantici prevale sull'accuratezza estetica del modello finale (Garagnani *et al.* 2021).

Al netto di quanto appena detto, è bene sottolineare quali possono essere i vantaggi derivanti dall'applicazione di tali procedimenti. Oltre all'aumento delle conoscenze sull'edilizia storica, particolarmente interessante è lo scenario che individua in essi degli strumenti capaci di soddisfare le più attuali necessità in materia di ambiente e cultura. Sfruttando al massimo il contenuto informativo e le capacità simulative dei modelli BIM, infatti, è possibile ottenere dei prodotti in grado di gestire a 360° il patrimonio architettonico, dalla progettazione e realizzazione di interventi di restauro conservativo all'installazione di sistemi termici ed energetici in linea con gli attuali standard di emissione previsti dalle politiche ambientali internazionali (Bakr Khalil 2017; Edwards 2017). Il workflow di tali processi, inoltre, ben si presta a dare una risposta alla tanto sentita questione dell'inclusività del patrimonio culturale. Le fasi di raccolta dati preliminare e di mantenimento e implementazione del modello possono favorire il coinvolgimento delle comunità locali nel settore culturale, offrendo a queste ultime la possibilità di contribuire più o meno attivamente e autonomamente al reperimento di informazioni (Counsell, Nagy 2017). Infine, non meno importante è la potenziale ricaduta positiva dell'HBIM in termini di sensibilizzazione delle comunità locali (Counsell, Nagy 2017). I prodotti finali di tali processi, infatti, possono essere sfruttati anche come supporti alla valorizzazione e alla divulgazione di massa.

L.D.

4. BIM e archeologia: un binomio (quasi) inaspettato dal futuro promettente

Una delle sfide più stimolanti lanciate al BIM in ambito culturale è sicuramente quella che prevede la sua applicazione a realtà di tipo archeologico. Adattare la filosofia del Building Information Modeling all'archeologia, però, non è cosa semplice. A differenza degli edifici appartenenti al patrimonio storico costruito, quelli rinvenuti in contesti archeologici godono di uno stato di conservazione alquanto ridotto, risultando spesso allo stato di ruderi, fatto che rende necessaria l'ideazione di una metodologia diversa da quelle descritte in precedenza, capace sia di descrivere e rappresentare l'esistente che di proporre una ricostruzione attendibile e verosimile di ciò che è andato perso. Estremamente importanti in tal senso si sono rivelate le sperimentazioni effettuate, a partire dal 2016, da un team di ricercatori dell'Università di Bologna nell'ambito di un progetto di ricerca volto allo scavo, allo studio e alla ricostruzione grafica virtuale dell'antica città etrusca di Marzabotto (Gaucci *et al.* 2015; Garagnani *et al.* 2021). È in questa occasione che S. Garagnani, sulla scia di quanto già proposto da A. Scianna

(Scianna *et al.* 2015), ha introdotto e sistematizzato un nuovo metodo da ricondurre alla vasta famiglia dei processi BIM: l'ArcheoBIM. Si tratta di un processo a metà tra il BIM e l'HBIM, poiché come il primo "progetta" o per meglio dire "ricostruisce" un edificio da zero, sulla base di dati ottenuti con la ricerca archeologica, ma, proprio come succede nel secondo, il modello realizzato non rappresenta una nuova costruzione ma riproduce qualcosa che è già esistito (Garagnani *et al.* 2016, 2021).

Tra i principali vantaggi derivanti dall'uso di questa metodologia vi sono sicuramente quelli legati alla possibilità di archiviare tutti i dati relativi al contesto analizzato all'interno di un solo database costantemente aggiornabile e facilmente visualizzabile e interrogabile dai fruitori e alla facoltà di validare dal punto di vista costruttivo le varie ipotesi ricostruttive avanzate dagli studiosi, tenendo conto delle informazioni concernenti i materiali e le tecniche costruttive in voga al tempo dell'effettiva edificazione. La validazione viene assicurata dallo stesso processo BIM: è quest'ultimo, infatti, che sottolinea di volta in volta le criticità e le problematiche della ricostruzione proposta, arrivando ad individuare la ricostruzione architettonicamente più convincente e, quindi, maggiormente verosimile.

Ovviamente, l'ArcheoBIM è affetto anche da alcune criticità. Una delle maggiori è senza dubbio quella di dover riprodurre le specificità e le irregolarità degli elementi architettonici antichi tramite l'utilizzo di oggetti semantici concepiti per la progettazione *ex-novo*. Ad oggi, infatti, non esistono sul mercato software per la progettazione BIM aventi nelle loro librerie standard oggetti parametrici capaci di riprodurre realisticamente le infinite peculiarità dell'architettura antica sia sotto il profilo visivo che dal punto di vista informativo. Ciò costringe gli operatori a dover progettare e realizzare degli oggetti semantici *ad hoc* per ogni caso studio, aumentando, e non poco, sia i tempi di elaborazione sia il grado di difficoltà del procedimento di produzione del modello digitale finale. Altra problematicità rilevante è quella dovuta alla non sempre esaustiva presenza di tutte le informazioni utili a caratterizzare sotto il profilo semantico gli oggetti da impiegare in fase di modellazione, fatto che si ripercuote negativamente sul carattere informativo del prodotto digitale finale, alimentandone l'imprecisione e aumentando i dubbi sulla sua attendibilità storica (Garagnani *et al.* 2021).

Attualmente le ricerche aventi per protagonista l'applicazione del BIM a contesti archeologici sono ancora poche, in virtù sia delle difficoltà metodologiche appena descritte che, soprattutto, della giovinezza del settore in questione. Tra queste, oltre alla già citata Marzabotto, sono da menzionare i casi di Altino (Del Pozzo, Balletti 2023), Massaciuccoli (Sala 2023), Pompei (Biancardo *et al.* 2023), del Foro Romano di *Liternum* (Cangiano 2019) e di *Paestum* (Bosco *et al.* 2020, 2021).

L.D.

5. Il BIM per l'archeologia: i casi studio degli anfiteatri romani di Verona e Pola

Al fine di testare le potenzialità dei processi BIM applicati a contesti archeologici e di valutarne criticamente i possibili vantaggi e svantaggi, si è deciso, nell'ambito di due ricerche condotte tra il 2020 e il 2022[1], di applicare il metodo ArcheoBIM nello studio degli anfiteatri romani di Verona (Maffei 1728; Giuliari 1821; Pompei 1877; Basso 1999, 2013; Tosi 2003; Bolla 2012; Maggi 2017) e Pola (Maffei 1728; Mlakar 1997; Basso 1999, 2013; Krizmanić 2016, 2017, 2018, 2019, 2020) , utilizzando due diversi software e progettando due diversi workflow.

Gli edifici sono stati selezionati quali casi studio in virtù sia del loro ottimo stato di conservazione, fatto che ha facilitato l'applicazione del BIM riducendo le operazioni di ricostruzione virtuale e offrendo l'opportunità di utilizzare un procedimento a metà tra l'ArcheoBIM e il più collaudato HistoricBIM, sia delle loro forti somiglianze morfologiche, dimensionali, materico-costruttive e storico-archeologiche, elementi funzionali a facilitare il confronto tra le metodologie utilizzate. Entrambi gli anfiteatri, infatti, si distinguono per le loro grandi dimensioni, la loro particolare planimetria pseudo-ellittica e l'utilizzo di materiali da costruzione ricavati da litotipi calcarei locali messi in opera secondo le medesime tecniche edilizie.

Anche dal punto di vista strutturale le analogie sono più che evidenti: tanto a Verona quanto a Pola infatti si è in presenza di edifici autoportanti caratterizzati da ambienti di sostruzione cavi e completamente percorribili. Uniche differenze in tal senso sono i condizionamenti imposti dal luogo scelto per la costruzione dei due complessi, fatto che ha permesso di testare le potenzialità del BIM anche nella riproduzione dei contesti ambientali limitrofi a questi ultimi. Infatti, se l'anfiteatro veronese è stato edificato, a seguito di interventi di bonifica e consolidamento geotecnico, su una porzione di piana alluvionale del fiume Adige, quello polese ha dovuto fare i conti con la presenza di un pendio collinare che, opportunamente adattato tramite una serie di tagli verticali e orizzontali, costituiva il sostegno del primo *maenianum* delle gradinate orientali. Infine, altro punto di contatto tra le due realtà considerate è quello storico-archeologico. Esse sono state protagoniste di una sorte alquanto simile che le ha viste passare da frequentatissimi luoghi per cruenti spettacoli a cave di materiale edilizio a vetuste rovine in grado,

[1] Condotte rispettivamente in occasione di una tesi di laurea magistrale in Scienze Archeologiche (L. Doria, *Gli anfiteatri romani di Verona e Padova: dall'analisi alla restituzione grafica delle caratteristiche tecnico-costruttive*, relatrice: prof.ssa C. Previato, a.a. 2019/2020) e di una tesi di specializzazione in Archeologia (L. Doria, *L'uso del BIM in ambito archeologico: il caso studio dell'anfiteatro romano di Pola*, relatrice: prof.ssa C. Previato, a.a. 2021/2022), entrambe discusse presso l'Università di Padova.

a partire dalla fine del XVIII secolo, di attirare a più riprese le attenzioni di numerosi studiosi, ognuno dei quali ha contribuito alla formazione di una folta documentazione ad esse relativa. Come si vedrà, proprio quest'ultima è stata la principale fonte di informazione sfruttata nelle prime fasi dei workflow di seguito presentati.

L.D.

5.1 *Workflow utilizzati*

I workflow seguiti per la messa a punto dei modelli BIM ricostruttivi dei due anfiteatri (Fig. 2) risultano molto simili tra loro, differenziandosi solamente nella scelta del software di modellazione e nell'*iter* di realizzazione dei vari oggetti semantici utilizzati. Punto di partenza comune è stata una lunga e paziente fase di studio, momento che, complice l'impossibilità di recarsi direttamente sul campo dovuta alla pandemia, è per lo più coinciso con un'accurata ricerca bibliografica. Quest'ultima, finalizzata al recupero di tutte le informazioni, i rilievi e le rappresentazioni grafiche e fotografiche disponibili, ha permesso la realizzazione di esaustive banche dati, utili strumenti per un'analisi architettonica da remoto dei due monumenti e per la formulazione di ipotesi ricostruttive circa le loro fattezze originarie.

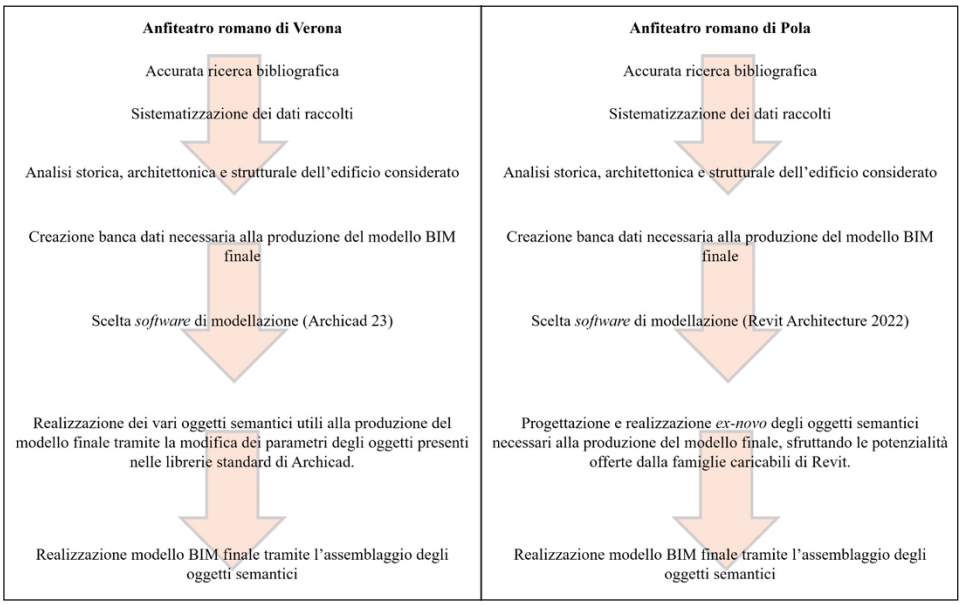


Fig. 2 – Schema riassuntivo di confronto dei workflow utilizzati (elaborazione L. Doria).

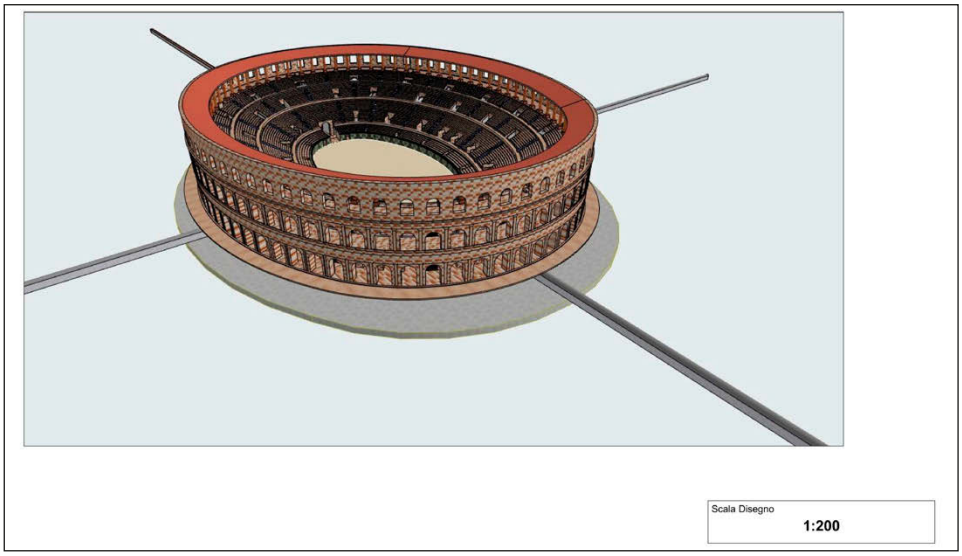


Fig. 3 – Modello BIM ricostruttivo del probabile stato originario dell'anfiteatro romano di Verona (elaborazione L. Doria).

Identica è stata anche la scelta di impiegare come base di riferimento per la realizzazione del modello finale una planimetria quanto più aggiornata possibile dello stato di fatto dei due edifici. Anche in questo caso ci si è dovuti affidare a quanto già presente in bibliografia, andando a selezionare le migliori planimetrie disponibili che, per quanto riguarda gli anfiteatri di Verona e Pola, sono state individuate in quelle pubblicate rispettivamente da J.C. Golvin (1988) e da Š. Mlakar (1997). Le due rappresentazioni, opportunamente digitalizzate e ridimensionate in scala 1:1 grazie all'utilizzo di un software per il disegno vettoriale (Vectorworks v. 2020 e 2022), sono state importate nei programmi di modellazione e fissate, in un apposito layer, al centro dell'area di lavoro. L'accuratezza non sempre esaustiva dei dati metrici e dimensionali disponibili in bibliografia ha reso necessarie alcune integrazioni, effettuate sia attraverso sopralluoghi sul campo sia, soprattutto, tramite una minuziosa analisi di tutte le rappresentazioni grafiche recuperate. Queste ultime infatti, dopo essere state opportunamente ridimensionate e digitalizzate in ambiente CAD, si sono rivelate alquanto preziose nel recupero di informazioni metriche e dettagli non riportati in bibliografia.

Portate a termine queste prime fasi comuni ad entrambi i workflow, si è proceduto con la vera e propria realizzazione dei modelli BIM, attività che ha visto l'impiego di due software e due iter di modellazione diversi. Nel caso dell'anfiteatro veronese, si è optato per l'utilizzo di ARCHICAD 23. Il

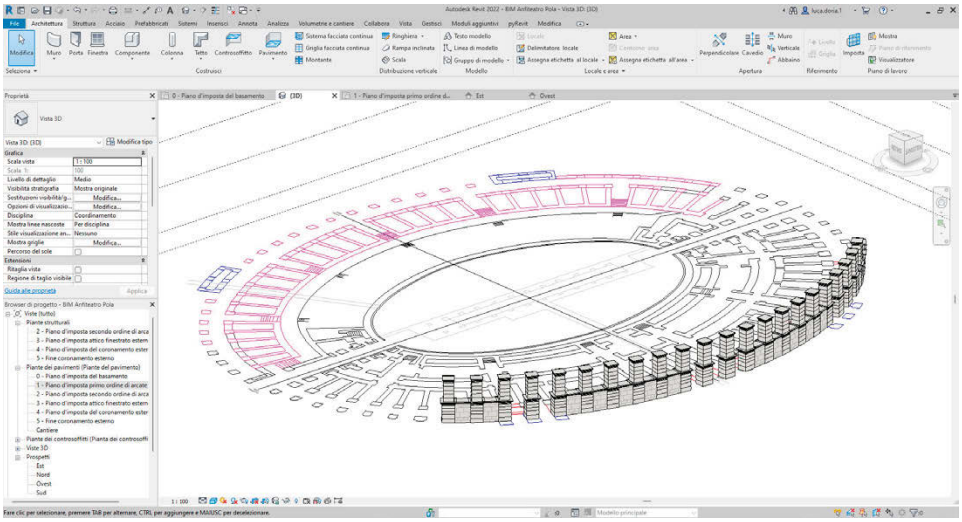


Fig. 4 – Modello BIM dell'anfiteatro romano di Pola in fase di realizzazione (elaborazione L. Doria).

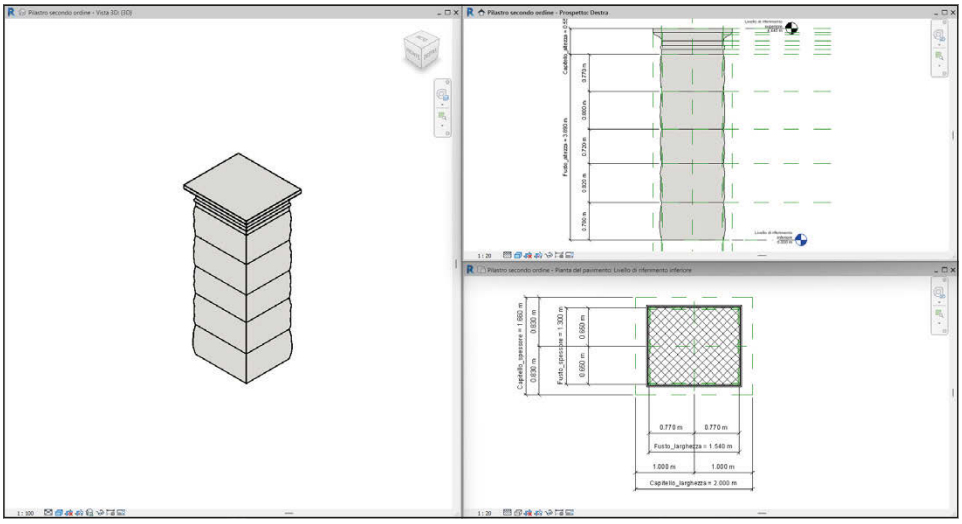


Fig. 5 – Vista tridimensionale, frontale e planimetrica di uno degli oggetti semantici realizzati tramite l'Editor delle Famiglie di Revit (elaborazione L. Doria).

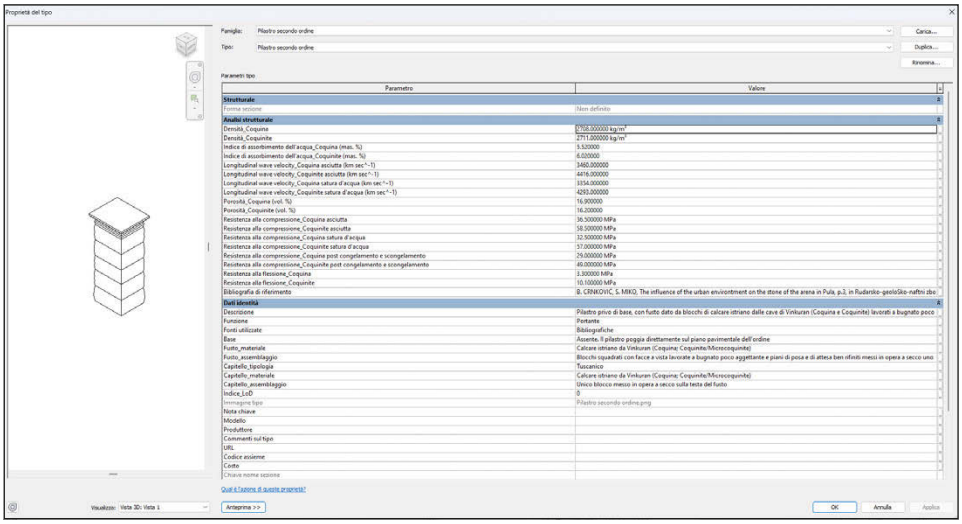


Fig. 6 – Tabella degli attributi di uno degli oggetti semantici realizzati tramite l'Editor delle Famiglie di Revit (elaborazione L. Doria).

lavoro è stato suddiviso in più step, in modo da tenere sempre controllata la realizzazione del modello e simulare quello che potrebbe essere stato l'iter costruttivo antico, favorendo una maggiore comprensione delle caratteristiche e delle funzionalità delle varie componenti architettoniche dell'edificio.

Innanzitutto, vista l'assenza nelle varie librerie standard del software di oggetti semantici in grado di riprodurre le fattezze e le caratteristiche degli elementi architettonici antichi, ci si è concentrati sulla loro creazione. A tal fine si è optato per la semplice modifica dei parametri descrittivi di alcuni dei materiali e degli oggetti presenti nelle librerie standard del software, limitando al minimo la creazione di strumenti semantici da zero in modo da rendere, talvolta purtroppo anche a discapito del contenuto informativo, la modellazione meno complessa e più snella. Una volta fatto ciò, si è potuto procedere con la fase di vera e propria costruzione del modello finale che è coincisa essenzialmente con il semplice assemblaggio dei vari oggetti semantici creati in precedenza. In tal modo è stato possibile ottenere l'esatta rappresentazione virtuale delle strutture ancora visibili e non dell'anfiteatro di Verona (Fig. 3). L'intero processo ha richiesto complessivamente 360 ore di lavoro, distribuite nell'arco di tre mesi, e la creazione di 2200 oggetti tridimensionali.

Per quanto concerne l'anfiteatro romano di Pola invece, si è deciso di utilizzare la versione Architecture di Revit, scelto per via della sua maggiore versatilità e del fatto che è stato impiegato anche da altri studiosi in situazioni simili a quella considerata. Ciò ha ridotto considerevolmente il tempo

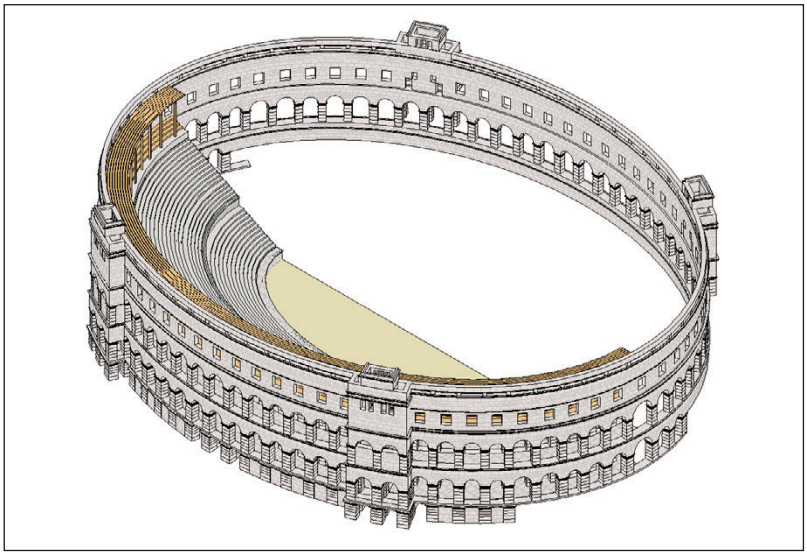


Fig. 7 – Vista prospettica da SO del modello BIM dell'anfiteatro romano di Pola (elaborazione L. Doria).

e il numero di oggetti semantici necessari alla produzione del modello BIM finale, per il quale sono state necessarie 180 ore di lavoro e poco più di 1400 elementi parametrici. Anche in questo caso si è deciso di suddividere la modellazione in più step, partendo dalla realizzazione di tutti i materiali e gli oggetti semantici necessari alla creazione del prodotto finale e arrivando al loro assemblaggio secondo quello che potrebbe essere stato l'iter costruttivo antico (Fig. 4). Diversamente da quanto fatto per il modello BIM dell'edificio veronese, ciascun elemento architettonico dell'anfiteatro romano di Pola non è stato digitalmente riprodotto modificando i parametri degli oggetti semantici presenti nelle librerie standard del software di modellazione, bensì è stato ottenuto realizzando da zero degli strumenti digitali *ad hoc* (Fig. 5). Ciò è stato possibile grazie all'utilizzo del cosiddetto Editor delle Famiglie, particolare modalità grafica offerta da Revit che permette la creazione di oggetti semantici personalizzati che, dopo essere stati memorizzati in librerie esterne a quella di sistema, possono essere caricati e liberamente impiegati in ambiente di modellazione (Fig. 6). Molto interessante, al fine di comprendere più approfonditamente le potenzialità e le funzionalità di tale strumento, potrebbe risultare un suo utilizzo in relazione alla tematica dell'interoperabilità dei modelli BIM e, in particolare, della condivisione di dati tra software diversi. Purtroppo, per ragioni legate sia ai tempi di realizzazione disponibili sia alla volontà di concentrarsi maggiormente sui processi BIM da applicare

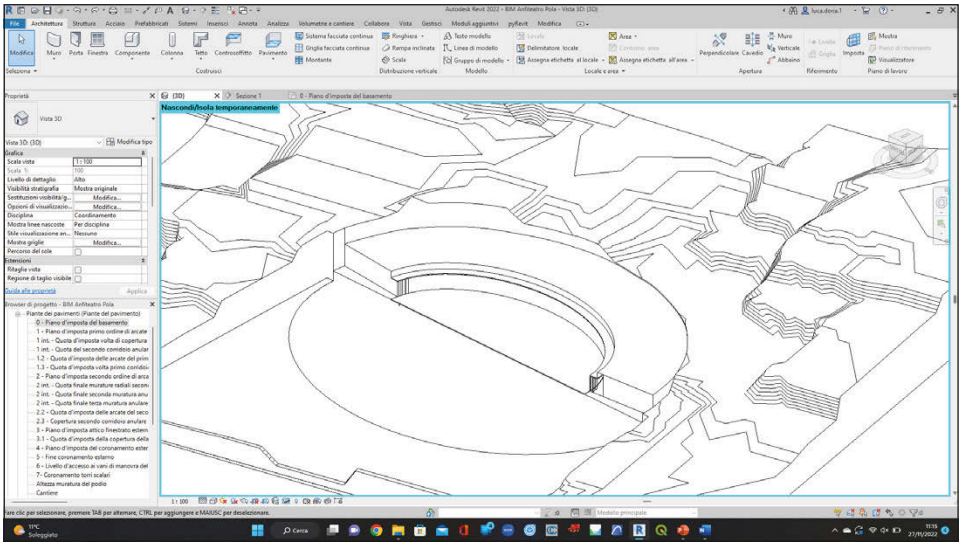


Fig. 8 – Superficie topografica riproducente l'ambiente circostante l'anfiteatro romano di Pola in fase di modellazione (elaborazione L. Doria).

ai singoli casi studio, non è stato possibile dedicarsi adeguatamente a questo argomento che costituisce un ottimo stimolo per ricerche future.

Singolari, nel computo della realizzazione del modello BIM dell'edificio polese, sono state, poi, le scelte che hanno portato alla ricostruzione digitale dell'aspetto originario della sua sola metà occidentale e alla sommaria riproduzione del pendio collinare a cui esso venne parzialmente addossato (Fig. 7). Le motivazioni alla base di tali decisioni sono sostanzialmente due, ovvero rispettivamente mettere in pratica un procedimento BIM che si ponesse a metà tra l'HistoricBIM e l'ArcheoBIM, mantenendo ben distinti gli output dei due processi nel prodotto finale, e testare le capacità del Building Information Modeling nell'analisi e nella riproduzione dei contesti ambientali, similmente a quanto già proposto da A. Bosco e A. D'Andrea per *Paestum* (Bosco *et al*. 2020, 2021).

Quest'ultimo obiettivo è stato raggiunto sfruttando le potenzialità informative di un DEM della microarea considerata che, dopo essere stato gratuitamente scaricato online e opportunamente gestito in ambiente GIS per estrapolarne un file contenente le curve di livello, è stato importato nel software di modellazione e utilizzato come guida per la realizzazione di una superficie topografica riproducente l'ambiente circostante l'edificio (Fig. 8).

L.D.

6. Il BIM applicato all'archeologia: un bilancio

I casi studio appena presentati si sono dimostrati estremamente utili nel testare le potenzialità del BIM applicato a realtà di tipo archeologico, mettendone a nudo i pro e i contro e permettendo di comprenderne le possibili ricadute nella tradizionale metodologia archeologica. L'alto grado di conservazione degli edifici per spettacoli di Verona e Pola, inoltre, ha permesso di saggiare la bontà e i limiti di tale tecnologia non solo quale strumento di studio, analisi, ricostruzione e riproduzione di strutture non più esistenti ma anche come procedimento in grado di esaminare, descrivere e digitalizzare le specificità geometriche, materiche, strutturali e tecnico-costruttive proprie di elementi architettonici antichi ancora visibili.

Fondamentale ai fini del raggiungimento di tutti gli obiettivi preposti è stata la presa di coscienza della natura stessa del BIM, che non è un semplice metodo di modellazione 3D digitale ma coincide con un processo volto a disciplinare tutto il ciclo di vita di un edificio. Ciò ha determinato la necessità di dover valutare il BIM non tanto in base all'aspetto e alle caratteristiche del suo prodotto finale quanto piuttosto sulla base del workflow che ha condotto alla realizzazione di quest'ultimo e delle implicazioni che esso può avere nello studio e nella gestione delle strutture reali che rappresenta.

Alla luce di quanto appena detto, non si può non giudicare positivamente il portato delle prime fasi dei flussi di lavoro descritti nel paragrafo precedente, ovvero quelle conoscitive. Il BIM, qualunque sia il suo campo di utilizzo, richiede un'approfondita conoscenza del soggetto a cui viene applicato e ciò, in ambito archeologico, si esplica nella necessità di analizzare nel dettaglio un edificio e di raccogliere quante più informazioni dimensionali, materiche e tecnico-costruttive su di esso e sul suo processo costruttivo, determinando quindi un considerevole aumento di conoscenza dell'edificio stesso. Uniche difficoltà riscontrate in queste prime fasi sono state quelle dovute al reperimento dei dati utili alla buona riuscita dei successivi step del workflow. Nel caso di realtà archeologiche già note e studiate, quali sono gli anfiteatri romani di Verona e Pola, tali criticità, ravvisabili soprattutto nella frequente assenza di informazioni dimensionali complete ed esaustive, sono state ovviate rispettivamente tramite sopralluoghi sul campo e attraverso una minuziosa analisi delle rappresentazioni grafiche disponibili in bibliografia.

Molto più ostiche si sono dimostrate le problematiche legate alle fasi di progettazione ed effettiva realizzazione dei modelli BIM finali. A prescindere dal software utilizzato, la difficoltà maggiore è stata quella di dover ripensare il normale flusso di lavoro dei processi BIM al fine di poterlo applicare ai due contesti considerati. Il punto di partenza, infatti, non era più quello di creare informazioni per progettare la realtà futura, bensì quello di acquisire dati dalla realtà per produrre una rappresentazione digitale che sostenesse la futura

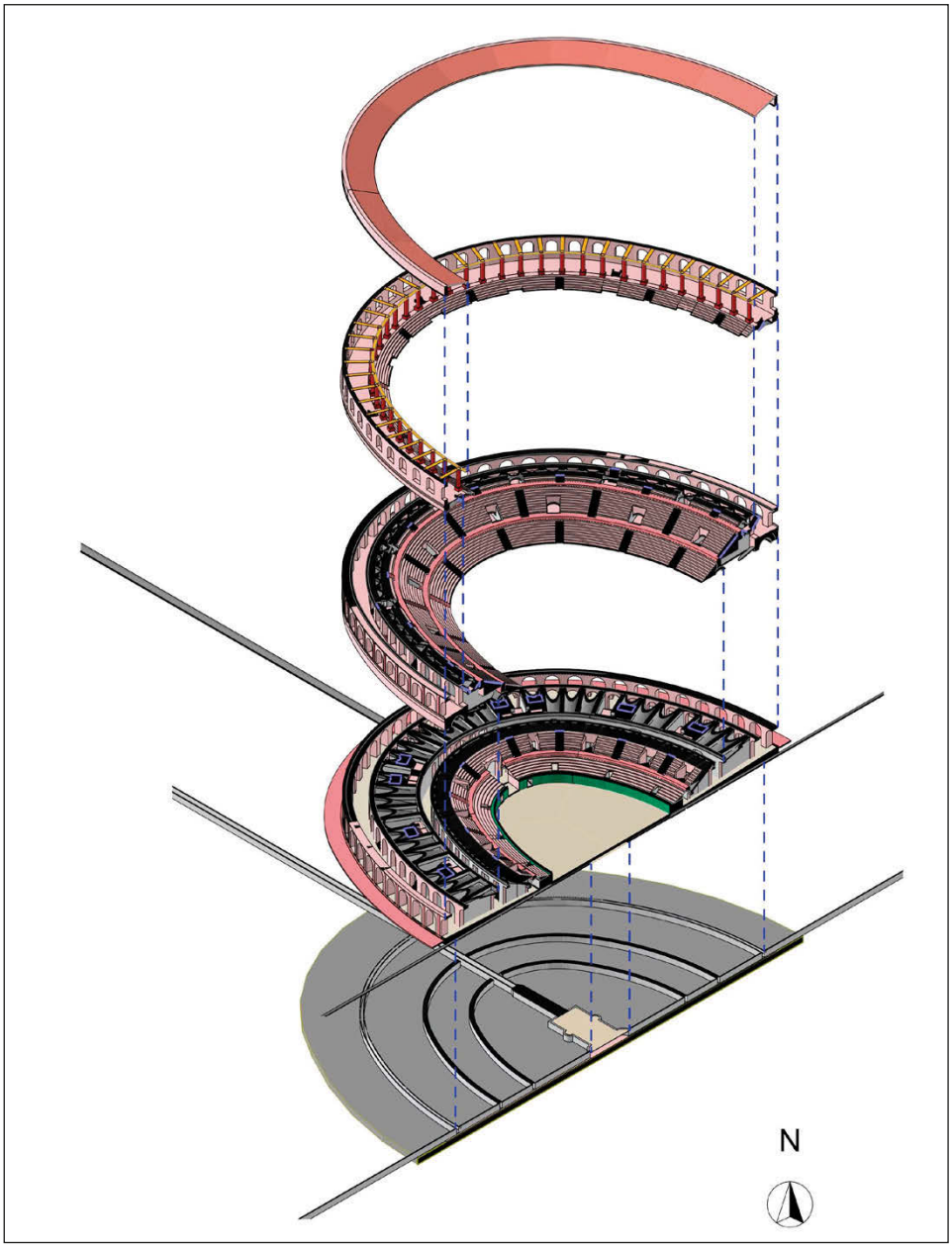


Fig. 9 – Esploso assonometrico dell'anfiteatro romano di Verona, realizzato estraendo dal modello HBIM una vista assonometrica tagliata lungo l'asse minore in corrispondenza di ciascun piano dell'edificio (elaborazione L. Doria).

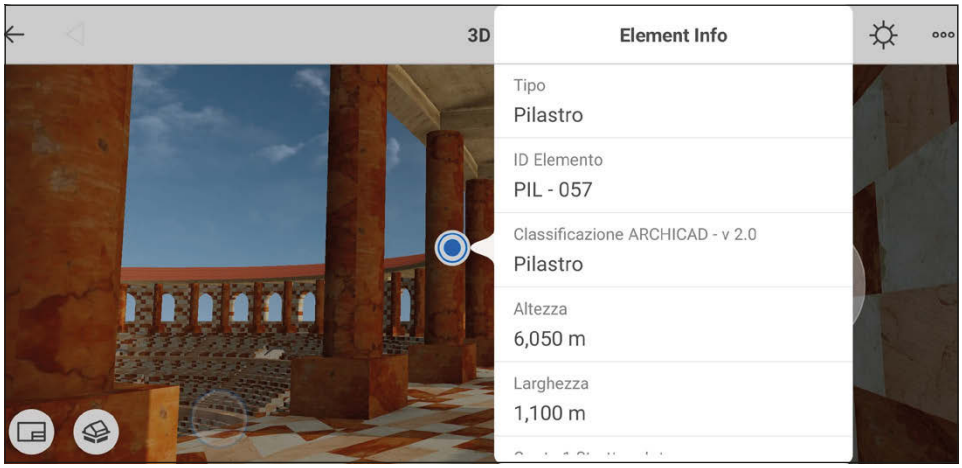


Fig. 10 – L'utilizzo del BIM per la valorizzazione e la divulgazione del patrimonio culturale. Esempio di interrogazione di uno degli oggetti semantici componenti il modello HBIM dell'anfiteatro romano di Verona tramite l'utilizzo dell'applicazione per device mobili "BIMx" (elaborazione L. Doria).

gestione della stessa. Ciò si è tradotto nella necessità di dover completamente rovesciare la tradizionale logica del Building Information Modeling, arrivando ad utilizzare quella propria dei processi HBIM e ArcheoBIM e scontrandosi con tutta una serie di criticità non sempre facili da risolvere. Tra queste la più evidente è stata sicuramente quella dovuta alla pressoché totale mancanza, nelle librerie standard dei due software scelti per la modellazione, di oggetti semantici in grado di descrivere realisticamente e sotto il profilo informativo le specificità degli elementi architettonici antichi. Problematicità che, come già riportato in precedenza (v. *supra*), è riscontrabile praticamente in tutti i casi studio aventi per protagonista questo tipo di approccio all'architettura antica e che si ripercuote negativamente sul grado di difficoltà e sui tempi di elaborazione del prodotto finale così come sulla sua autenticità.

Nei casi in questione la risposta a tale difficoltà è stata individuata nella modellazione *ad hoc* di tutti gli elementi parametrici necessari alla costruzione dei due modelli, attività che ha richiesto dei tempi di progettazione e realizzazione molto elevati e che ha puntualmente posto l'operatore di fronte ad una scelta, ovvero se privilegiare il contenuto informativo o l'aspetto realistico dell'oggetto semantico in via di sviluppo. A tal proposito è stata adottata una strategia equilibrata, cercando sempre di raggiungere un compromesso che non danneggiasse profondamente nessuno dei due valori in gioco.

Complessivamente, i risultati ottenuti sono soddisfacenti: i processi BIM utilizzati hanno infatti condotto alla realizzazione di prodotti finali estremamente efficaci tanto esteticamente quanto sotto il profilo informativo,

dimostrandosi perfettamente capaci di riprodurre le specificità delle componenti architettoniche antiche e di validare, tramite i canoni dell'edilizia contemporanea in essi insiti, le ipotesi ricostruttive proposte (Fig. 9). Significativa è, poi, anche la possibilità di aggiornare, interrogare e condividere i dati contenuti nei prodotti finali, fatto che rende il BIM un utile supporto alla pianificazione di interventi conservativi, e alla divulgazione, se condiviso e reso accessibile (Fig. 10).

Per concludere, con le opportune modifiche e migliorie, il Building Information Modeling può costituire un valido aiuto per lo studio e l'analisi degli edifici antichi, orientando con il suo rigido sistema di archiviazione dei dati la raccolta delle informazioni sul campo, "costringendo" l'operatore a ricostruire e ripercorrere le diverse tappe dei processi costruttivi antichi e aumentando la sinergia tra archeologi ed esperti di altre discipline nell'ottica di ottenere dei prodotti di qualità al servizio della ricerca, della tutela, della didattica e della valorizzazione.

L.D., C.P.

Luca Doria, Caterina Previato
Dipartimento dei Beni Culturali
Università degli Studi di Padova
luca.doria.1@studenti.unipd.it, caterina.previato@unipd.it

BIBLIOGRAFIA

Arayici Y. 2015, *Building Information Modeling*, London, Bookboon Publisher (https://bookboon.com/premium/reader/building-information-modeling).

Arayici Y., Counsell J., Mahdjoubi L., Nagy G., Hawas S., Dewidar K. 2017, *Heritage Building Information Modelling*, Leipzig, Routledge.

Bakr Khalil H. 2017, *HBIM and environmental simulation: Possibilities and challenges*, in Arayici *et al.* 2017, 190-202.

Banfi F., Stanga C., Brumana R. 2018, *A Digital workflow for Built Heritage: From SCAN-to-BIM process to the vr-tour of the Basilica of Sant'Ambrogio in Milan*, in M. Ioannides, *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation and Protection*, Cham, Springer, 334-343.

Basso P. 1999, *Architettura e memoria dell'antico. Teatri anfiteatri e circhi della Venetia romana*, Roma, L'Erma di Bretschneider, 262-267.

Basso P. 2013, *Gli edifici per spettacoli*, in P. Basso, G. Cavalieri Manasse, *Storia dell'architettura nel Veneto. L'età romana e tardoantica*, Venezia, Marsilio Editori.

Biancardo S.A., Intignano M., Veropalumbo R., Martinelli R., Calvanese V., Autelitano F., Garilli E., Giuliani F., Dell'Acqua G. 2023, *BIM approach for stone pavements in archaeological sites: The case study of Vicolo dei Balconi of Pompeii*, «Transportation Research Interdisciplinary Perspectives», 17 (http://dx.doi.org/10.1016/j.trip.2023.100755).

Bolla M. 2012, *L'arena di Verona*, Sommacampagna, Cierre Edizioni.

Bosco A., Carpentiero L., D'Andrea A., Minucci E., Valentini R. 2020, *A parametric model to manage archaeological data*, in *IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage 2020*, New York, Curran Associates, 220-225.

Bosco A., Carpentiero L., D'Andrea A., Minucci E., Valentini R. 2021, *Developing an ABIM system: A new prospective for archaeological data management*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 167-176 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.15).

Cangiano A. 2019, *Giugliano in Campania (Na). Liternum, dalla realtà al modello digitale* (https://www.archeomedia.net/giugliano-in-campania-na-liternum-dalla-realta-al-modello-digitale/).

Capparelli F. 2019, *Soluzioni BIM per l'architettura e l'archeologia: il caso del Kyrenia Shipwreck Museum, un percorso di 25 secoli*, Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Scuola di architettura, Firenze (https://www.bimportale.com/wp-content/uploads/2021/03/FI-Soluzioni-BIM-per-l%E2%80%99architettura-e-l%E2%80%99archeologia.pdf).

Carpentiero L. 2020, *Il BIM come modello di gestione di un sito archeologico. Oltre i limiti dell'oggetto parametrico tra criticità e nuove proposte*, «Newsletter di Archeologia CISA», 11, 69-89.

Counsell J., Nagy G. 2017, *Participatory sensing for community engagement with HBIM*, in Arayici *et al.* 2017, 242-256.

Counsell J., Taylor T. 2017, *What are the goals of HBIM?,* in Arayici *et al.* 2017, 15-31.

Del Pozzo E., Balletti C. 2023, *Bridging the gap: An open-source GIS+BIM system for archaeological data. The case study of Altinum, Italy*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLVIII-M-2, 491-498 (https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-491-2023).

Eastman C.M. 1974, *An Outline of the Building Description System* (https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED113833.pdf).

Edwards J. 2017, *It's BIM - but not as we know it!*, in Arayici *et al.* 2017, 6-14.

Fai S., Graham K., Duckworth T., Wood N., Attar R. 2011, *Building Information Modeling and Heritage Documentation* (https://www.cipaheritagedocumentation.org/wp-content/uploads/2018/12/Fai-e.a.-Building-information-modelling-and-heritage-documentation.pdf).

Garagnani S., Gaucci A., Govi E. 2016, *ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 251-270 (https://doi.org/10.19282/AC.27.2016.13).

Garagnani S., Gaucci A., Moscati P., Gaiani M. 2021, *ArchaeoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bologna, Bononia University Press.

Garagnani S., Luciani S.C., Mingucci R. 2011, *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura. Building Information Modeling: Digital technology serving architectural design*, «Disegnare con», 5-19.

Garagnani S., Luciani S.C., Mingucci R. 2012, *Dal CAD al BIM: evoluzione di acronimi o rivoluzione nel mondo della progettazione?*, «Disegnare idee immagini», 44, 68-79.

Gaucci A., Garagnani S., Manfredini A.M. 2015, *Reconstructing the lost reality. Archaeological analysis and transmedial technologies for a perspective of Virtual Reality in the Etruscan city of Kainua*, in R. Scopigno, G. Guidi (eds.), *Proceedings of the 2nd International Congress on Digital Heritage*, 2, 21, 1-8, Granada, IEEE.

Giuliari B. 1821, *Relazione degli scavi fatti nell'anfiteatro di Verona l'anno 1819*, Verona.

Golvin J.C. 1988, *L'amphiteatre romain: essai sur la theorisation de sa forme et de ses fonctions*, Paris, Centre Pierre Paris.

Krizmanić A. 2016, *Amfiteatar u Puli: Istraživanja o izvornom izgledu iz sredine 1. st. pr. Kr.*, «Prostor», 24, 133-155.

Krizmanić A. 2017, *Amfiteatar u Puli: Putovi kretanja gledatelja i stubišni tornjevi*, «Prostor», 25, 217-239.

Krizmanić A. 2018, *Amfiteatar u Puli: Vodoopskrbni sustav*, «Prostor», 26, 219-231.

Krizmanić A. 2019, *Amfiteatar u Puli: Zbrinjavanje nečistih voda*, «Prostor», 27, 3-13.

Krizmanić A. 2020, *Amfiteatar u Puli: Velarij*, «Prostor», 28, 203-219.

Maffei S. 1728, *Degli anfiteatri e singolarmente del veronese*, Verona, Alberto Tumermani Editore.

Maggi S. 2017, *Anfiteatri e città nella Cisalpina romana (dall'antichità al contemporaneo)*, Pavia, Pavia University Press.

Mlakar Š. 1997, *L'anfiteatro di Pola*, Pola, Museo Archeologico dell'Istria.

Murphy M., McGovern E., Pavia S. 2013, *Historic Building Information Modelling. Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*, «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», 76, 89-102.

Pompei A. 1877, *Studi intorno all'anfiteatro di Verona*, Verona, Tipografia Apollonio.

Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. 2018, *BIM handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers*, New Jersey, Wiley.

Sala F. 2023, *From Vitruvio to ArchaeoBIM. BIM reconstruction of the archaeological context of Massaciuccoli (LU)* (https://www.mappalab.eu/en/from-vitruvio-to-archaeobim-bim-reconstruction-of-the-archaeological-context-of-massaciuccoli-massarosa-lu/).

Scandurra S. 2020, *La modellazione informativa del patrimonio architettonico. Sperimentazioni e processi Cloud-to-HBIM*, Roma, Aracne.

Scianna A., Serlorenzi M., Gristina S., Filippi M., Paliaga S. 2015, *Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 7, 199-212 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_7/22_Scianna_et_al.pdf).

Tosi G. 2003, *Gli edifici per spettacoli nell'Italia romana*, Roma, Quasar.

ABSTRACT

In recent years, the experience gained in the field of historical built heritage has led scholars to propose Building Information Modeling as a new approach to archaeological research, fostering the birth and development of a new method to be ascribed to the vast family of BIM processes: ArchaeoBIM. What are the advantages and limitations of this technique? What specific skills does it require? What is its value in terms of costs and benefits? What difficulties does it present? To what results does it lead? The following contribution aims to answer these questions and to analyse the potential, advantages and limits of this particular field of application of BIM through the presentation of two case studies, namely the Roman amphitheatres of Verona and Pula, for each of which a BIM model has been created based on data obtained through traditional archaeological research methods. To this end, after an excursus on the genesis and development of BIM and its application to contexts belonging to the historical built environment and archaeology, the workflow followed, the tools used, the difficulties encountered and the results obtained will be illustrated for each case study.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 447-472
doi 10.19282/ac.35.1.2024.27

EL PROYECTO SIAPVA: UN SISTEMA DE INFORMACIÓN ARQUEOLÓGICA PARA EL ÁREA DE PALAZZO DE VILLA ADRIANA (TÍVOLI)

1. Introducción

Como es bien sabido, Villa Adriana constituye uno de los yacimientos arqueológicos más importantes de Italia. Las razones que le conceden tal privilegio son especialmente la importancia intrínseca del lugar, una villa imperial que ocupa un área de más de 120 hectáreas, su excepcional estado de conservación o su destacado papel en la adquisición y apertura al público de yacimientos arqueológicos por parte de la república italiana, gracias a su temprana incorporación al patrimonio del estado italiano, en 1870. A ello habría que añadir su larga tradición en la investigación en arquitectura romana y el hecho de ser fuente de inspiración de arquitectos de todas las épocas, circunstancias que en ambos casos comienzan ya con Pirro Ligorio. También de importancia es el hecho de tratarse de un yacimiento declarado Patrimonio Mundial, en 1999, o el destacado número de visitantes con que cuenta en relación al resto de los yacimientos arqueológicos italianos.

La incuestionable importancia de Villa Adriana ha propiciado que durante los últimos siglos haya sido objeto de innumerables excavaciones, en los primeros momentos movidas por la mera búsqueda de las excepcionales piezas de su ornamentación original, que aún conservaba el yacimiento y que hoy se encuentran dispersas por la mayoría de los mejores museos y colecciones del mundo. Como consecuencia de la propia época en la que se llevó a cabo la mayor parte de las excavaciones en Villa Adriana y de los principios que provocaron la realización de esas excavaciones, lo cierto es que apenas si contamos con información de una mínima calidad de la inmensa mayoría de esas actuaciones, en el caso, también excepcional, de que se conserve alguna información al respecto. Ello obliga, aún más si cabe, a ser especialmente cuidadosos hoy en el proceso de documentación arqueológica en un yacimiento que incluso hasta hace poco más de quince años no contaba ni siquiera con una planta arqueológica suficientemente correcta y detallada (Fig. 1), circunstancia que afortunadamente hoy en día está ya resuelta (Adembri, Cinque 2006; las últimas incorporaciones a la planta en Eramo, Ottati 2018).

Todo ello, en definitiva, convierte a Villa Adriana en un yacimiento de gran interés desde el punto de vista científico y patrimonial, con grandes problemas referidos a la pérdida y dispersión de la documentación relativa a las excavaciones efectuadas en el yacimiento y a las piezas recuperadas en él.

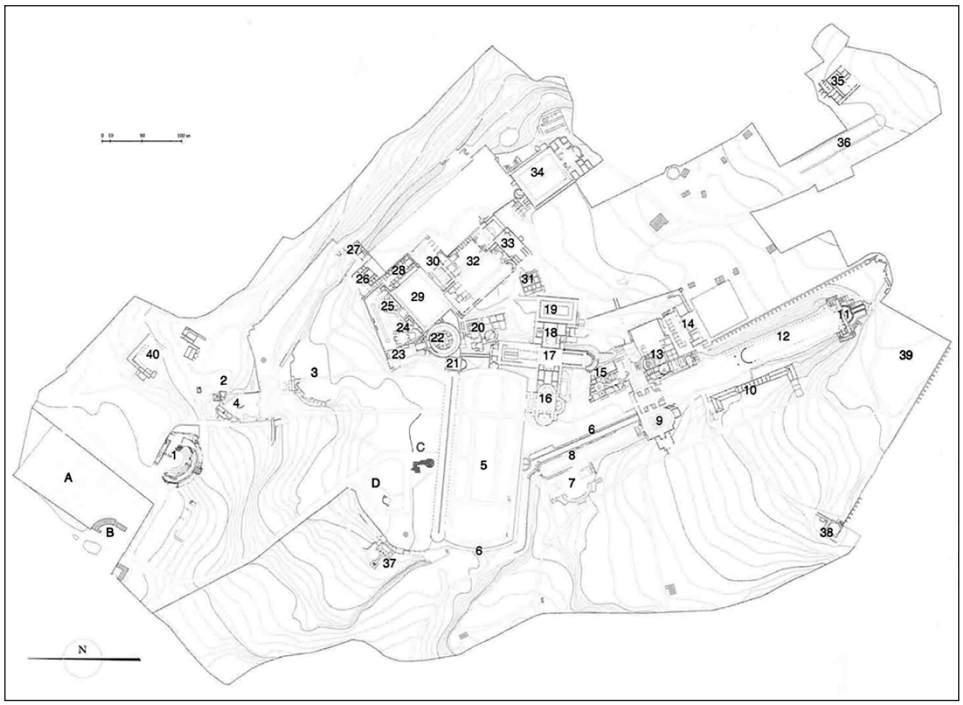


Fig. 1 – Planta de Villa Adriana en la que se muestra el área de Palazzo con el nº 32 (da Adembri, Cinque 2006).

2. El proyecto de investigaciones arqueológicas del Palazzo de Villa Adriana

En el año 2013, desde el Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, comenzamos un proyecto de investigación arqueológica centrado en el estudio del área de Villa Adriana conocida como Palazzo, que contemplaba como una de sus principales actividades la excavación arqueológica.

Este proyecto contaba como precedente con el proyecto que el mismo equipo desarrolló en el Teatro Greco de Villa Adriana entre los años 2003-2012 (Hidalgo 2013, con la bibliografía anterior). Los trabajos de excavación arqueológica e investigación en el Teatro Greco de Villa Adriana ya demostraron la complejidad de la zona y el importante volumen de información de distinto tipo que debía procesar el equipo, contando con los datos proporcionados por la estratigrafía, el análisis de las estructuras originales del edificio, el estudio de los distintos procesos de intervención



Fig. 2 – Complejidad arquitectónica en el área del Palazzo (Seminario de Arqueología UPO).

o restauración que en distintos momentos se llevaron a cabo en el teatro y el ingente volumen de material arqueológico, especialmente fragmentos de mármol procedentes de la decoración arquitectónica, recuperados durante la excavación.

Por su parte, el proyecto que aquí nos ocupa, actualmente en curso, se centra en un área de especial complejidad de Villa Adriana (Fig. 2). Ello es debido a que este espacio, que constituye la primera residencia del emperador en Villa Adriana, se superpone a la conocida como Villa Republicana, esto es, la villa preexistente, quizás propiedad de Augusto (Cinque 2016), ya estudiada a fondo con anterioridad por G. Lugli (1926-27, 1932, de la que una parte importante de las estructuras que la conformaban se integraron en la nueva villa imperial.

El deseo expreso, que se percibe cada vez con mayor incidencia a medida que avanzan nuestras investigaciones en la zona, de conservar a la vista determinados elementos de la villa preexistente (Hidalgo 2018; Hidalgo *et al.* 2020), junto a la conservación, ya solo por razones meramente utilitarias, de otros elementos de esa villa, hacen de la zona del Palazzo el área sin duda más compleja de Villa Adriana en lo concerniente a la presencia de distintos momentos constructivos, con una difícil estratigrafía muraria y la utilización de diversas técnicas edilicias. A ello habría que añadir también la propia complejidad arquitectónica que adquiere el área en época adrianea, con la incorporación de elementos singulares que llegan a alcanzar indudablemente la categoría de *unicum* y que convierten

a esta zona en un espacio de auténtica experimentación arquitectónica en los primeros momentos en los que se está construyendo Villa Adriana (Hidalgo 2020). Más tarde, los elementos aquí concebidos se extrapolarán, ya con mayores proporciones, complejidad y monumentalidad, a espacios tan relevantes como el complejo Canopo-Serapeo.

La progresiva constatación de estas circunstancias, junto al crecimiento del volumen de información proporcionado por la sucesión de distintas campañas de documentación y de excavación arqueológica, con la generación de un cúmulo de documentación de distinta índole cada vez más abundante y complejo, ha hecho aconsejable poner en marcha el proyecto SIAPVA como instrumento de gestión e investigación del área del Palazzo de Villa Adriana.

3. Revisión de la literatura

En las últimas tres décadas se ha debatido mucho sobre la Arqueología y el papel de los GIS (Forte 2002; Mayoral, Celestino 2011; Averett *et al.* 2016) y los BIM aplicados al patrimonio (Garagnani *et al.* 2016; Garagnani, Gaucci 2020; Guerrero, Pizzo 2021). La nota dominante en todas las publicaciones es la potencialidad de la arqueología digital para el estudio del pasado, advirtiendo eso sí, que no debe confundirse la finalidad con los medios.

Uno de los principales problemas de la aplicación de las TIC al patrimonio cultural se refiere a la selección de sistemas de archivo y estructuras de datos adecuados. El proceso de archivo, independientemente de cómo se realice, suele ser un proceso clave en la gestión del patrimonio cultural. Por supuesto, el hecho de que se produzcan enormes conjuntos de datos que deben gestionarse todos durante un largo período de tiempo genera algunos problemas, al igual que el requisito de que el proceso de catalogación sea lo suficientemente eficaz. Algunos de los objetivos de la catalogación y el archivo de datos en SIAPVA son: obtener una visión estructurada del área de Palazzo o realizar un servicio de documentación adecuado.

El rol de las distintas administraciones en la gestión sostenible del patrimonio cultural ha sido subrayado por las conferencias de la UNESCO y asimismo ocupa un lugar destacado en la agenda de la UE con especial atención a la gestión de riesgos y emergencias. En la actualidad merece la pena destacar el proyecto *vincoli in rete*, que desde el año 2012 permite el acceso en consulta a la información sobre el patrimonio cultural arquitectónico y arqueológico mediante la integración de los sistemas fuente, con servicios de interoperabilidad entre los sistemas de información de la administración, así como funciones de búsqueda alfanumérica y cartográfica de bienes culturales nutriéndose de bancos de datos previos como *Sistema informativo Carta del Rischio* de l'Istituto Superiore per la Conservazione ed

il Restauro; S*istema Informativo Beni Tutelati* de la Direzione Generale Belle Arti e Paesaggio; el SITAP de la Direzione Generale Belle Arti e Paesaggio y el SIGECweb del l'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione.

De todos los bancos de datos que forman parte del proyecto *vincoli in rete* nos detenemos brevemente en dos. En primer lugar, la *Carta del Rischio Italiana*, utilizada ya para el caso de estudio de Villa Adriana implementado un modelo experimental de análisis de variables múltiples con carácter predictivo (Lazzeri 2011). La *Carta del Rischio* está dotada con dos servicios específicos. El primero de ellos, Institutos de seguridad y centros culturales, con la misión de elaborar y adoptar directrices sobre la seguridad del patrimonio cultural, la prevención de catástrofes naturales y riesgos antropogénicos como la prevención de incendios. El segundo servicio, Emergencias y reconstrucción, con la tarea de coordinar las actividades de emergencia para la seguridad del patrimonio cultural mueble e inmueble, así como coordinar las acciones de recuperación y reconstrucción en las zonas afectadas por los acontecimientos catastróficos. *La Carta del Rischio* es un GIS que ha adoptado un enfoque estadístico para la construcción de su modelo de riesgo. El sistema asume como elemento georreferenciable mínimo el inmueble arquitectónico y arqueológico y el municipio como elemento mínimo de la escala territorial. Por ello la representación cartográfica de los datos muebles se aplica el protocolo ya implementado en el SIGECweb (Cacace, Corrado 2018, 53).

En segundo lugar, nos aproximanos al banco de datos del SIGECweb. De acuerdo con la metodología, instrumentos y cooperación entre los sistemas informativos para la gestión del conocimiento las fichas son organizadas en tres macro categorías, bienes muebles, bienes inmateriales y bienes inmuebles (Negri 2016, 104). La última tipología es la que engloba al Palazzo de Villa Adriana. No obstante, a su vez, conviene subrayar la existencia de un tipo específico de fichas catalográficas para la arquitectura. Esta ficha tiene un importante papel la georreferenciación a través de puntos, así como la caracterización arquitectónica de las estructuras y espacios. El requisito previo para cualquier intercambio de información es la existencia de un "lenguaje común" de interoperabilidad entre sistemas, pero, para poder cooperar, la información debe recopilarse de conforme a unas reglas precisas. De ahí, que el compromiso del proyecto SIAPVA se orienta, actualmente, hacia el seguimiento del vocabulario compartido, para la cooperación entre los bancos de datos del proyecto *vincoli in rete*. Con la finalidad de que el SIAPVA pueda ser una herramienta viva para el conocimiento del patrimonio integrado en una red que pueda garantizar la protección y gestión de la arquitectura de datos.

Igualmente interesante resulta el novedoso Geoportale Nazionale per l'archeologia. Se trata de un hito importante dentro de un largo proceso

de estudio y trabajo llevado a cabo por el Instituto Central de Arqueología (ICA) dentro de la Dirección General de Arqueología, Bellas Artes y Paisaje del Ministerio de Cultura, conseguido gracias a la colaboración de las superintendencias que operan en la zona, que facilitaron los datos, y a la aportación de arqueólogos, otras organizaciones y autónomos. Desde el enlace facilitado puede accederse a tres visualizadores de información, de ellos destacamos los datos de *indagini in concesione* donde se puede encontrar información de nuestro proyecto.

Finalmente, para ofrecer algo más que simple cartografía 2D y geocodificación, un estudio completo debe generar soluciones en 3D orientadas a la restauración y musealización y adecuación para la visita de los restos patrimoniales (Bertocci, Minutoli 2016; Bertocci, Ventimiglia 2016; Bertocci, Parrinello 2017). Por tanto, las experiencias previas, así como las implementadas por nuestro equipo, son fundamentales no solo para la documentación, análisis e interpretación de los ambientes del Palazzo sino para la correcta difusión de este espacio en el conjunto de Villa Adriana.

4. Principales interrogantes, hipótesis y objetivos

¿Pueden integrarse los datos correspondientes a la información histórica (planos, dibujos e informes de excavación) y arqueológica (lectura de paramentos, documentación de excavaciones, estudios de materiales o fotointerpretación) en un sistema de información que permita la gestión y consulta de los resultados obtenidos? ¿Puede ayudar este proyecto a caracterizar las estructuras originales y restauradas? Más aún ¿pueden estos factores combinados ayudar a la conservación del monumento?

Desde la muerte del emperador Adriano (138 d.C.), su personal proyecto arquitectónico inacabado construido en las inmediaciones de *Tibur* es escasamente frecuentado por sus sucesores. Este hecho favoreció la amortización paulatina de las estructuras erigidas que han llegado hasta nuestros días como una de las ruinas más célebres. En estos 19 siglos, los espacios de Villa Adriana han sufrido unas transformaciones significativas tanto por la acción propia del paso del tiempo como, sobre todo, de las intervenciones antrópicas. Entre estas actuaciones cabe destacar su uso como cantera de materiales, así como varias fases de destrucción sucesivas a manos de visigodos, godos y longobardos, pero también de etapas de restauración del monumento a partir de su redescubrimiento en el siglo XV (Cinque, Hidalgo 2018, 245). Nuestra hipótesis de trabajo es que el área del Palazzo no constituye una excepción y estuvo imbuida de las mismas dinámicas.

El objetivo del presente trabajo ha sido elaborar un Sistema Informativo Arqueológico del Palazzo Imperiale de Villa Adriana. En el interior

de su área pueden reconocerse, a su vez, varios ambientes de distintas características y función como el Ninfeo, la Sala a Tres Naves, el Triclinio Acuático o el Stibadium. Además de apoyar la tarea más importante para el Istituto Autonomo Villa Adriana e Villa d'Este, proteger los bienes arquitectónicos, arqueológicos, históricos y naturalistas, sobre todo sirve para procesar de modo analítico el conocimiento de las evidencias arqueológicas, contextualizándolas en un marco histórico-topográfico más amplio, el complejo arquitectónico de la villa imperial. En otras palabras, SIAPVA se creó con el objetivo principal de orientar la nueva planificación de la investigación arqueológica invasiva y no invasiva en el Palazzo cartografiando y caracterizando tanto el estado actual de los restos arquitectónicos como algunas de las fases principales de su historia, que por tanto incluye los restos conservados, así como aquellos otros elementos arqueológicos que son frutos inéditos de las campañas de documentación, análisis e interpretación llevadas a cabo por el Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide.

Este proyecto se ha abordado con una doble vertiente y un doble objetivo. Por un lado, identificar, cartografiar y caracterizar todos los espacios que forman el área del Palazzo y por otro, territorializar sobre la ortofotografía y el Digital Surface Model más reciente disponible generada por nosotros mismos en el año 2021. La vinculación entre ambas líneas de trabajo ha permitido generar una base de referencia, continua, codificada y actualizada, que posibilita una más ágil localización de las estructuras arqueológicas del Palazzo y sus diferentes espacios de territorio (=A). El concepto contexto es esencial para los estudios arqueológicos. El proyecto centra su atención en un área de Villa Adriana de gran interés, gracias sobre todo a que forma parte de los espacios de residencia imperial inicialmente construidos en la Villa. El complejo de Palazzo se superpone a la villa preexistente, la conocida como "villa republicana", parcialmente incorporada en la villa adrianea, lo que le proporciona especial complejidad e interés. Los datos espaciales contienen mucha más información de la que a primera vista nos muestran. Todo dato de esta naturaleza es el resultado de un proceso localizado espacialmente, el cual podemos conocer en mayor medida si sabemos explotar la información subyacente que dicho dato contiene.

Así, los patrones en los que se disponen las estructuras de las diversas fases de estudio, villa republicana y villa adrianea, dicen mucho acerca del comportamiento de las sociedades que los crearon. La explotación del potencial del SIAPVA se realiza mediante el estudio cuantitativo de los fenómenos manifestados en el espacio. Ello indica una importancia clave de la posición, la superficie, la distancia y la interacción a través del propio espacio (Anselin 1989). Las técnicas y modelos que hacen un

uso explícito de la referencia espacial de cada dato particular producen resultados de diversa clase: capas de datos geográficos en cualquiera de los formatos posibles y con cualquier tipo de información, tablas de datos escalares o vectores. El razonamiento y consulta geográfica en SIAPVA permite una amplia serie de formulaciones utilizando para ello los datos geográficos. En ocasiones, los resultados expresan la misma variable que el dato de partida. Por ejemplo, el cálculo del área de extensión de los distintos ambientes que conforman el palacio imperial. En otros casos, las variables de entrada y salida son distintas. Por ejemplo, a partir del DTM, calculamos un DEM y a partir de este último un mapa de pendientes que reclasificamos y nos ayudará con la interpretación de cómo se transporta el agua por gravedad hasta el área de Palazzo (Fig. 3). Las posibilidades de cuestionar los datos son, pues, múltiples: posición y extensión, forma y distribución, asociación espacial, interacción espacial y variación espacial (Nyerges 1991).

5. Metodologías integradas en el SIAPVA

En el último decenio, la investigación arqueológica ha experimentado una gran transformación digital. Estos cambios están orientados a la consecución de una interconexión de datos dentro de un ecosistema propio, en el que los procesos se relacionan entre sí y se desarrollan en función de



Fig. 3 – SiteMap del modelo unitario de Palazzo en el visor de captura de realidad Leica TrueView Publisher (Seminario de Arqueología UPO).

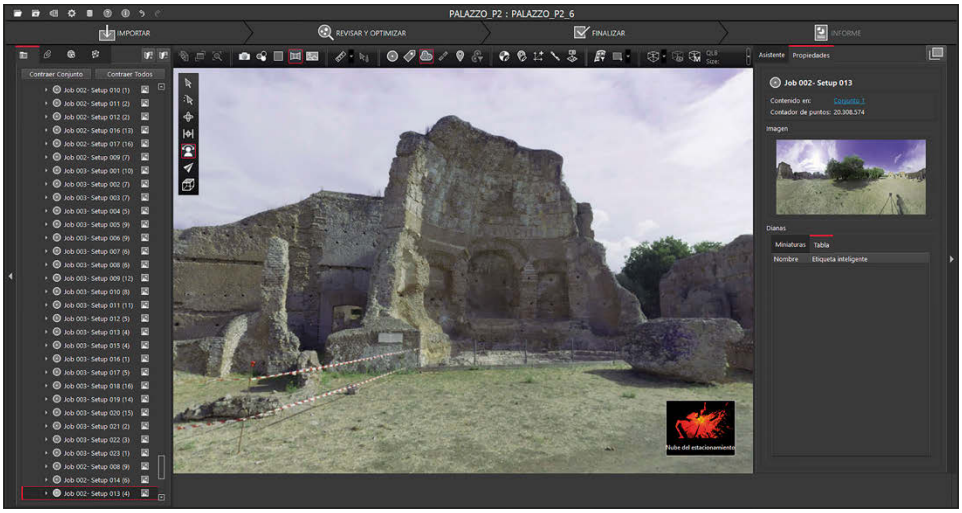


Fig. 4 – Estacionamiento panorámico en el entorno de trabajo del laser scanner (Seminario de Arqueología UPO).

diferentes factores en el mismo proyecto. Entre las principales características de estos ecosistemas destacan la digitalización de procesos, la gestión de la información y la difusión de la misma.

5.1 *Digitalización de procesos*

El SIAPVA es un proyecto con un marcado carácter digital en el que se integra la adquisición de datos obtenidos mediante metodologías invasivas (excavación arqueológica) y no invasivas (laser scanner 3D, drone y gps). Los registros de las diferentes fuentes de información confluyen en un Geographical Infomration System (en adelante GIS) en el que se gestiona toda la documentación. El laser scanner elegido para la realización del proyecto es el modelo 3D Leica RTC 360. Las características particulares de este equipo proporcionan un método de documentación no invasivo y de alta resolución para comprender los yacimientos arqueológicos (Fantini, Pini 2011; Ottati 2017; Sommaini *et al.* 2019). Una de las principales aplicaciones es la extracción de información cartográfica a partir de la point cloud que permite mediciones con una precisión milimétrica para estudiar la dinámica topográfica de los diferentes espacios del complejo arquitectónico (Fig. 3). La documentación en 3D de alta resolución tiene como objetivo capturar con precisión las técnicas constructivas del monumento para obtener la secuencia histórica del Palazzo. A su vez, esta adquisición de datos permitirá la valoración del grado de preservación de las estructuras, mejorando la

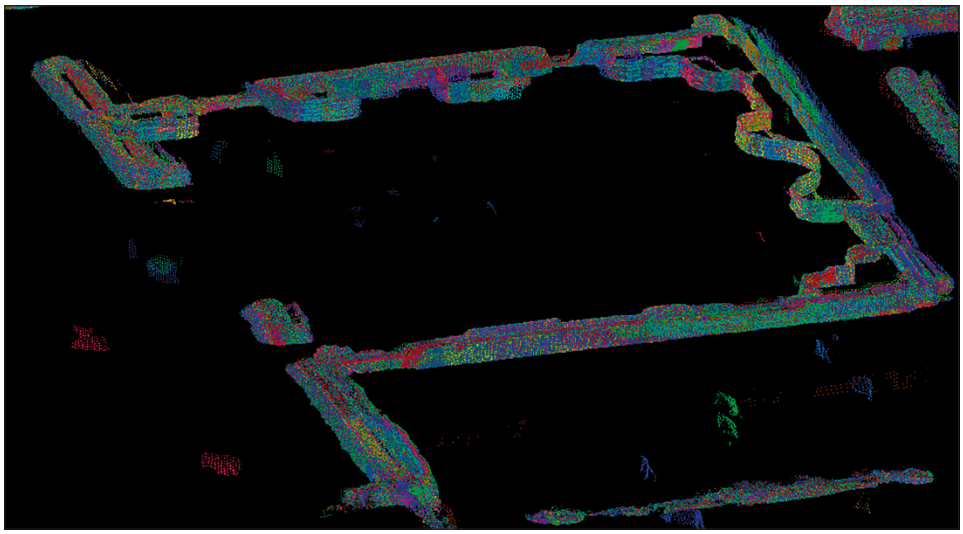


Fig. 5 – Sección Z en el sector de la biblioteca de Palazzo (Seminario de Arqueología UPO).

toma de decisiones sobre las medidas de conservación positivas para mantener o restaurar el sitio. Asimismo, el equipo permite capturar imágenes panorámicas a 360 grados a todo color (Fig. 4) que se superponen a la nube de puntos, hecho que permitirá en un futuro plantear una propuesta de visita virtual, muy adecuada ante coyunturas pandémicas, permitiendo acercar el patrimonio al público cuando las situaciones de emergencia no posibilitan los desplazamientos al lugar. Otra de las bondades del equipamiento es el uso de un potente software Cyclon 360 que permite la obtención de secciones arquitectónicas de forma automatizada con una precisión milimétrica (Fig. 5).

El drone elegido para la documentación del área de Palazzo es el modelo Anafi Thermal de la compañía Parrot. Las características de este equipo permitieron equilibrar las resoluciones de la imagen térmica y de la imagen visible en una imagen fusionada de la información de las dos cámaras. La unidad óptica del drone combina un sensor de infrarrojos con electroóptica lo que posibilita identificar temperaturas en un rango entre -10º y +400º. La aplicación del drone al complejo arquitectónico permitió la adquisición de datos imprescindibles en dos vertientes. De una parte, el vuelo con imágenes visibles permitió la generación de una fotogrametría de mapeo profesional. El postproceso se realizó con el software PIX4D mapper v.4.6.4. Las imágenes RGB capturadas fueron importadas para la creación de un Digital Surface Model (Fig. 6). En lo

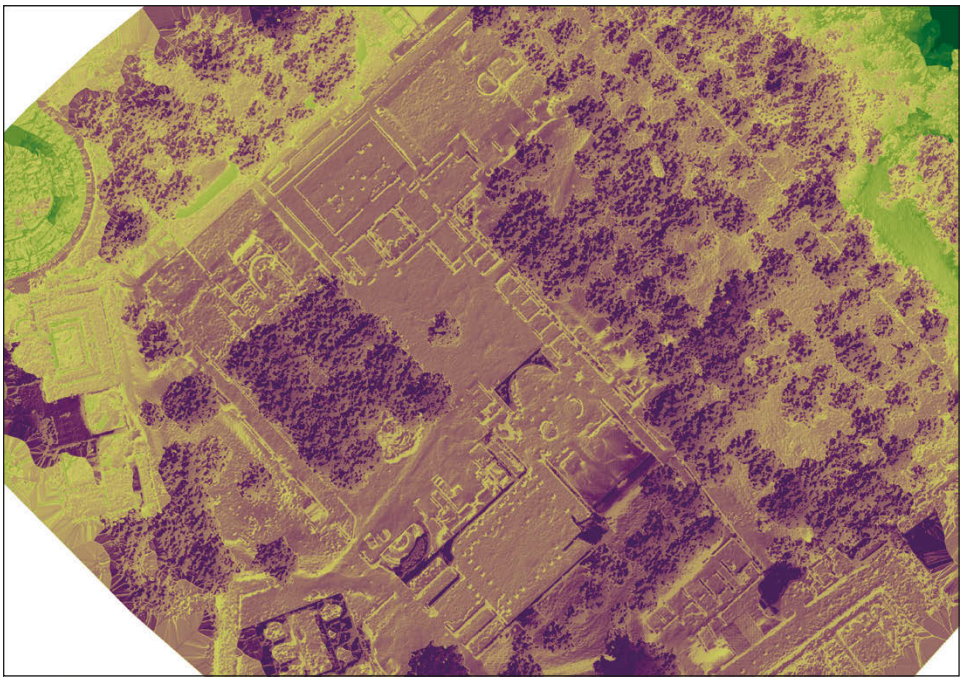


Fig. 6 – Digital Surface Model área de Palazzo (Seminario de Arqueología UPO).

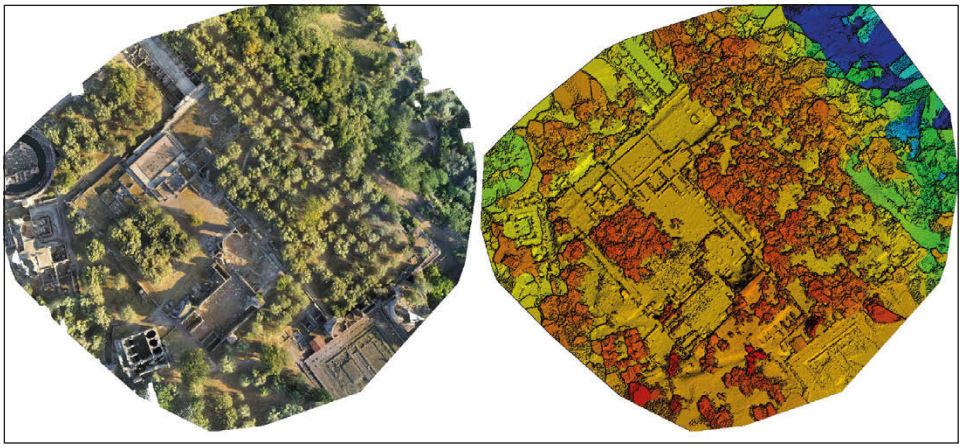


Fig. 7 – Informe de calidad. Imágenes previas (Seminario de Arqueología UPO).

que respecta a la información técnica de los datos introducidos vamos a centrarnos a modo de ejemplo en la información generada por el dron por ser la que más resultados ha aportado (Ortomosaico; DSM, DTM). En este sentido, los modelos de las cámaras del *drone* utilizado son Anafi_4.0_4608×3456 (RGB), AnafiThermal_4.0_4032×3024 (RGB), Anafi Thermal_4.0_2304×1728 (RGB), AnafiThermal_4.0_3264×2448 (RGB). Entre otros parámetros de calidad destacamos la Average Ground Sampling Distance (GSD) con un valor de 1,45 cm, sobre un área cubierta de 4.9596 ha., con un tiempo de vuelo de 24 minutos y 35 segundos. En lo que respecta a la calidad de las imágenes estas poseen una mediana de 56.451 puntos clave por cada una de las imágenes utilizadas para la nube de puntos y la generación de los modelos. De la muestra inicial del vuelo se tomaron un total de 329,13 de ellas se descartaron por no reunir los mínimos de calidad, de las 316 por tanto que compusieron el modelo 312 estaban correctamente calibradas (98%). En lo que respecta a la optimización de cámaras hay un 0,75% de diferencia relativa entre los parámetros internos iniciales y optimizados de la cámara. En lo relativo al *matching* la media es

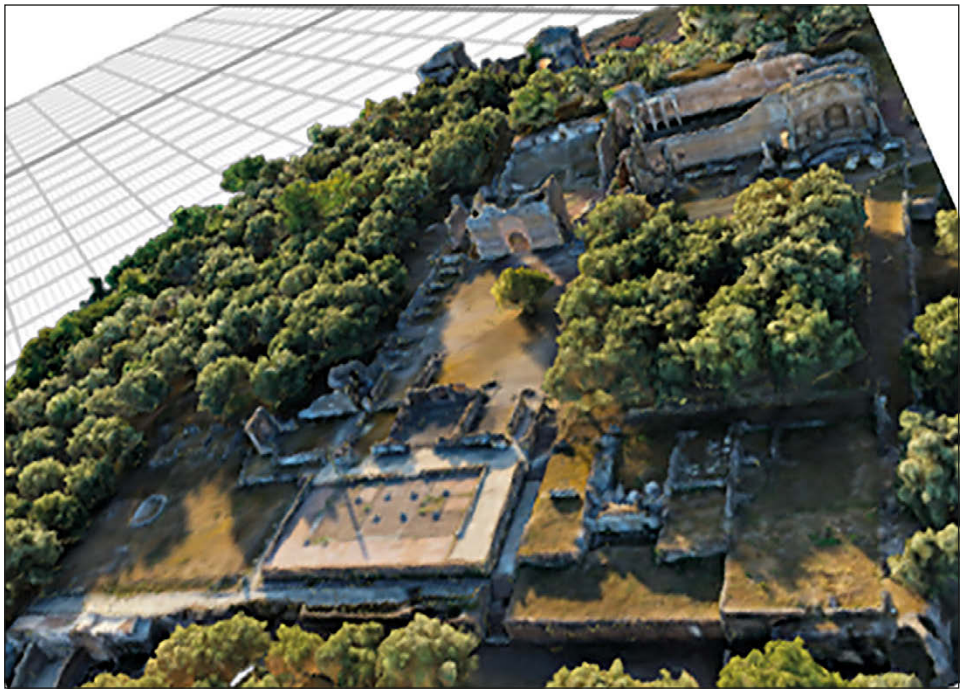


Fig. 8 – Nube de puntos densificada del Palazzo (Seminario de Arqueología UPO).

de 13429,1 coincidencias por imagen calibrada. Para la georreferenciación del modelo se utilizaron 3D *Ground Control Points*. En lo que respecta a la varianza de geolocalización absoluta, el porcentaje de error medio de reproyección [m] es de 0,68 para la X, 0,90 para la y, 0,67 para la Z. En lo que respecta a la varianza de geolocalización relativa, el porcentaje de error medio de reproyección [m] es de 0,09 para la X, 0,09 para la Y, 0,11 para la Z. En relación a la Varianza de orientación de la geolocalización, Error RMS de geolocalización de los ángulos de orientación dado por la diferencia entre los ángulos de orientación iniciales y calculados de la imagen es de1.0 para Omega, 0.9 para Phi, 1,4 Kappa. El *overlap* del modelo arrojó un número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico de más de 5. El número de observaciones de puntos clave 2D para el ajuste de bloques de paquetes 4442261 mientras que el número de puntos 3D para el ajuste del bloque del haz 1481228 siendo el error

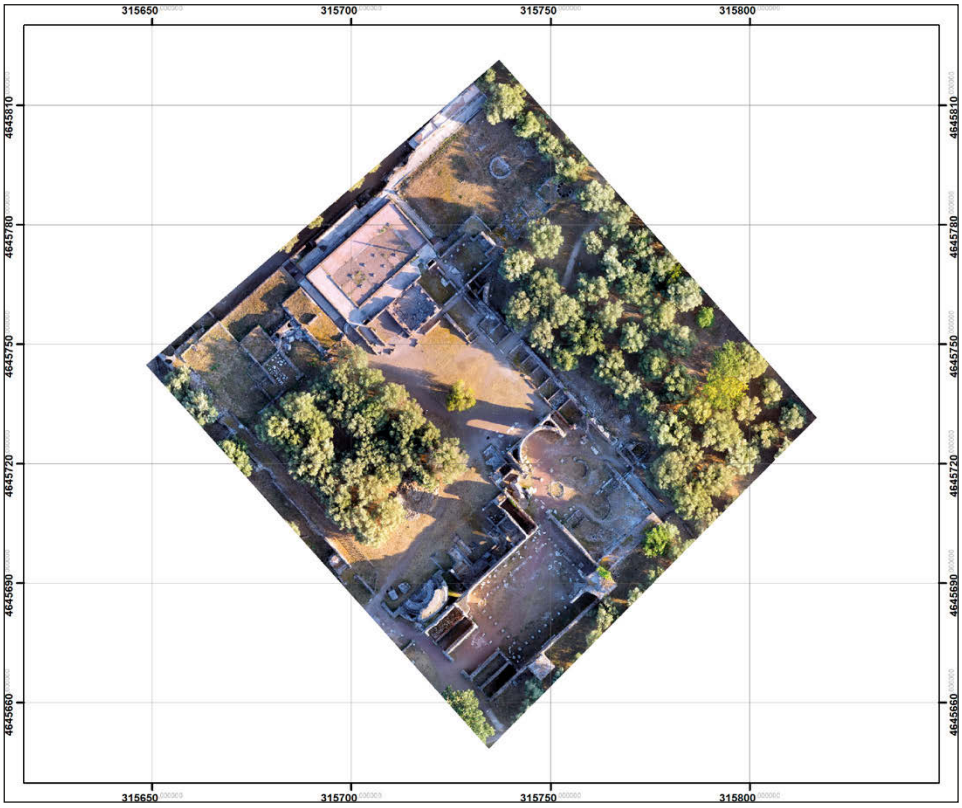


Fig. 9 – Ortoimagen aérea obtenida vuelo dron georreferenciada (Seminario de Arqueología UPO).

medio de reproyección [píxeles] 0,193. En última instancia, respecto a los detalles de la densificación de nubes de puntos, el número de puntos 3D densificados es de 28769974, con una Densidad media (por m³) de 919,32.

El control de todos los parámetros analizados es garante de la calidad de los modelos generados y certifica que la metodología empleada, así como las técnicas utilizadas han sido adecuadas al caso de estudio. A lo largo del proceso, el control de la calidad de los datos genera una vista previa de los resultados (Fig. 7) con parámetros como los detalles de calibración y otros indicadores como los keypoint por imagen, la optimización de la cámara o los matching por imagen calibrada que proporcionan un resultado con una precisión subcentimétrica. El resultado final es la obtención por primera vez de una cartografía digital a partir de 329 imágenes, que sirven de base para la point cloud aérea densificada de toda el área del Palazzo de Villa Adriana (Fig. 8).

De otra parte, el vuelo con imágenes térmicas permite definir rangos de temperaturas para aislar los sectores de interés. Gracias al sensor radiométrico se pueden determinar las temperaturas máximas y mínimas de las escenas observadas en tiempo real. Asimismo, es posible seleccionar un punto específico en la imagen para obtener datos precisos y detallados de cada píxel. Las imágenes obtenidas servirán en un futuro para llevar una lista de control sobre riesgos de las estructuras y sus posibles afecciones debidas a la humedad. Los datos obtenidos con tecnologías no invasivas (laser scanner y drone) fueron georreferenciados con el equipo GNSS Leica Zeno FLX 100 smart antena y el software TcpGPS for Android. Este equipamiento permitió la adquisición de datos GNSS en campo, permitiendo mediciones y replanteos (Fig. 9). En el procesamiento de datos de la Rete GNSS Lazio se tuvieron en consideración los datos básicos necesarios para compensar la red con el software comercial (observables, efemérides, corrección de antenas y modelo de geoide).

5.2 *Gestión de la información*

Toda la documentación arqueológica generada durante las IX campañas (2013-2021) se gestiona desde la geodatabase SIAPVA. Una de las primeras tareas del proyecto fue la recopilación de toda la información histórica conocida para este sector de la Villa, atendiendo tanto a las plantas del Palazzo, como a la historiografía del edificio. En la siguiente fase, ya con trabajo de campo, la primera actividad desarrollada fue la elaboración de un catálogo documental fotográfico y analítico de todas las estructuras conservadas en la zona. El levantamiento planimétrico de los restos arquitectónicos con la indicación de las técnicas edilicias concentró los siguientes esfuerzos. De forma simultánea, se iniciaron los trabajos de excavación con la finalidad de obtener información de primera

mano (Hidalgo *et al*. 2015, 158-162). La documentación generada por las cinco primeras campañas arqueológicas (2013-2017) creció de manera logarítmica llegando a alcanzar un tamaño en disco de 285 GB. La información total contenida era de 59.095 archivos repartidos en 1396 carpetas. Este hecho dificultaba enormemente la consulta de los documentos. La necesidad de gestionar este volumen de datos obligó al equipo a pensar una estrategia de acceso y visualización útil para todo el registro. La respuesta a esta situación llegaría a partir de la VI campaña (2018) con el concurso de la tecnología SIG. La aplicación de un método de gestión masiva de datos ofrece una solución técnica al volumen de información generado llegando a convertirse en una herramienta heurística al servicio de la investigación (Moscati 2017, 52).

El SIAPVA nace con el objetivo de mostrar y analizar la información de naturaleza histórica y arqueológica mediante la producción de mapas temáticos, así como crear y administrar la información espacial. El proyecto SIAPVA propone valorar el potencial informativo de la arquitectura en relación con la topografía del área de estudio. Este objetivo general de la investigación utiliza el mapa interactivo como pieza central de funcionamiento. Las sociedades humanas piensan espacialmente por lo que los mapas del SIAPVA facilitan la comunicación y la comprensión de fenómenos sociales desarrollados en un marco topográfico concreto.

La nueva cartografía digital ofrece información arqueológica de una forma organizada. Esta tipología de mapas contribuye a la identificación de patrones. Esta herramienta es útil tanto para conocer la distribución por características edilicias de las estructuras arquitectónicas, como para comparar los cambios de uso de un espacio a lo largo del tiempo. Los mapas del SIAPVA se convierten en una ventana a resultados analíticos muy completos. Una vez determinadas las características constructivas de las estructuras resulta de interés distinguir los restos originales de aquellos que han sido restaurados.

La identificación de los elementos restaurados permite la correcta lectura histórico-diacrónica de las estructuras, pues las intervenciones de restauración arrojan una interesante información histórica entre la vida del monumento arqueológico y la evolución de la restauración sobre él. Así, las restauraciones aportan datos enriquecedores sobre la historia del monumento, de las técnicas constructivas utilizadas en cada período histórico y de las diferentes tendencias históricas de restauración (Bestué 2008, 442).

El análisis exhaustivo de las técnicas edilicias, atendiendo a los elementos restaurados de las estructuras arquitectónicas, ayuda, junto a otras variables, a plantear una propuesta de mapa de riesgos del área de estudio. En este caso la identificación, valoración y priorización de los riesgos sirve

para establecer un diagnóstico del estado de las estructuras. Con posterioridad a la determinación del carácter de las afecciones es posible aplicar un tratamiento o actuación para la conservación del monumento, con la idea de legar el valioso patrimonio arquitectónico del Palazzo. Como ya se ha dicho, esta zona constituyó un auténtico laboratorio de experimentación arquitectónica en su tiempo y fue modelo en otros edificios de Villa Adriana. Asimismo, sirvió como influjo para otras construcciones domésticas de las ciudades del Imperio, posiblemente incluso la propia Italica (Hidalgo *el al.* 2018), patria del emperador Adriano.

5.2.1 Arquitectura de datos del SIAPVA

El software elegido para el desarrollo del proyecto fue ArcGIS v.10.4 de la compañía ESRI. Desde la aplicación ArcCatalog se organiza, trabaja y administra la información en los espacios de trabajo y las geodatabases. Para el proyecto SIAPVA nos decantamos por una file geodatabse, ya que posibilita que cada dataset se aloje como un archivo que puede escalar hasta 1 Terabyte de tamaño, solventado de esta forma la visualización y consulta de la documentación de las campañas de excavación celebradas. La arquitectura de datos de la geodatabase está conformada por cinco dataset, a saber: U.E., estructura, caracterización, corte, y espacio. El dataset expresa la unidad mínima de análisis. Las unidades estratigráficas vienen representadas en el SIAPVA mediante feature class de points que simbolizan la localización de las unidades estratigráficas en el mundo real. Además, el point feature class aprovecha la funcionalidad del ESRI Attachment Manager como gestor de información (Corrales *et al.* 2018, 77-86), pues en esa localización se almacena toda la documentación generada para cada unidad estratigráfica en diferentes formatos de texto, imagen, planos, etc.

El SIAPVA utiliza la polyline feature class para diseñar digitalmente la forma de las estructuras que conforman la zona del Palazzo, así como para almacenar la información de atributos de especial interés. Entre los atributos de este campo destaca el registro de datos relativos a la identificación individual de los restos conservados, así como a la adscripción cronológica de las estructuras. De manera análoga, el SIAPVA representa mediante polyline feature class la caracterización de las estructuras. Este es el verdadero corazón de la geodatabase pues gestiona una ingente cantidad de datos en una variedad de formatos. Los atributos almacenados se refieren a la autoría de la ficha de registro, el espacio en que se insertan las estructuras, a las relaciones topológicas de las unidades estratigráficas, etc. Asimismo, mediante un campo tipo raster se almacena un diagrama secuencial que muestra la matriz de Harris de estas relaciones físicas directas entre unidades. El proceso del registro está semiautomatizado mediante la

configuración de dominios de la geodatabase. En este sentido, los atributos relativos a elementos estructurales se seleccionan de una lista de valores desplegables (cimentación, pavimento, arco, etc.). Mediante la definición de dominios se sistematizó de manera semiautomática, igualmente, los atributos relacionados con las técnicas edilicias (*opus incertum*, *opus quasi reticulatum*, *opus vittatum*, etc.).

En la polyline feature class caracterización se gestiona también la información relativa a los componentes, mediante dominios que actúan como casillas de verificación mediante desplegables con valores totales de sí o no, que aluden a la presencia o ausencia de tipos materiales como el mármol, ladrillo o pizarra. De manera similar se almacena la información relativa a los componentes de las argamasas, la definición de la coloración y consistencia de las argamasas se realiza mediante dominios desplegables con valores semiautomatizados. La polyline feature class caracterización almacena de manera sistemática información sobre restauraciones en el área de Palazzo. A partir de dominios que actúan como casillas de verificación mediante desplegables con valores totales de sí o no, se gestionan los tipos de intervenciones, los criterios utilizados para la diferenciación, los componentes utilizados en la restauración o la caracterización de la granulometría (coloración y consistencia).

Otros apartados registrados en caracterización tienen que ver con el registro de interfacies. Los valores de este campo disponibles actualmente son mechinales (andamio, encofrado, forjado), arrasamiento, saqueo, replanteo y vano. Todos ellos se sistematizaron como listas desplegables de valores si/no. Además, la polyline feature class caracterización contiene información relativa a módulos y dimensiones de diferentes elementos, así como la manera en que se disponen. Finalmente, existen dos campos relacionados con la interpretación y síntesis de los aspectos caracterizados.

Los dataset corte y espacio son representados mediante polygon features class. La documentación sistematizada en corte hace referencia al número identificativo de la unidad corte, la campaña de excavación en la que se acometió el corte arqueológico, relacionado con el espacio del Palazzo donde se realizó el corte, así como la definición. Todos estos elementos están orientados a ubicar los cortes. No obstante, el campo que reviste una mayor utilidad es el de área, pues informa de los m² excavados en ese corte. El espacio identifica cada uno de los sectores del Palazzo, ya sean estancias abiertas o cerradas. Además, el campo área informa de la superficie útil de dichos espacios en m².

En síntesis, la arquitectura de datos se basa en una actividad conceptual que implementa los datos históricos conocidos de los edificios mediante la documentación arqueológica, posibilitando la gestión y consulta de todos los datos relacionados en el proyecto de investigación.

5.3 *Difusión de la información*

En el estado actual de los trabajos, la difusión de la información generada por los estudios efectuados en el seno del proyecto de investigación en el Palazzo de Villa Adriana ha tenido una doble vertiente. En primer lugar, como por otra parte es lógico, el ámbito de difusión fundamental ha sido el académico, con la elaboración de textos científicos en los que se aborda el estudio y análisis de los resultados de las excavaciones e investigaciones arqueológicas de campo. Esta vertiente eminentemente académica se divide a su vez en una doble línea de trabajo. Por una parte, la publicación de los resultados de la campaña de excavación arqueológica efectuadas anualmente, para lo que se utilizan como instrumentos fundamentales la serie digital Informes y Trabajos, editada por el Ministerio de Cultura español con el objetivo de difundir los resultados de las excavaciones arqueológicas españolas efectuadas fuera de territorio español y auspiciadas por ese ministerio (Hidalgo *et al.* 2015, 2017, 2019, 2020) y el sitio web «FastiOnline» de la AIAC. Por otro lado, la publicación de trabajos específicos sobre problemas de especial interés planteados por el propio desarrollo de la investigación o de piezas concretas singulares proporcionadas por la excavación, editados en distintos ámbitos científicos (por ejemplo, Hidalgo 2018a, 2020; Kosmopoulos 2021).

En segundo lugar, el proyecto también ha contemplado la necesidad de propiciar la divulgación y transferencia de los resultados obtenidos a la sociedad. Ello se lleva a cabo en este caso también a través de una doble vertiente. Por un lado, a través de la participación en publicaciones de carácter divulgativo, velando siempre que sean de alta calidad (por ejemplo, Hidalgo 2018b), y con la difusión a través de conferencias divulgativas de distinta índole, orientadas según los casos a distinto tipo de público. Por otro lado, especialmente los resultados de las excavaciones arqueológicas se difunden a través de las redes sociales (Facebook e Instagram), con el fin de trasladar al público interesado información en tiempo real tanto de los resultados de la excavación como del propio desarrollo de los trabajos, siguiendo una tendencia absolutamente en boga en estos momentos.

6. Discusión

Uno de los grandes desafíos del proyecto SIAPVA era el procesamiento de los datos arqueológicos masivos obtenidos en el área de Palazzo de Villa Adriana después de nueve campañas de investigación. El reto de procesar una ingente cantidad de datos arqueológicos para que se transforme en una información precisa y fácil de consultar para todos los investigadores involucrados en el proyecto general, nos obligó a buscar una solución válida para todos. Tomando en consideración estos requisitos optamos por

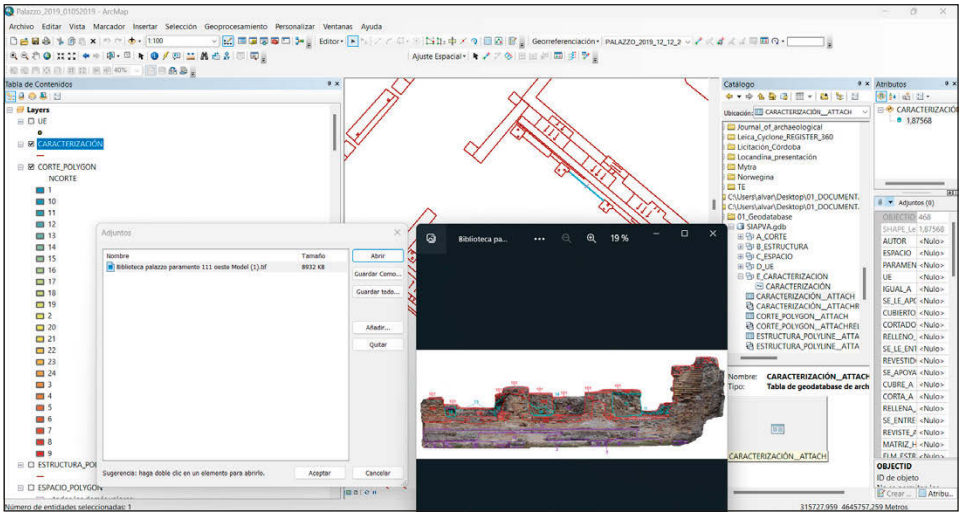


Fig. 10 – Entorno de trabajo SIAPVA que muestra la biblioteca y el análisis de paramento mediante el gestor de archivos (Seminario de Arqueología UPO).

una herramienta integradora, capaz de gestionar los datos y ayudar en la interpretación arqueológica, basada en GIS. Los datos en SIAPVA siguen unas etapas comunes en su tratamiento, a saber: recopilación, preparación, entrada, procesamiento, salida y almacenamiento. En la primera fase antes de que se lleve a cabo cualquier procesamiento es necesario que la información se gestione en un formato y orden apropiado. Durante la preparación, se precisa un trabajo preliminar para disponer los datos para un análisis en profundidad. Toda vez que se han preparado los datos se inicia la entrada en el sistema.

Durante el procesamiento los datos se analizan de forma significativa para poder explotar el valor de los mismos. La información resultante se puede exportar entonces en el formato adecuado para el usuario final. La etapa final implica almacenar de forma segura los datos y metadatos para su uso posterior. En el proyecto Palazzo de Villa Adriana destacamos dos tratamientos de datos fundamentales en el GIS. De una parte, el uso de herramientas de visualización geoespacial de los diferentes datos conectados, a través de la documentación disponible en la tabla de atributos. De otra parte, el análisis espacial de los diferentes ambientes del Palazzo, posibilitando el cálculo de áreas, favoreciendo análisis globales y comparativos que permiten homogeneizar la información disponible y plantearnos nuevos interrogantes. A continuación, presentamos brevemente un ejemplo de cada caso de tratamiento de datos en SIAPVA. Para la visualización de

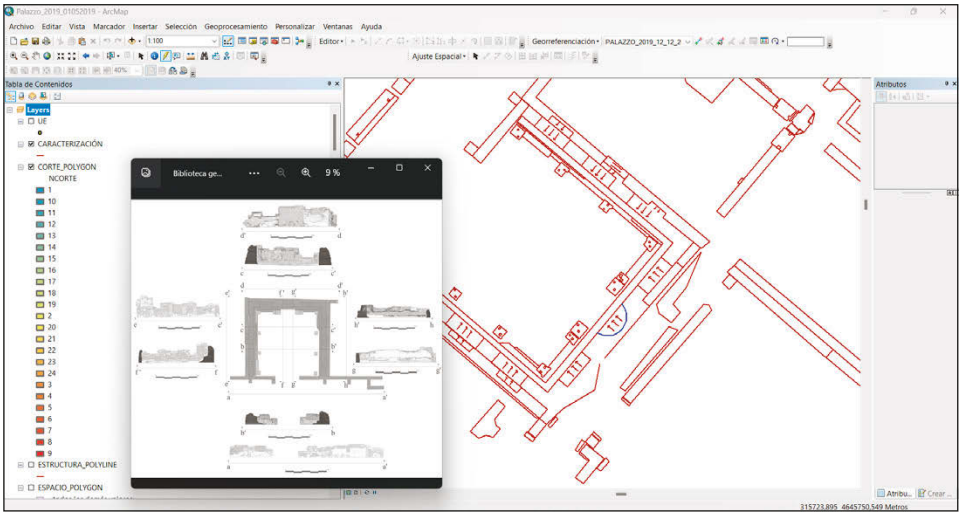


Fig. 11 – Entorno de trabajo SIAPVA que muestra la visualización de las diferentes secciones de la planta de la biblioteca mediante hipervínculo (Seminario de Arqueología UPO).

interconexión de datos hemos seleccionado el espacio denominado como biblioteca.

La potencialidad de este tratamiento de datos radica en que la polyline del dibujo se acciona vinculando la información disponible de la lectura de paramentos utilizando para ello la polyline "caracterización" como gestor de información adjunta (Fig. 10) y las diferentes secciones del ambiente, en este caso con la creación de un hipervínculo con la imagen precisa (Fig. 11). Esta acción resulta práctica y permite consultar la información arqueológica/arquitectónica pasando del formato vectorial al ráster a través de un simple click. En el segundo caso de tratamiento, para el análisis espacial de la zona de Palazzo, utilizaremos como ejemplo el layer polygon "cortes" que contiene los sondeos realizados en los diferentes sectores a lo largo del proyecto de excavación. La correcta georreferenciación de los cortes provee datos de utilidad para el proyecto a varios niveles. En primer lugar, es posible cartografiar la presencia o ausencia de estructuras en un espacio específico.

El área de los sondeos va desde los 2 m² hasta los 128 m² (Fig. 12). El valor de la colección de fragmentos no debe ser subestimados ya que proveen información crucial sobre las orientaciones, continuidades o discontinuidades o los patrones de distribución en los espacios del Palazzo. Asimismo, permiten una estimación de los metros cuadrados investigados a lo largo del proyecto (correspondiente a la suma de cada uno de los cortes) esta información es realmente útil de cara a la obtención de la siguiente

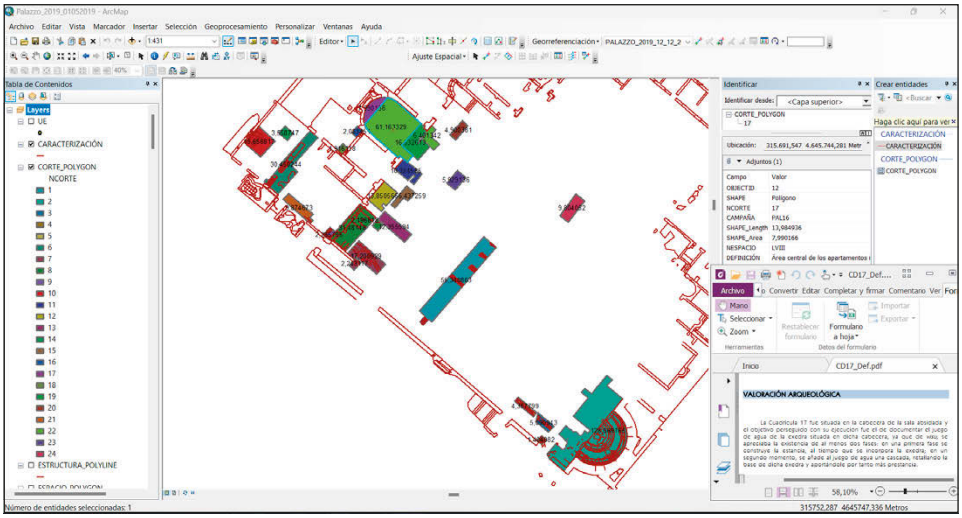


Fig. 12 – Entorno de trabajo SIAPVA que muestra el geoposicionamiento y la superficie de los cortes (Seminario de Arqueología UPO).

concesión. El análisis e interpretación de datos arqueológicos en GIS se ha convertido en las dos últimas décadas en una práctica común (Cavallero, De Rosa 2016), sin embargo, el uso de las herramientas semiautomatizadas está todavía en un estado embrionario (Torrejón *et al*. 2016, 241).

Las metodologías propuestas para el proyecto producen nuevos conjuntos de datos arqueológicos complejos. La caracterización de los datos de acuerdo al concepto Big Data subraya la importancia de extraer valor a los datos (Tobalina, González 2020, 343). El dato no es valor en sí mismo, tampoco tiene valor por el simple hecho de recopilar una gran cantidad de datos. El valor se obtiene de datos que se transforman en información, esta a su vez se transforma en conocimiento y este en acción o en decisión. Por tanto, el valor de los datos reside en que estos sean accionables, es decir, que los responsables del proyecto puedan tomar las mejores decisiones para la salvaguarda y la difusión del Palazzo de Villa Adriana. En definitiva, debe apostarse por la interpretación de los datos recopilados, superando el paradigma descriptivo. Solo mediante la integración de los datos la interpretación arqueológica proporciona conocimiento efectivo. El reto del Big Data para la disciplina arqueológica es relativamente reciente, y apenas ha sido tratado en la literatura de nuestra disciplina hasta la década de 2010 (Moscati 2021; Andreu *et al*. 2022). Esta teoría emergente de la idea de que el conocimiento arqueológico debe ser necesariamente abordado desde un enfoque crítico y constructivo (Hugget 2020). En este artículo

se ha profundizado en el ciclo de producción de los macrodatos, como se gestionan y las posibilidades que tienen para la interpretación y la difusión en arqueología asumiendo sus potencialidades y limitaciones.

7. Consideraciones finales y perspectivas de futuro

El modelo de investigación desarrollada en el proyecto SIAPVA parte de la premisa de la necesidad de que los proyectos arqueológicos se entiendan como un ecosistema en el que los diferentes agentes se interrelacionan entre sí para la consecución de un objetivo común, de la investigación a la transferencia del conocimiento y su rentabilización social. Esta experiencia desarrollada muestra como la digitalización de procesos es ya el presente en los proyectos de naturaleza arqueológica con el concurso de las tecnologías de las Humanidades Digitales. El ecosistema genera y gestiona una gran cantidad de datos que deben ser ágilmente explotados para pasar de un modelo descriptivo a un conocimiento efectivo, para lo que consideramos que la mejor herramienta es un GIS. En última instancia, las estrategias de difusión de los resultados deben necesariamente trascender el ámbito estrictamente académico para que se produzca la transferencia de conocimiento a la sociedad y que la rentabilización social del patrimonio sea real.

Las perspectivas de futuro del proyecto SIAPVA pasan por seguir trabajando en esta línea de investigación centrada en la digitalización de procesos, a la vez que se implementan los nuevos resultados obtenidos en el entorno de trabajo del GIS. En este sentido, se plantea ampliar la panoplia de datos mediante la adquisición de nueva información con metodologías no invasivas como el uso de Ground Penetrating Radar. Esta herramienta facilitaría la obtención de una mayor información de los contextos arqueológicos antes de su excavación. El acceso a la cartografía subterránea del Palazzo de Villa Adriana mejorará la eficiencia del planteamiento de las excavaciones. Asimismo, desde el proyecto estamos familiarizados con la política europea de datos científicos FAIR basada en cuatro pilares: findable, accesible, interoperable, reusable. En este sentido, estamos trabajando en la identificación de datos y metadatos, para que los resultados sean más accesibles a la comunidad, abiertos y puedan ser reutilizados. Por ello, una de las estrategias futuribles pasará por la génesis de un webGIS con usuarios autenticados con diferentes roles y grados de acceso a la información, utilizando para ello software libre.

Álvaro Corrales Álvarez
Universidad Pablo Olavide de Sevilla
acoralv@upo.es

Rafael Hidalgo Prieto
Universidad Pablo Olavide de Sevilla
rhidpri@upo.es

Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto PALATIA: De Villa Adriana como excepción a la configuración de los palacios tardoantiguos (PID2022-139997NB-I00); programa de Proyectos para arqueología en el exterior del Instituto del Patrimonio Cultural de España; así como el proyecto Arqueología de los espacios políticos. Arquitectura doméstica urbana romana programa Juan de la Cierva-Incorporación de la Agencia Estatal de Investigación (IJC2018-037041-I).

BIBLIOGRAFÍA

Adembri B., Cinque G. (eds.) 2006, *Villa Adriana: la pianta del centenario 1906-2006*, Firenze, Centro Di.

Andreu G., Nikolaus J., Westley K., El Safadi C., Blue L., Smith A., Breen C. 2022, *Big Data in maritime archaeology: Challenges and prospects from the Middle East and North Africa*, «Journal of Field Archaeology», 47.3, 131-148 (https://doi.org/10.1080/00934690.2022.2028082).

Anselin L. 1989, *What is special about spatial data? Alternative perspectives on spatial data analysis*, in *Symposium on Spatial Statistics, Past, Present and Future (Department of Geography, Syracuse University)*.

Averett E.W., Gordon J.M., Counts D.B. (eds.) 2016, *Mobilizing the Past for a Digital Future. The Potential of Digital Archaeology*, Digital Press at The University of North Dakota (https://doi.org/10.31356/dpb008).

Bertocci S., Minutoli G. 2016, *Villa Adriana, esperienze di rilievo digitale ed analisi per il restauro e la musealizzazione dell'Edificio dei Pilastri Dorici*, «Restauro Archeologico», 1, 96-120.

Bertocci S., Parrinello S. 2017, *The drawing of Hadrian's Villa in Tivoli. Estensive survey for heritage documentation*, «Disegnare Con», 10, 19, 1-14.

Bertocci S., Ventimiglia M. 2016, *Augmented Reality for the Documentation of Villa Adriana in Tivoli, Rome*, in *Proceedings 20th Conference on Cultural Heritage and New Technologies (Vienna 2015)*, Vienna, Stadt Archaeologie.

Bestué I. 2008, *La des-restauración en la conservación de los conjuntos arqueológicos en Italia. El caso de Villa Adriana*, in *Actas de la III Bienal de Restauración Monumental. Sobre la des-Restauración*, Sevilla, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 437-446.

Cacace C., Corrado M.E. 2018, *Il sistema di Carta del Rischio del patrimonio culturale nell'interoperabilità con i sistemi dell'amministrazione del Mibact*, in *El concepto de la Carta del Rischio del patrimonio cultural en América Latina. Actuales y futuras experiencias de cooperación internacional*, Roma, Organizzazione internazionale italo-latino americana, 52-60 (https://iila.org/wp-content/uploads/2019/01/1.0_IILA-Pubblicazione-digital-CONVERSATORIO.pdf).

Cavallero F.G., De Rosa G. 2016, *Il sistema informativo archeologico di Roma antica e del suo territorio: una migrazione verso sistemi open source*, in P. Basso, A. Caravale, P. Grossi (eds.), *ARCHEOFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del IX Workshop (Verona 2014)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 8, 97-105 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_8/13_Cavallero-De%20Rosa.pdf).

Cinque G. 2016, *A Tivoli vecchia casa d'Adriano*, «Romula», 15, 7-62.

Cinque G., Hidalgo R. 2018, *Le rovine di Villa Adriana a Tivoli: una storia al contrario*, in M. Gómez de Terreros, L. Pérez-Prat (eds.), *Las ruinas: concepto, tratamiento y conservación*, Huelva, Universidad de Huelva, 243-258.

Corrales A., Bermejo J., Campos J.M. 2018, *Aplicaciones SIG e infográficas en la Casa Norte del yacimiento arqueológico de Arucci (Aroche, Huelva)*, «Virtual Archaeology Review», 9, 18, 77-86 (https://doi.org/10.4995/var.2018.6341).

Eramo E., Ottati A. 2018, *Le integrazioni alla "Pianta del Centenario" 2006-2018*, in G. Cinque, N. Marconi (eds.), *Villa Adriana. Passeggiate iconografiche*, Foligno, Il Formichiere, 159-161.

Fantini F., Pini S. 2011, *Villa Adriana's Serapeum: Optimized 3D models for knowledge and distribution of archaeological sites*, in E. Jerem, F. Redő, V. Szeverényi (eds.), *On the Road to Reconstructing the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, *Proceedings of the 36th International Conference (Budapest 2008)*, Budapest, Archeaeolingua, 340-345.

Forte M. 2002, *I sistemi informativi geografici in Archeologia*, Roma, MondoGIS.

Garagnani S., Gaucci A. 2020, *The ArchaeoBIM method and the role of digital models in archaeology*, in A. Caravale, P. Moscati (eds.), *Logic and Computing. The Underlying Basis of Digital Archaeology. Proceedings of the MetroArchaeo 2019 Special Session, 2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (Florence 2019)*, «Archeologia e Calcolatori», 31.2, 181-188 (https://doi.org/10.19282/ac.31.2.2020.17).

Garagnani S., Gaucci A., Govi E. 2016, *ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 251-270 (https://doi.org/10.19282/ac.27.2016.13).

Guerrero Vega J.M., Pizzo A. 2021, *Análisis arquitectónico y aplicación de metodología BIM en el santuario extraurbano de Tusculum*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 99-116 (https://doi.org/10.19282/ac.32.1.2021.06).

Hidalgo R. 2013, *El Teatro Greco de Villa Adriana. Estado actual de la investigación*, in R. Hidalgo, P. León (eds.), *Roma, Tibur, Baetica. Investigaciones adrianeas*, Sevilla, 151-177.

Hidalgo R. 2018a, *Palazzo e Villa repubblicana*, in G. Cinque, N. Marconi (eds.), *Villa Adriana. Passeggiate iconografiche*, Foligno, Il Formichiere, 221-222.

Hidalgo R. 2018b, *El área de Palazzo de Villa Adriana: de la visión historiográfica a la investigación moderna*, in G. Cinque, N. Marconi (eds.), *Adriano: l'architettura al potere. Working Paper Series. Convegno Internazionale di studi di Architettura (Roma-Tivoli 2018)*, Roma, Universitalia, 49-51.

Hidalgo R. 2020, *La fachada del* stibadium *del Palazzo de Villa Adriana y el uso de la "serliana" en la arquitectura adrianea*, in R. Hidalgo, G. Cinque, A. Pizzo, A.Viscogliosi (eds.), *Aventus Hadriani. Investigaciones sobre arquitectura adrianea*, Roma, L'Erma di Bretschneider, 443-474.

Hidalgo R., Carrasco I., Cinque G., Tronelli A., Rendina L. 2015, *Excavaciones en el área de Palazzo de Villa Adriana (Tivoli, Roma). Campaña de 2013*, «Informes y trabajos. Excavaciones en el Exterior», 12, 157-174.

Hidalgo R., Carrasco I., Felipe A., Ortiz G., Ottati A., Peña Y., Durán R., Velázquez M., Zarco E. 2020, *Excavaciones en el Palazzo de Villa Adriana (Tívoli, Roma). Campaña de 2017-2018*, «Informes y Trabajos. Excavaciones en el Exterior», 19, 153-169.

Hidalgo R., Carrasco I., Felipe A., Peña Y., Zarco E. 2019, *Excavación arqueológica en el Palazzo de Villa Adriana (Tívoli, Roma). Campaña de 2015-2016*, «Informes y Trabajos. Excavaciones en el Exterior», 17, 222-242.

Hidalgo R., Carrasco I., Hermann F., Teichner F. 2018, *El proyecto de investigación arqueológica en la Cañada Honda de Italica. Planteamientos, objetivos y primeros resultados*, «Antiquitas», 30, 45-61.

Hidalgo R., Carrasco I., Peña Y., Zarco E., Felipe A., Tronelli A., Rendina L.M. 2017, *Excavaciones en el Palazzo de Villa Adriana. Campañas de 2014 (2ª) y 2015*, «Informes y Trabajos. Excavaciones en el Exterior», 14, 152-170.

Hidalgo R., Cinque G., Pizzo A., Viscogliosi A. (eds.) 2020, *Aventus Hadriani, Investigaciones sobre arquitectura adrianea*, Roma, L'Erma di Bretschneider.

Hugget J. 2020, *Is Big Digital Data different? Towards a new archaeological paradigm*, «Journal of Field Archaeology», 45, Suppl. 1, S8-S17 (https://doi.org/10.1080/00934690.2020.1713281).

Kosmopoulos L. 2021, *Frammenti di lastre Campana dal Palazzo di Villa Adriana. Analisi e interpretazione iconografica*, «Archeologia Classica», 72, 11, 635-652.

Lugli G. 1926-27, *Studi topografici intorno alle antiche ville suburbane: Villa Adriana, una villa di età repubblicana inclusa nelle costruzioni imperiali*, «Bullettino Commissione Archeologica Comunale di Roma», 54-55, 139-204.

Lugli G. 1932, *Studi topografici intorno alle antiche ville suburbane: Villa Adriana, le fasi della Villa da Adriano al tardo impero*, «Bullettino Commissione Archeologica Comunale di Roma», 60, 111-176.

Mayoral V., Celestino S. (eds.) 2011, *Tecnologías de Información Geográfica y análisis arqueológico del territorio*, Mérida, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Moscati P. 2017, *Archaeological computing and ancient cities: Insights from the repository of «Archeologia e Calcolatori»*, in S. Garagnani, A. Gaucci (eds.), *Knowledge, Analysis and Innovative Methods for the Study and the Dissemination of Ancient Urban Areas, Proceedings of the KAINUA 2017 International Conference (Bologna 2017)*, «Archeologia e Calcolatori», 28.2, 47-66 (https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.03).

Moscati P. 2021, *How Big is Big Data?*, in F. Djindjian, P. Moscati (eds.), *Big Data in Archaeology, Proceedings of the XVIII UISPP World Congress (Paris 2018)*, vol. 15, Session III-1, Oxford, Archaeopress, 8-22.

Negri A. 2016, *Catalogazione dei beni culturali in Italia: metodi, strumenti e cooperazione tra sistemi Informativi per la gestione della conoscenza*, «Revista CPC», 99-118 (https://doi.org/10.11606/issn.1980-4466.v0iesp21p99-118).

Nyerges T. 1991, *Analytical map use*, «Cartography and GIS», 18, 11-22.

Ottati A. 2017, *Costruzione e ricostruzione dell'Accademia di Villa Adriana: dall'analisi del monumento alla restituzione. Problemi e soluzioni nell'uso della tecnologia digitale*, «Archeologia e Calcolatori», 28.1, 179-200 (https://doi.org/10.19282/AC.28.1.2017.11).

Sommaini F., Di Cola V., Albano V. 2019, *L'aula ovest del complesso di Domiziano tra Foro romano e Palatino: metodologie a confronto per un rilievo XXL*, «Archeologia e Calcolatori», 30, 251-272 (https://doi.org/10.19282/ac.30.2019.15).

Tobalina L., González C. 2020, *Valoración de la calidad de los datos arqueológicos a través de la gestión de su vaguedad. Aplicación al estudio del poblamiento tardorromano*, «Complutum», 31.2, 343-360.

Torrejón J., Wallner M., Trinks I., Kucera M., Luznik N., Löcker K., Neubauer W. 2016, *Big data in landscape archaeological prospection*, in J.L. Lerma, M. Cabrelles (eds.), *Proceedings of the 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation ARQUEOLÓGICA 2.0*, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 238-246.

ABSTRACT

The SIAPVA is a project with a marked digital character in which the acquisition of data obtained through invasive (archaeological excavation) and non-invasive (3D laser scanner, drone and GPS) methodologies is integrated. The records of the different sources of information converge in a GIS in which all the documentation is managed. Within the framework of a new phase of research on the archaeological site, the study undertaken is

based on Digital Humanities approach. The real power lies in the fact that reports, invaluable archival photographs and plans exists digitally. It is on this basis that the authors have been able to addressed the analytical questions about this outstanding place, the imperial palace of Villa Adriana.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 473-490
doi 10.19282/ac.35.1.2024.28

UN VIRTUAL IMMERSIVE MOVIE PER LA FRUIZIONE DEL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO: IL VIAGGIO NELLA "TOMBA DELLA REGINA" DI SIROLO-NUMANA

1. Introduzione

Comunicare l'archeologia in maniera efficace significa rafforzare il valore identitario di un territorio, ma anche favorire la creazione di reti tra luoghi della cultura diversi (Quattrini *et al.* 2018). L'attrattività del paesaggio culturale e archeologico passa infatti attraverso una sua adeguata narrazione, che può essere veicolata anche tramite soluzioni digitali. Numerose sono le esperienze in ambito archeologico che si basano sulla ricostruzione virtuale di interi siti o singoli manufatti; ipotesi ricostruttive che sono frutto di rigorosi processi di studio, che spesso partono dalla documentazione tridimensionale dei resti per generare rappresentazioni coerenti e legittimate dalle stesse evidenze archeologiche (Boschi 2022). Inoltre, grazie alle tecnologie della realtà estesa, la divulgazione di tali ipotesi ricostruttive può essere effettuata sfruttando diverse modalità di visualizzazione e interazione, in grado di veicolare contestualmente la rappresentazione dell'oggetto e il suo racconto (Kyrlitsias *et al.* 2020).

Il presente contributo si inserisce in tale ambito introducendo un'esperienza di Realtà Virtuale (VR) per l'area de "I Pini" di Sirolo-Numana, collocata nell'ambito del Parco regionale del Monte Conero (Marche, Italia). Tale sito è caratterizzato dalla presenza di numerose sepolture, tra cui emerge il circolo funerario noto come "Tomba della Regina". Il progetto di valorizzazione presentato parte dallo studio e dalla digitalizzazione di alcuni reperti appartenenti al corredo funebre e dalla ricostruzione virtuale delle fosse, per arrivare alla realizzazione di un'esperienza immersiva accompagnata dalla voce narrante della "Regina" e da musiche originali. L'intero lavoro è stato realizzato nell'ambito del Progetto "Archeopaesaggio al Conero", finalizzato alla valorizzazione del patrimonio archeologico del Parco del Conero e alla messa in rete delle strutture museali dell'area archeologica de "I Pini".

R.A.

2. Virtual Archaeology e soluzioni immersive per il patrimonio archeologico

Frutto di un lungo dibattito in seno alla comunità scientifica (Barceló *et al.* 2000; Barceló 2001; Beacham *et al.* 2006), la London Charter (2009) ha definito le linee guida per l'uso delle tecnologie digitali nell'ambito della rappresentazione virtuale del patrimonio culturale, affermando l'esigenza del

rigore tecnico e intellettuale e della trasparenza metodologica nella visualizzazione virtuale dei beni culturali. Tale documento ha costituito il quadro teorico per la redazione della Carta Internazionale di Archeologia Virtuale di Siviglia (2011), i cui principi includono l'interdisciplinarietà, la definizione di linee guida mirate a fornire al pubblico una maggiore comprensione del patrimonio archeologico e l'individuazione di criteri per misurare la qualità dei progetti realizzati nel campo dell'archeologia virtuale.

Seguendo tali principi, le esperienze virtuali stanno effettivamente trasformando le modalità di interazione con il patrimonio archeologico, offrendo innovative opportunità di apprendimento e generando nuove connessioni culturali. Ad esempio, sempre più numerose sono le esperienze di VR che permettono la fruizione di un sito archeologico tramite l'esplorazione immersiva della sua rappresentazione tridimensionale e di una sua ipotesi ricostruttiva (Clini *et al.* 2022). Focalizzandosi sul tema dell'archeologia funeraria, ambito di studio del presente contributo, progetti di documentazione digitale (Baldoni 2021b; Silani 2021; Zampieri 2021) e di fruizione virtuale (Taccola *et al.* 2021) possono offrire un efficace supporto allo studio e alla divulgazione scientifica, proponendo narrazioni di forte impatto emotivo ed elevato valore comunicativo (Forte, Beltrami 2000).

Da tempo, si discute sulle influenze percettive, interattive e psicocognitive derivanti dall'esperienza del patrimonio attraverso l'archeologia virtuale. Questi dibattiti sono frequentemente guidati da archeologi ed esperti nel campo dei beni culturali, i quali sempre più attivamente contribuiscono allo sviluppo della disciplina agendo sia come utenti sia come sviluppatori (Forte 2004). In Gabellone *et al.* 2016, accanto al tema della correttezza filologica della ricostruzione virtuale, si affrontano proprio i temi relativi alla modalità di coinvolgimento del visitatore e all'aspetto emozionale della narrazione. In particolare, nell'esperienza proposta per la cappella di Maia e la tomba di Kha (Museo Egizio di Torino) il livello di coinvolgimento offerto dalla visione passiva, più basso di quello raggiungibile tramite soluzioni interattive, è compensato da un approccio emotivo che coinvolge lo spettatore in un percorso informativo, di cui diviene partecipe proprio perché emotivamente coinvolto. Questo è reso possibile grazie all'uso di rappresentazioni iperrealistiche, di effetti visivi e di tecniche cinematografiche che aggiungono emozione al contenuto scientifico (Gabellone *et al.* 2017).

Un altro esempio di narrazione basata sulla ricostruzione virtuale è quello proposto in De Felice, Mannino 2022. In questo caso, i modelli digitali derivanti dalle scansioni laser di una selezione dei bronzi di Punta del Serrone sono utilizzati come base per la generazione di modelli ricostruttivi. Tali modelli costituiscono quindi il principale asset nell'elaborazione di *Rottami preziosi. Una ballata del mare profondo*, un video in computer grafica realizzato ibridando diversi linguaggi e stili propri della creatività digitale al

fine di riconnettere i momenti della storia dei bronzi e i temi storico-artistici di cui sono portatori.

Come affermato nella Carta di Siviglia, di un progetto di archeologia virtuale pensato per dei visitatori deve essere misurata l'efficacia nell'offrire un'esperienza coinvolgente e nello stimolare un processo di apprendimento, che susciti interesse per gli argomenti trattati. A tale scopo, in Resta, Karacan 2020 viene valutata la relazione tra la tecnologia interattiva e l'esperienza utente, concentrandosi su come la narrazione digitale migliori l'esperienza di visita.

Il presente contributo si inserisce così in tale ambito, proponendo per il contesto della "Tomba della Regina" di Sirolo-Numana un'esperienza di archeologia virtuale, realizzata grazie agli sforzi collaborativi di archeologi, esperti di digitalizzazione del patrimonio culturale e di diverse figure professionali dell'industria dell'intrattenimento.

R.A.

3. Il contesto storico-archeologico: la "Tomba della Regina" di Sirolo-Numana

L'antico centro piceno di Numana è ubicato alle pendici sud-orientali del Monte Conero, in corrispondenza degli odierni Comuni di Sirolo e Numana (AN). Tracce di frequentazione dell'area sono note già a partire dal Neolitico antico, mentre i pochi resti indagati dell'abitato piceno sono concentrati nel centro storico di Numana. La maggior parte delle evidenze archeologiche relative alla fase picena proviene dalle necropoli sparse sui territori dei due comuni, che hanno restituito circa 2000 sepolture databili tra il IX secolo a.C. e la fase di romanizzazione, avvenuta nel tardo III-II secolo a.C. (Finocchi 2018) (Fig. 1). Allo stato attuale delle conoscenze le necropoli sembrano tutte riferibili ad un unico insediamento, il cui progressivo sviluppo da centro

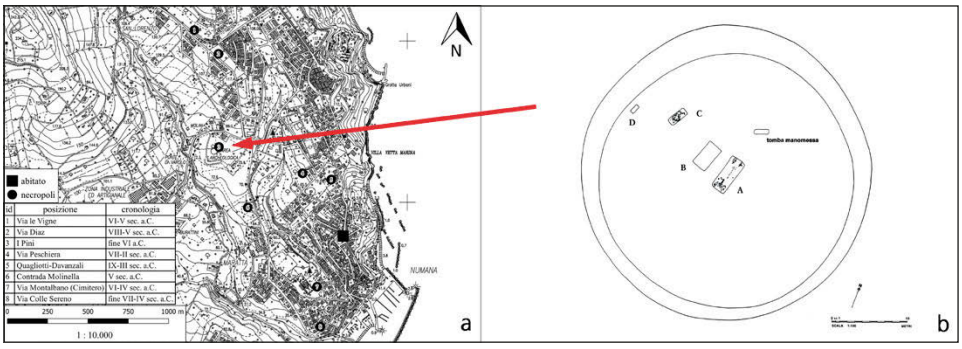


Fig. 1 – a) Pianta delle necropoli di Numana; b) planimetria del circolo 1 dell'area "I Pini" di Sirolo, o "Tomba della Regina".

proiettato verso l'entroterra a scalo portuale di notevole rilievo, a partire dal VI-V secolo a.C., può aver influito sull'impianto delle sepolture entro aree tra loro anche molto distanti (Bardelli *et al.* 2023, 320-325). Dal punto di vista del rituale funerario, le sepolture si caratterizzano per la quasi totale prevalenza dell'inumazione entro fossa terragna e sono di norma accompagnate da corredi di composizione e ricchezza variabili a seconda delle fasi cronologiche, nonché del genere, dell'età e del rango sociale dei defunti. Tra il VII e il V secolo a.C. si diffuse l'uso di raggruppare alcune tombe entro fossati anulari di diametro variabile, come attestato anche in altri centri dell'Italia preromana. Si tratta di sepolture in buona parte di stampo gentilizio, destinate con ogni probabilità a gruppi famigliari e indicative dell'avvenuta strutturazione sociale all'interno della comunità locale a cavallo tra l'epoca orientalizzante e quella arcaica.

Degli oltre 25 circoli funerari individuati tra Sirolo e Numana, solo alcuni sono stati scavati quasi per intero. Tra di essi figura ad esempio il "Circolo delle Fibule", che conteneva sepolture di armati e di individui femminili caratterizzati da corredi estremamente ricchi di elementi di ornamento, tra i quali si annoverano oltre 1200 fibule (Bardelli 2022a). Il circolo funerario più celebre è però quello scavato da M. Landolfi nell'estate del 1989 a Sirolo in località "I Pini", comunemente noto come "Tomba della Regina" (Landolfi 1997, 2001, 2004, 2007). Si tratta di un circolo di circa 40 m di diametro che racchiudeva al suo interno almeno quattro fosse, delle quali tre (A-C) sono senz'altro da ricondurre a un unico contesto funerario.

All'interno della fossa centrale (A) era stata deposta una donna di età adulta, sepolta al di sotto di due carri a due ruote in parte smontati e accompagnata da un ricchissimo corredo personale, al quale appartenevano circa 1000 fibule e numerosi elementi di ornamento in vari materiali (soprattutto bronzo, materia dura animale e ambra), oltre a strumenti per la filatura e la tessitura. Presso la testa era inoltre collocata una *phiale* in argento con *omphalos* dorato. Nella fossa adiacente (B) era invece riunito un corredo di oltre 200 oggetti da banchetto, con ceramica attica a figure nere e greco-orientale, vasi in impasto ceramico locale, vasellame e utensili in bronzo e in ferro, oltre ai resti di una *kline* lignea con intarsi in osso e in ambra (Fig. 2). La terza fossa (C) conteneva gli scheletri di due mule, mentre una quarta fossa (D) ospitava i resti di un individuo deceduto in età infantile, molto probabilmente di genere femminile. La "Tomba della Regina" si data ai decenni finali del VI secolo a.C., mentre la tomba infantile è di poco più recente.

La "Tomba della Regina" si distingue all'interno delle necropoli di Numana per la monumentalità del contesto funerario e per l'assoluta eccezionalità del suo corredo, senz'altro tra i più sfarzosi e variegati nel panorama delle civiltà dell'Italia preromana. Se il tipo di corredo con elementi di ornamento personale e la sua disposizione rispetto al corpo della defunta rispecchiano il rituale funerario adottato localmente per le donne di rango



Fig. 2 – La fossa A (a sinistra) e la fossa B (a destra) della "Tomba della Regina" in corso di scavo.

elevato, enfatizzandolo ulteriormente (Bardelli 2022b), a impressionare sono soprattutto la deposizione dei due carri – un *currus* e un calesse – e la distinzione tra fossa di tumulazione e fossa-deposito, secondo modalità altrimenti note nel Piceno per sepolture risalenti in gran parte ancora al VII secolo a.C. (Silvestrini, Sabbatini 2008; Sena 2022). I materiali rinvenuti nella tomba testimoniano sia l'alto livello dell'artigianato locale sia l'ampiezza dei contatti, diretti e mediati, che collegavano Numana ad altre regioni comprese tra il Mediterraneo e l'Europa centrale.

Lo scavo della tomba si rivelò estremamente complesso, a causa dell'enorme quantità di reperti e della loro giacitura. Allo scavo *in situ* delle fosse B, C e D fece seguito il prelievo entro pani di terra dalla fossa A dei due carri e della sepoltura, indagati successivamente in laboratorio. A 30 anni di distanza dalla scoperta il contesto è stato oggetto di un nuovo studio in collaborazione tra il Römisch-Germanisches Zentralmuseum (RGZM) di Mainz (ora Leibniz-Zentrum für Archäologie-LEIZA), la Soprintendenza ABAP AN-PU e la Direzione Regionale Musei Marche (Bardelli *et al.* 2022). Nell'ambito del progetto sono stati portati a termine i restauri di molti materiali e si è proceduto a un'indagine accurata della collocazione dei manufatti all'interno delle fosse A e B, i cui risultati hanno costituito il riferimento principale per il riallestimento della sala dedicata alla tomba all'interno dell'Antiquarium Statale di Numana e sono alla base della ricostruzione virtuale delle fosse.

G.B., S.F.

4. La replica digitale del corredo e la contestualizzazione nelle fosse

La documentazione digitale del corredo funerario della "Tomba della Regina" è stata la prima azione introdotta per aprire a sue nuove modalità

di fruizione (Fig. 3). Seguendo un processo di ricostruzione tridimensionale fotogrammetrico ormai consolidato (Garagnani 2021), le immagini sono state acquisite utilizzando una fotocamera Sony α9 dotata di obiettivo macro a distanza focale fissa 90 mm e montata su di un cavalletto fotografico. Regolato l'angolo di rotazione del piatto a 30° e individuate quattro diverse altezze di ripresa, sono state acquisite 48 immagini per ciascun oggetto e un'unica foto del colorchecker, quest'ultima necessaria per la generazione del profilo colore da applicare alle restanti immagini in fase di post-produzione. Il processo di ricostruzione tridimensionale è stato realizzato per ciascun reperto utilizzando il software Agisoft Metashape, seguendo la procedura standard definita dal software, che include: l'allineamento delle immagini, l'inserimento dei marker come riferimento metrico e per ottimizzare l'allineamento ottenuto, la generazione di una nuvola di punti densa e, successivamente, la creazione del modello mesh. Quest'ultimo output è stato quindi successivamente processato in Meshlab al fine di eliminare errori topologici e chiudere eventuali fori della superficie. Complessivamente sono stati realizzati 27 modelli.

La modellazione del calesse presente nella fossa A, rinvenuto privo di diversi elementi, ha visto l'adozione di una metodica ibrida (Emiliozzi *et al.* 2007) (Fig. 4). *In primis*, si è proceduto all'acquisizione fotogrammetrica della ricostruzione fisica in scala esposta presso l'Antiquarium di Numana. Presentando per le parti ricostruite elementi in plexiglass, la replica digitale del modello è servita unicamente come riferimento per una modellazione manuale da cui si è ottenuta una geometria completa, successivamente texturizzata con materiali atti a garantirne una resa fotorealistica e, infine, ottimizzata per la fruizione virtuale grazie ad una topologia regolare (Liaskos *et al.* 2022).

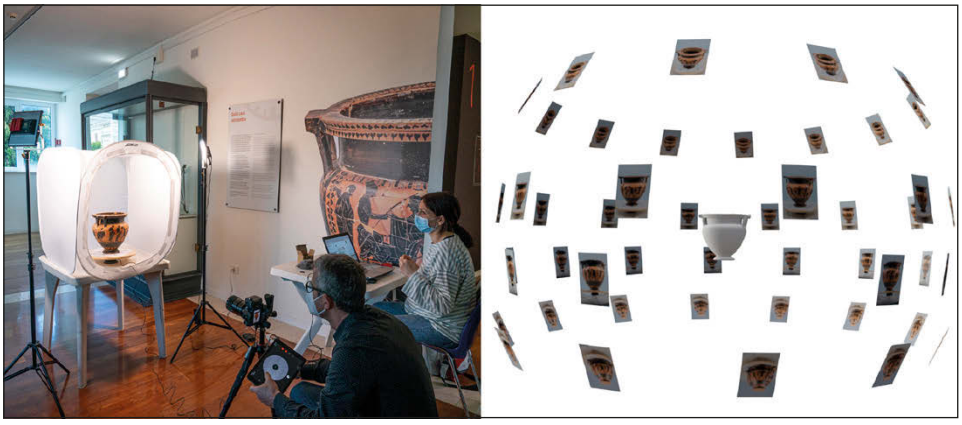


Fig. 3 – A sinistra, fase di acquisizione dei reperti; a destra, immagini orientate nello spazio e ricostruzione 3D di uno dei vasi facenti parte del corredo funerario.



Fig. 4 – Riproduzione virtuale del calesse. Dal modello fisico alla replica digitale.



Fig. 5 – Ricostruzione virtuale delle due fosse; a sinistra la fossa A, a destra la fossa B.

Non essendo possibile procedere, anche per le fosse, ad una modellazione reality based, la loro ricostruzione virtuale si è basata sullo studio delle relazioni di scavo redatte da Landolfi, dei rilievi metrici del 1989 e su ipotesi di dinamiche di crollo (Figg. 5-6). L'intero lavoro di generazione delle geometrie è stato effettuato all'interno del software di modellazione Blender, eseguito tramite modellazione solida ad oggetto, completata mediante l'impiego di modificatori quali array, bevel e operazioni booleane. In prima battuta è stata eseguita una modellazione delle fosse di scavo, sulla base delle rappresentazioni grafiche redatte in fase d'indagine archeologica. Da questa ricostruzione è stata realizzata la struttura lignea che doveva essere presente al loro interno, eseguendo una regolarizzazione delle dimensioni secondo la logica costruttiva e inserendovi elementi strutturali, quali travi e assi del doppio fondo della fossa A, pali e mensole della fossa B e le rispettive coperture coerenti con l'orditura lignea ipotizzata. Ottenuta la struttura principale delle due fosse si è proceduto con la texturizzazione del modello eseguita mediante



Fig. 6 – Ricostruzione virtuale della fossa B con inserimento dei reperti digitalizzati.

il software Adobe Substance Painter. Grazie alla creazione di smart material è stato possibile gestire dettagli e colore, in modo procedurale, giungendo facilmente ad una resa realistica degli elementi, validata dal punto di vista scientifico dallo studio archeologico condotto. Ottenuti i modelli delle due fosse, si è proceduto all'inserimento dei reperti precedentemente digitalizzati, collocandoli secondo la loro posizione di ritrovamento.

R.A.

5. Un Virtual Immersive Movie per la fruizione della "Tomba della Regina"

Il focus principale di questo progetto è la generazione di un'esperienza emozionale capace di avvicinare nuovi pubblici e valorizzare il patrimonio storico-archeologico del territorio del Parco del Conero. Proprio dalla volontà di massimizzare il coinvolgimento del pubblico nascono la progettazione e realizzazione di una nuova forma di esperienza immersiva: un Virtual Immersive Movie (VIM). Tutto il processo creativo circa la realizzazione del VIM è stato eseguito secondo le tre fasi principali della creazione cinematografica: pre-produzione, produzione e post-produzione (Buccheri 2003) (Fig. 7).

5.1 *Pre-produzione*

Nella prima fase sono state individuate le chiavi tematiche e le caratterizzazioni narrativo-emozionali dell'esperienza. Tale processo è stato concretizzato mediante la realizzazione di script, storytelling, storyboard e

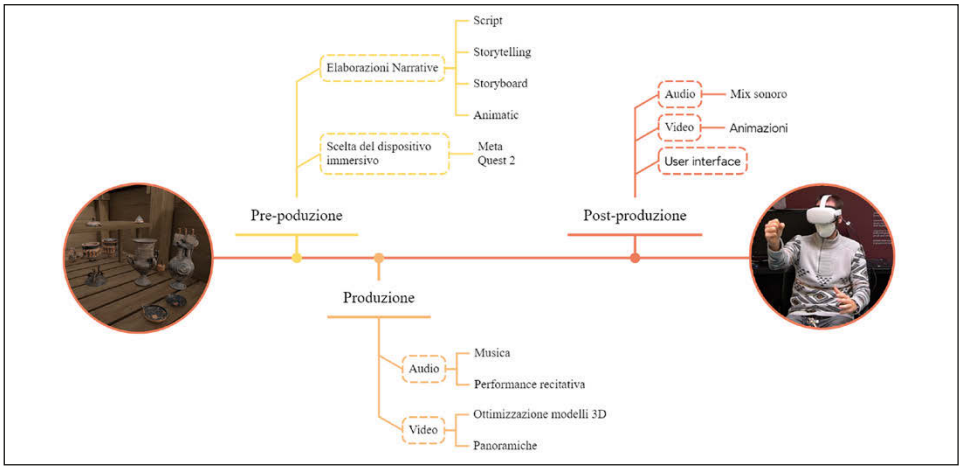


Fig. 7 – Schema del workflow seguito per la realizzazione dell'esperienza immersiva.

animatic. Tramite il primo sono stati individuati i temi principali da trattare nell'esperienza. Nello specifico è stata evidenziata la volontà di comunicare e descrivere il sito archeologico, il corredo funerario, la sepoltura, il rito e la figura della "Regina", mediante un processo di contestualizzazione storico-archeologica tra virtualità del dato ricostruito e realtà del dato acquisito. Questi temi sono stati messi a sistema mediante una strategia narrativa in fase di storytelling, prevedendo l'incontro tra lo spirito della "Regina" e il visitatore. Per rendere più coinvolgente e immersiva l'esperienza è stata scelta la forma del monologo in cui la "Regina" si rivolge al visitatore invitandolo a seguirla nella scoperta della sepoltura. Con la realizzazione dello storyboard è stata data una dimensione visiva e sequenziale ai temi individuati in accordo con la modalità narrativa scelta, individuando cinque scene.

La prima, un'ambiente completamente buio in cui la "Regina" si mostra introducendo sé stessa e il rito. La successiva, all'interno della fossa A, dove si descrive il doppio livello della tumulazione, mostrando corredo personale e calesse. La terza scena funge invece da connessione tra la fossa A e la B; anche in questo caso l'utente si trova in un ambiente totalmente buio in presenza dello spirito della "Regina", che introduce la seconda fossa e il corredo legato al rito del banchetto. Nella quarta scena, ambientata all'interno della fossa B, vengono descritti i reperti ceramici e bronzei più rilevanti. L'ultima scena prevede l'uscita dal complesso funerario, permettendo al visitatore, anche qui accompagnato dalla voce della "Regina", di osservare dall'alto il panorama del Parco del Conero, contestualizzando il sito archeologico ricostruito virtualmente nell'ambito del territorio circostante.

Per tutte le scene si è deciso in questa fase di rappresentare la "Regina" mediante una luce animata a suggerirne lo spirito, in mancanza di dati sufficienti per una ricostruzione scientifica del corpo. In seguito, è stato realizzato l'animatic, ossia una sintesi delle animazioni e dei movimenti di ogni elemento al fine di ottenere una schematizzazione visiva dinamica. Sono stati così individuati tre soggetti animati: la "Regina", il corredo e l'ambiente. Riguardo il primo, è stato previsto di animare il globo luminoso nello spazio virtuale, facendolo fermare vicino ad ogni punto d'interesse allo scopo di guidare lo sguardo del visitatore. Per i reperti si è invece progettato il movimento verso l'utente, per favorirne la visione, seguendo i tempi dettati dalla loro descrizione fornita dalla voce della "Regina" e dalle musiche. Quanto all'ultimo soggetto, l'animazione dell'ambiente virtuale, sono stati previsti piccoli movimenti nelle fosse virtuali come la chiusura del fondo della fossa A o la chiusura della copertura nella scena conclusiva.

Un ultimo aspetto decisionale legato alla fase di pre-produzione è la scelta della tipologia di esperienza e quindi del tipo di device tramite cui veicolarla. Data la volontà di massimizzare l'immersività dell'esperienza (Leopardi *et al.* 2021), stimolando sensorialmente la vista e l'udito, è stato scelto il visore VR Meta Quest 2. Tale decisione è stata dettata dalla volontà di garantire un'esperienza caratterizzata da sei gradi di libertà di movimento (rotazione e traslazione del punto di vista), visione stereoscopica per minimizzare effetti di motion sickness (Chattha *et al.* 2020) e ridurre i costi proponendo un dispositivo unico capace di funzionare senza l'ausilio di strumenti esterni di tracciamento e calcolo.

5.2 *Produzione*

Conclusa la fase di progettazione si è passati alla realizzazione dei contenuti audiovisivi. La sfera sonora risulta essere uno degli elementi più influenti ed efficaci al coinvolgimento immersivo ed emozionale dell'utente (Marto *et al.* 2020). Per questo motivo, i contenuti sonori sono stati realizzati in collaborazione con professionisti del settore dell'intrattenimento previa validazione scientifica da parte degli archeologi coinvolti[1]. La colonna sonora[2], composta da dieci tracce originali, è stata caratterizzata da sonorità ispirate al corredo della "Regina". L'utilizzo di pianoforte e clavicembalo è stato utile alla creazione di un'atmosfera regale e senza tempo, mentre i vocalizzi, ispirati alla lingua delle antiche iscrizioni picene[3], hanno contribuito ad evocare un senso di preghiera e ritualità.

[1] I testi del monologo della "Regina" sono stati redatti e interpretati da L. Palozzi (ATGTP).

[2] Musiche composte dal compositore ed etnomusicologo F. De Melis. I brani eseguiti dal pianista E. Zanisi con la cantante T. Cossignani.

[3] I testi in lingua preromana sono stati verificati in collaborazione con la dott. V. Belfiore (Direzione Regionale Musei Abruzzo).



Fig. 8 – Retopology, a sinistra modello highpoly con mappa di diffuse, a destra modello highpoly con normal map e diffuse map applicate.

La produzione degli elementi visivi prende spunto dall'ingente lavoro di acquisizione e modellazione digitale descritto nel precedente paragrafo, adattando il materiale digitale alla fruizione immersiva attraverso uno specifico lavoro di ottimizzazione. Questo passo è necessario al fine di avere un funzionamento corretto e fluido dell'applicativo, coerente con il suo hardware (https://developer.oculus.com/documentation/unity/po-art-direction/). Nello specifico è stato eseguito un processo di retopology (https://people.wku.edu/joon.sung/edu/anim/3d/modeling/retopology/retopology.html) applicato ai modelli realizzati mediante ricostruzione fotogrammetrica, facendo sì che ognuno di essi, caratterizzato da un numero di facce nell'ordine del milione (modello highpoly), fosse descritto da una nuova topologia composta da poche migliaia di poligoni (modello lowpoly) (Fig. 8). La retopolgy è stata effettuata in tre fasi: remeshing, unwrapping e baking, ossia riduzione dei poligoni, creazione di nuovo sistema di coordinate UV, infine, proiezione delle informazioni, geometriche e colorimetriche dal modello highpoly a quello lowpoly mediante la realizzazione di normal map e diffuse map (2048×2048 pixel) (https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-best-practices-intro/). Tali operazioni sono state eseguite all'interno dei software open source Instant Meshes (https://www.blendernation.com/2015/11/16/instant-meshes-a-free-qaud-based-autoretopology-program/) e Blender.

Per quanto riguarda l'ottimizzazione dei modelli delle due fosse, è stato eseguito il baking delle luci, al fine di imprimere sulla diffuse map, responsabile dell'attribuzione del colore all'oggetto, anche l'effetto visivo dovuto alle luci dirette e indirette e dalla proiezione delle ombre. Tale processo risulta

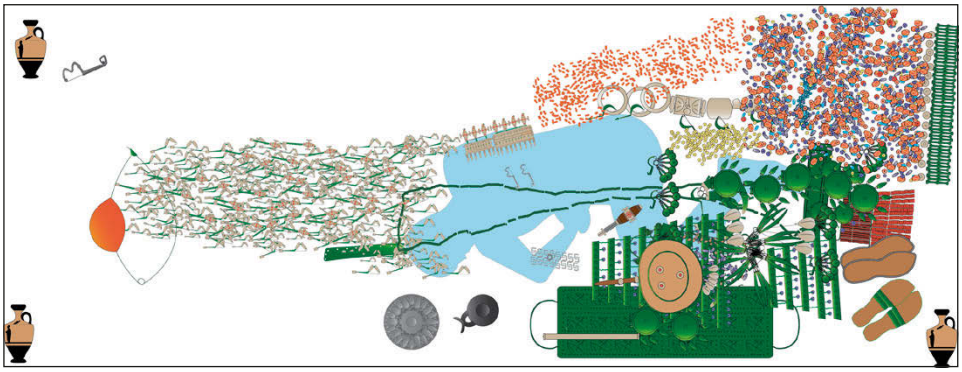


Fig. 9 – Schematizzazione grafica della sepoltura con corredo personale (ricostruzione G. Bardelli).

essenziale per ridurre l'impatto computazione del visore, escludendo il calcolo realtime dell'illuminazione. La fase di produzione visiva si è quindi chiusa con la realizzazione di elaborati bidimensionali, come quello relativo al corredo personale della "Regina", utilizzato per dare dimensione visiva alla sua sepoltura tramite un'astrazione grafica della posizione della figura femminile in relazione al corredo personale (Fig. 9).

La contestualizzazione territoriale del sito archeologico, prevista per la scena finale, è stata infine realizzata mediante panoramiche sferiche acquisite da drone, partendo da un'altezza uomo fino a una quota di 25 m, necessaria per offrire una visione d'insieme della riviera del Monte Conero. Allo stesso tempo sono state renderizzate delle panoramiche del sito archeologico ricostruito, coinvolgendo tombe, fosse e terreno circostante dell'intero circolo funerario, con l'obiettivo di riunire coerentemente virtuale e reale.

5.3 *Post-produzione*

In fase di post-produzione si sono quindi sfruttati tutti i contenuti precedentemente realizzati al fine di giungere alla generazione dell'esperienza finale. Per la sfera audio è stato realizzato un missaggio sonoro tra le registrazioni del monologo recitato e le musiche. Nello specifico sono stati selezionati cinque brani, uno per ogni scena, successivamente remixati al fine di amalgamarli, per volume e durata, alle parole della voce narrante. Tutto il processo di missaggio è stato realizzato in Adobe Premiere Pro, producendo dieci tracce audio, due per ogni scena, distinguendo tra traccia musicale e parole. L'incedere degli elementi della sfera sonora ha determinato il procedere di quelli visivi. Sulla base delle tracce audio sono stati implementati tutti i movimenti degli oggetti 3D. L'intero lavoro svolto in questo ambito è stato effettuato utilizzando la game engine Unity 3D.

Le animazioni svolte possono essere distinte in automatiche e manuali. Tra le animazioni automatiche è possibile annoverare il lavoro svolto sul globo luminoso rappresentante la "Regina", realizzato mediante sistema particellare statico ad un elemento. In questo caso l'animazione è stata effettuata mediante un codice in C# in grado di leggere le tracce audio del recitato e convertire i toni medi in una variazione delle dimensioni della sfera, al fine di sincronizzare automaticamente il monologo al movimento del globo e di offrire una rappresentazione visiva all'incedere delle parole. I singoli reperti e gli elementi dell'environnement virtuale, seguendo l'incedere della musica, sono stati animati manualmente utilizzando animator e keyframe.

Un ultimo aspetto rilevante per la concretizzazione dell'applicazione di realtà virtuale è la realizzazione dell'interfaccia utente (User Interface, UI). Al fine di rendere l'esperienza il più immersiva possibile si è optato per una UI prevalentemente diegetica (Seo 2020), mentre l'interazione è stata limitata al solo utilizzo dell'hand tracking corredato da semplici gesture, come la chiusura della mano per avviare l'esperienza o prendere in mano un reperto. Riuniti i diversi contenuti visivi, audio e il sistema d'interazioni, si è realizzato l'applicativo finale andando a concatenare i vari momenti previsti nelle cinque scene mediante uno script finalizzato alla temporizzazione dei singoli momenti e all'introduzione delle transizioni tra essi (fade-in/fade-out). Al fine di semplificare la fruizione del VIM in ambito espositivo, si è implementato il reset automatico dell'esperienza al cambio di utente mediante l'impiego del sensore di prossimità integrato nel visore stesso.

M.D.A.

6. Valutazione dell'esperienza utente

L'esperienza proposta si inserisce nel piano di sviluppo dell'attrattiva turistica dell'area archeologica de "I Pini" e del Parco Regionale del Monte Conero, volto ad ampliare il proprio pubblico di riferimento rivolgendosi a target più giovani. Per poter trarre conclusioni sull'efficacia dell'esperienza proposta è stata quindi condotta una valutazione dell'esperienza utente basata su questionari e interviste, coinvolgendo 20 partecipanti appartenenti alla fascia di età compresa tra i 14 e i 18 anni. Il questionario è stato strutturato in 15 affermazioni associate a 5 dimensioni dell'esperienza: autenticità, interazione, navigazione, apprendimento e potenzialità di ampliamento del pubblico. Ciascun utente ha espresso il proprio grado di consenso su una scala da 1 a 5. La coerenza interna del questionario è stata valutata mediante calcolo dell'alpha di Cronbach per le 5 dimensioni considerate, risultato buono per autenticità (0,79) e interazione (0,71) e ottimo navigazione (0,90), apprendimento (0,82) e potenzialità di ampliamento del pubblico (0,82). Oltre il 74% delle risposte è stato rappresentato da "Pienamente d'accordo"

e "Parzialmente d'accordo", dimostrando come la maggior parte dei soggetti sia stata soddisfatta dall'esperienza. Eccellenti risultati si sono riscontrati tanto rispetto al realismo dell'ambiente virtuale e dei reperti, quanto in relazione all'interesse suscitato dalle informazioni fornite. Inoltre, il 70% degli utenti si è dimostrato "Pienamente d'accordo" rispetto al consigliare ad altri questa esperienza e il 75% rispetto all'essere interessato a ulteriori esperienze di realtà virtuale.

Le interviste sono state invece condotte sottoponendo due domande: "descrivi con una breve frase ciò che ti ha colpito maggiormente" e "descrivi con una breve frase ciò che hai apprezzato meno". L'aspetto principale emerso dalle risposte è la manifestazione di un forte apprezzamento per la narrativa coinvolgente e l'alta qualità immersiva dell'esperienza. Tuttavia, alcuni utenti hanno sottolineato come l'interazione all'interno dell'ambiente virtuale fosse limitata rispetto alle loro aspettative, non essendo concessa la libertà di esplorare lo spazio virtuale a loro piacimento.

R.A.



Fig. 10 – Scene dell'esperienza virtuale, da sinistra a destra: avvio dell'esperienza; introduzione; la sepoltura; il calesse; il corredo ceramico; l'interazione con il reperto; l'uscita dalla tomba.

7. Conclusioni

In conclusione, il presente contributo ha affrontato il tema dell'utilizzo della VR come strumento per la fruizione del patrimonio archeologico, ponendo particolare attenzione su due aspetti: il realismo della rappresentazione digitale e la modalità di narrazione. Il realismo della scena gioca infatti un ruolo fondamentale nella percezione del senso di presenza, consentendo agli utenti di sentirsi completamente immersi nell'ambiente virtuale, aspetto fondamentale per fornire un'esperienza soddisfacente per il visitatore (Fig. 10). Dal punto di vista della modalità di narrazione proposta, invece, il VIM si è dimostrato efficace nello stimolare il coinvolgimento emotivo grazie all'integrazione del racconto, guidato dalla voce fuori campo, con musiche, effetti sonori e animazioni.

Sulla base dei risultati dei test condotti è quindi possibile certificare il successo dell'esperienza proposta, raggiunto grazie all'ibridazione di competenze e linguaggi, dall'ambito archeologico a quello dell'intrattenimento, passando per la digitalizzazione scientifica del patrimonio culturale. In futuro, l'esperienza potrà essere resa ulteriormente interattiva, incorporando anche elementi di gamification funzionali a rendere ancor più coinvolgente la narrazione.

P.C., R.A., M.D.A.

Paolo Clini, Renato Angeloni, Mirco D'Alessio
Università Politecnica delle Marche
p.clini@univpm.it, r.angeloni@univpm.it, m.dalessio@univpm.it

Giacomo Bardelli
Dipartimento di Studi Umanistici – Sezione Patrimonio Culturale
Università degli Studi di Napoli Federico II
giacomo.bardelli@unina.it

Stefano Finocchi
Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio
per le province di Ancona e Pesaro e Urbino
stefano.finocchi@cultura.gov.it

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Dott. Filippo Invernizzi e tutto l'Ente Parco del Conero, capofila del Progetto "Archeopaesaggio al Conero", sostenuto da Fondazione Cariverona, sotto la direzione scientifica della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Ancona e Pesaro e Urbino e della Direzione Regionale Musei Marche. Il progetto rientra nelle azioni di valorizzazione del patrimonio culturale del Parco del Conero ed è finalizzato a dare vita ad un percorso tematico ampio che comprenderà l'Antiquarium Statale di Numana, l'Area Archeologica "I Pini" di Sirolo e il Centro Visite del Parco. Si ringrazia la Dott.ssa Nicoletta Frapiccini, responsabile dell'Antiquarium statale di Numana, il Prof. Vincenzo Baldoni e

la Dott.ssa Valentina Belfiore per il supporto scientifico in ambito archeologico; il Prof. Francesco de Melis, Enrico Zanisi e Tiziana Cossignani per la sfera sonora, Lucia Palozzi e l'associazione ATGTP per l'interpretazione della "Regina" picena; la Dott.ssa Romina Nespeca e Luigi Sagone per il supporto nella fase di acquisizione delle immagini dei reperti esposti presso l'Antiquarium di Numana. Si ringraziano infine tutti i partecipanti al test di valutazione dell'esperienza utente, condotto in occasione del festival Fermhamente. Ogni test è stato eseguito con il consenso dei partecipanti e i questionari e le interviste sono stati compilati in modo anonimo.

BIBLIOGRAFIA

Baldoni V. (ed.) 2021a, *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 9-152 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/idyear.php?IDyear=2021-12-20).

Baldoni V. 2021b, *From finds to landscape: Archaeological analysis and virtual modelling of the Davanzali necropolis in the Picenian emporion of Numana (AN)*, in Baldoni 2021a, 17-26 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.02).

Barceló J.A. 2001, *Virtual reality for archaeological explanation beyond "picturesque" reconstruction*, «Archeologia e Calcolatori», 12, 221-244 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF12/12Barcelo.pdf).

Barceló J.A., Forte M., Sanders D.H. 2000, *Virtual Reality in Archaeology*, BAR International Series 843, Oxford, Archaeopress.

Bardelli G. 2022a, *Il "Circolo delle Fibule" di Sirolo-Numana*, Monogrpahien des RGZM 163, Mainz, Verlag des RGZM.

Bardelli G. 2022b, *Wie viel Macht hinter der Pracht? Erste Überlegungen zu reichen Frauenbestattungen in Numana*, in P. Amann, R. Da Vela, R.P. Krämer (eds.), *Gesellschaft und Familie bei Etruskern und Italikern. Treffen der Arbeitsgemeinschaft Etrusker & Italiker. Atti della diciottesima Conferenza (Wien 2022)*, Wiener Beiträge zur Alten Geschichte online (WBAGon) 4, 89-106 (https://doi.org/10.25365/wbagon-2022-4-4).

Bardelli G., Milazzo F., Vollmer I.A. 2022, *La Tomba della Regina di Sirolo. Ricerche e restauri a 30 anni dalla scoperta*, in Frapiccini, Naso 2022, 405-417.

Bardelli G., Natalucci M., Zampieri E. 2023, *Vasi di bronzo etruschi dai corredi funerari di Numana*, in A.C. Montanaro (ed.), *Vasi di bronzo etruschi in Italia: produzioni regionali e diffusione tra le popolazioni italiche. Contesti d'uso, aspetti ideologici e tecnologici*, «Mediterranea», Suppl. n.s. 4, CNR Edizioni, 319-344.

Beacham R., Denard H., Niccolucci F. 2006, *An introduction to the London Charter*, in D. Arnold, M. Ioannides, F. Niccolucci, K. Mania (eds.), *The Evolution of Information Communication Technology in Cultural Heritage. Papers from the Joint Event CIPA/VAST/EG/EuroMed Event (Nicosia 2006)*, Budapest, Archaeolingua, 263-269.

Buccheri V. 2003, *Il film. Dalla sceneggiatura alla distribuzione*, Roma, Carocci.

Boschi F. 2022, *Archeologia funeraria e tecnologie digitali: la tomba del principe di Corinaldo dalla documentazione alla fruizione*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 235-254 (https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.13).

Chattha U.A., Janjua U.I., Anwar F., Madni T.M., Cheema M.F., Janjua S.I. 2020, *Motion sickness in virtual reality: An empirical evaluation*, «IEEE Access», 8, 130486-130499 (https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007076).

Clini P., Angeloni R., D'Alessio M., Perna R., Sforzini D. 2022, *La digitalizzazione per la documentazione, lo studio e la fruizione di un sito archeologico. La VR experience del teatro di Ricina*, in A. Arrighetti, R. Pansini (eds.), *Sistemi e tecniche di documentazione, gestione e valorizzazione dell'architettura storica. Alcune recenti esperienze*, «Archeologia e Calcolatori», 33.1, 279-296 (https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.15).

De Felice G., Mannino K. 2022, *I bronzi di Punta del Serrone (BR): dalla ricerca archeologica alla comunicazione multimediale*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 279-298 (https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.15).

Emiliozzi A., Moscati P., Santoro P. 2007, *The princely cart from Eretum*, in P. Moscati (ed.), *Virtual Museums and Archaeology*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 1, 143-162 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_1/10_Emiliozzi.pdf).

Finocchi S. 2018, *Numana*, «Picus», 38, 253-282.

Forte M. 2004, *Realtà virtuale, beni culturali e cibernetica: un approccio ecosistemico*, in P. Moscati (ed.), *New Frontiers of Archaeological Research. Languages, Communication, Information Technology*, «Archeologia e Calcolatori», 15, 423-448 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF15/25_Forte.pdf).

Forte M., Beltrami R. 2000, *A proposito di Virtual Archaeology: disordini, interazioni cognitive e virtualità*, in A. D'Andrea, F. Niccolucci (eds.), *Atti del I workshop Nazionale di Archeologia Computazionale (Napoli-Firenze 1999)*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 273-300 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF11/1.17%20Forte.pdf).

Frapiccini N., Naso A. (eds.) 2022, *Archeologia picena. Atti del Convegno internazionale di Studi (Ancona 2019)*, Roma, Quasar.

Gabellone F., Ferrari I., Giuri F., Chiffi M. 2016, *What communication for museums? Experiences and reflections in a virtualization project for the Museo Egizio in Turin*, in *Proceedings of the 20th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (Torino 2015)*, Vienna, Museen der Stadt Wien - Stadtarchäologie, 1-11.

Gabellone F., Ferrari I., Giuri F., Chiffi M. 2017, *Image based techniques for the virtualization of Egyptian context*, in *IMEKO International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (Lecce 2017)*, Lecce, IMEKO, 601-606.

Garagnani S. 2021, *Quick digitization techniques: The case study of Numana necropolis*, in Baldoni 2021a, 53-62 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.06).

Kyrlitsias C., Christofi M., Michael-Grigoriou D., Banakou D., Ioannou A. 2020, *A virtual tour of a hardly accessible archaeological site: The effect of immersive virtual reality on user experience, learning and attitude change*, «Frontiers in Computer Science», 2, 23, (https://doi.org/10.3389/fcomp.2020.00023).

Landolfi M. 1997, *Sirolo. Necropoli picena "I Pini". Tomba monumentale a circolo con due carri (520-500 a.C.)*, in A. Emiliozzi (ed.), *Carri da guerra e principi etruschi*, Catalogo della mostra, Roma, L'«Erma» di Bretschneider, 229-241.

Landolfi M. 2001, *La Tomba della Regina nella necropoli picena "I Pini" di Sirolo-Numana*, in L. Franchi Dell'Orto (ed.), *Eroi e regine. Piceni popolo d'Europa*, Catalogo della mostra, Roma, Edizioni De Luca, 350-365.

Landolfi M. 2004, *Regine e principesse picene vestite e coperte di bronzo e ambra*, in E. Percossi, N. Frapiccini (eds.), *Non solo frivolezze. Moda, costume e bellezza nel Piceno antico*, Catalogo della mostra, Recanati, Tecnostampa, 73-78.

Landolfi M. 2007, *Ricchezza e ostentazione tra i Piceni: la Regina di Sirolo*, in M.L. Nava, A. Salerno (eds.), *Ambre. Trasparenze dall'antico*, Catalogo della mostra, Milano, Electa, 171-179.

Leopardi A., Ceccacci S., Mengoni M., Naspetti S., Gambelli D., Ozturk E., Zanoli R. 2021, *X-reality technologies for museums: A comparative evaluation based on presence and visitors experience through user studies*, «Journal of Cultural Heritage», 47, 188-198 (https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.10.005).

Liaskos O., Mitsigkola S., Arapakopoulos A., Papatzanakis G., Ginnis A., Papadopoulos C., Peppa S., Remoundos G. 2022, *Development of the virtual reality application: "The ships of Navarino"*, «Applied Sciences (Switzerland)», 12, 7 (https://doi.org/10.3390/app12073541).

London Charter 2009, *London Charter for the Computer-based Visualization of Cultural Heritage*, Draft 2.1-2009 (www.londoncharter.org).

Marto A., Gonçalves A., Melo M., Bessa M. 2022, *A survey of multisensory VR and AR applications for cultural heritage*, «Computers and Graphics (Pergamon)», 102, 426-440 (https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.10.001).

Quattrini R., Frapiccini N., Nespeca R. 2018, *ARCHEOGate: un portale web per la catalogazione e la fruizione dell'archeologia delle Marche*, in R. Salerno (ed.), *Rappresentazione materiale/immateriale-Drawing as (in)tangible representation. 40° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione (Milano 2018)*, Roma, Gangemi Editore, 1349-1358.

Resta G., Karacan E. 2020, *Virtual exhibition and visitor experience: How digital storytelling enhances online exhibition* spaces, in Y. Aksoy, E. Duyan (eds.), *Experience in Architecture. Space, Perception, Function*, Istanbul, DAKAM, 135-154.

Sena A. 2022, *Sepolte a Pitino. Costume, ruoli e consuetudini in tombe femminili del Piceno orientalizzante*, in Frapiccini, Naso 2022, 279-294.

Seo G. 2021, *Exploring an immersive user interface in Virtual Reality storytelling*, in C. Stephanidis, M. Antona, S. Ntoa (eds.), *Human-Computer Interaction*, *Proceedings of the 23th Conference*, Cham, Spinger, 385-389 (https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-90176-9_50).

Seville Charter 2011, *The Seville Principles: International Principles of Virtual Archaeology* (http://sevilleprinciples.com/).

Silani M. 2021, *Reconstructing the funerary landscape: Natural environment and topography of the necropolis*, in Baldoni 2021a, 45-51 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.05).

Silvestrini M., Sabbatini T. 2008, *Potere e splendore. Gli antichi Piceni a Matelica*, Catalogo della mostra, Roma, L'Erma di Bretschneider.

Taccola E., Rosselli L., Albertini N., Martino M. 2021, *Etruscan hypogea in 3D: A proposal for an immersive and interactive visualization of Volterra's funerary contexts*, in Baldoni 2021a, 135-152 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.12).

Zampieri E. 2021, *The Davanzali necropolis of Numana (AN): From the archaeological context to the virtual environment*, in Baldoni 2021a, 35-44 (https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.04).

ABSTRACT

The paper presents a workflow aimed at documenting, disseminating, and making archaeological heritage more accessible. To preserve scientific rigour and data accuracy, also providing an emotional experience to the audience, the entire process was carried out through the collaborative efforts of three professionals: the archaeologist, the digitization expert, and the entertainment industry professional. The case study is a pre-Roman necropolis located in the "I Pini" archaeological area (Marche Region, Italy). The site presents several circular burials, one of which belongs to a female figure known as the "Queen", which became the central focus of the narrative. The first working step was the digital documentation of a selection of the findings from the "Queen's" tomb, currently displayed at the Antiquarium Statale of Numana, followed by the virtual reconstruction of the burial. Then, the obtained 3D models were used to generate a Virtual Immersive Movie (VIM) which allows visitors to immerse themselves in the virtual reconstruction and interact with the archaeological findings using a Head-mounted Display. The evaluation of the user experience proved the effectiveness of the VIM. The scores obtained from the questionnaire will also serve as inspiration for further enhancements, aiming to deliver a more interactive and improved educational experience.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 491-512
doi 10.19282/ac.35.1.2024.29

L'ARCHIVIO DI COMUNITÀ DEL MONTE BALDO COME ESEMPIO DELLE POTENZIALITÀ DI UMAP-OSM PER LO SVILUPPO DI PROGETTI PARTECIPATI SUI BENI CULTURALI

1. L'area di indagine

L'area coinvolta nel progetto Archivio di Comunità del Monte Baldo è una dorsale calcarea lunga 40 km, compresa tra la Val d'Adige ad E e il Lago di Garda a O, con un'altezza massima di 2218 m (Cima Valdritta), che include comuni appartenenti alle province di Trento e di Verona per oltre 400 km² (Fig. 1). Le evidenze archeologiche e storiche indicano per questa montagna una presenza antropica a partire dagli insediamenti dei Neanderthal, senza soluzione di continuità dal momento che le zone più elevate non sono state interessate dall'ultima glaciazione Wurmiana.

L'interesse dell'Università di Padova per il territorio risale al progetto sul castello di età gota di Garda (1998-2005: Brogiolo *et al.* 2006) che alla fine del VI secolo è divenuto capoluogo di un ampio distretto, istituito dal re longobardo Agilulfo per ridurre il potere del duca di Verona (Brogiolo 2022). Dal 2008 le ricerche hanno preso forma in un grande progetto sull'Archeologia dei Paesaggi d'Altura Trentini, sotto la direzione scientifica di G.P. Brogiolo e hanno interessato l'intero territorio, con un approccio sistemico sulla zona tra Alto Garda Bresciano e Vallagarina, comprendendo il settore N del Baldo. Oltre allo studio di paesaggi e risorse naturali, sono stati realizzati due *corpora* di dati su chiese (Brogiolo *et al.* 2013a, 2013b) e insediamenti fortificati (Possenti *et al.* 2013a, 2013b, 2013c). Nell'area baldense le indagini sono poi proseguite con approfondimenti sui territori di Nago (2018), Brentonico (2019) e Avio (2020), dove sono stati studiati: le chiuse della Val d'Adige (Chiusa di Ceraino e quella che comprendeva i castelli di Serravalle, Chizzola e Saiori, cioè San Giorgio di Brentonico: Brogiolo, Azzolini 2013); i castelli di seconda generazione di Penede (Brogiolo *et al.* 2013c); i territori di Nago e di Brentonico, dove le indagini si sono concentrate sulla documentazione del Dosso Maggiore di Brentonico; la pieve di Brentonico; i pascoli e le malghe di Nago, Brentonico e Avio (Marcato 2020; Sini, Avanzini 2023); gli insediamenti rupestri di Nago e gli apprestamenti della Grande Guerra di Nago. Dopo una sospensione dovuta alla pandemia di Covid-19, le ricerche sono riprese nel 2023 nel territorio di Avio e Brenzone e proseguiranno su Ferrara di Monte Baldo.

Tutte queste analisi si sono concentrate sul periodo postclassico e sulle strutture del popolamento, in particolare i paesaggi produttivi alle diverse quote e le architetture. Per questo periodo le fonti scritte sul Baldo, abbastanza

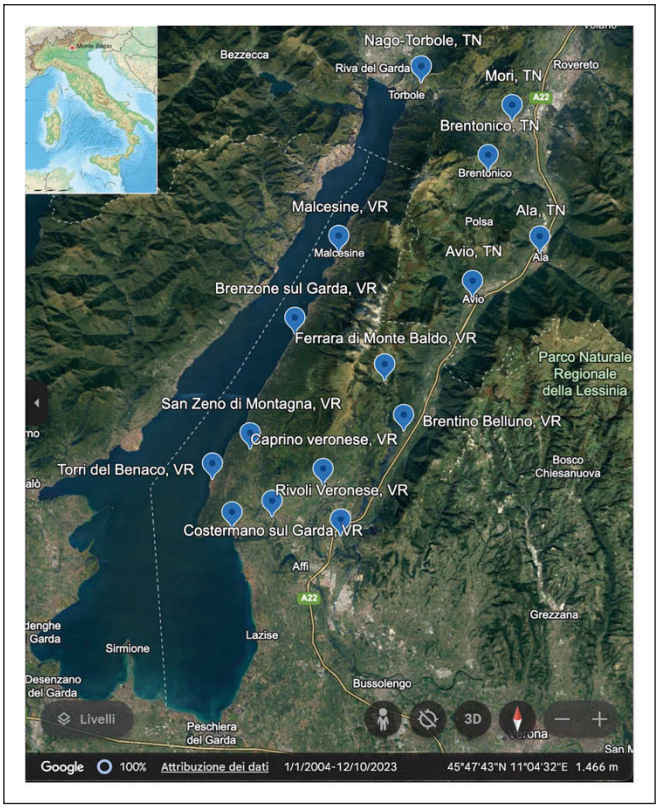


Fig. 1 – Localizzazione del Monte Baldo con indicazione dei comuni del territorio.

numerose a partire dall'VIII secolo, hanno altresì consentito, già da alcune decadi, importanti sintesi (Castagnetti 1983;Varanini 2005), rispetto alle quali una prospettiva archeologica suggerisce peraltro differenti conclusioni, in quanto può contare su informazioni sistematiche sui paesaggi produttivi, che le fonti scritte sono in grado di assicurare solo a partire dagli estimi (conservati per i territori in esame dal XVI secolo) e dai catasti (per alcuni comuni il più antico conservato è quello napoleonico, per tutti quello austriaco della metà del XIX secolo). A loro volta, le ricerche archeologiche pregresse per l'età postclassica nel territorio baldense, tra gli anni '90 del secolo scorso e il primo decennio del 2000, hanno fornito importanti informazioni, oltre che sul castello di Garda, anche su quello di Sant'Andrea di Loppio, fondato ai piedi settentrionali del Baldo a controllo della strada tra la Val Lagarina e il Sommolago gardesano (Maurina 2016).

Nei nuovi progetti il metodo adottato comprende:

– per i paesaggi produttivi:
  a. vettorializzazione della mappa catastale più antica;
  b. gestione GIS dei dati dei registri allegati, dai quali è stato ricavato l'uso suolo;
  c. sequenza delle variazioni (tra abbandoni e nuove conquiste) testimoniate nei catasti successivi e nelle foto aeree = valutazione quantitativa della capacità produttiva di un territorio negli ultimi due secoli;
  d. stratigrafia dei paesaggi (desunta da foto aeree, LiDAR, toponimi e altre fonti) per individuare le fasi anteriori alla documentazione cartografica.
– per le architetture:
  a. stratigrafie degli alzati;
  b. materiali e tecniche costruttive;
  c. tipologie funzionali.

I risultati di queste ricerche offrono un quadro nuovo su alcuni specifici temi di ricerca, oggetto da tempo del dibattito storiografico sui territori alpini dell'Italia settentrionale: viabilità terrestre (tra Val d'Adige, Monte Baldo) e via acqua (lago di Garda); sistemi fortificati che difendevano confini (variati nel tempo) e linee di comunicazione; corti regie e beni di enti ecclesiastici documentati dalle fonti scritte e le cui tracce si possono riconoscere ancora sul terreno; rete ecclesiastica con stratificazioni architettoniche, osservabili in elevato, che si datano dal V-VI secolo; sviluppo dei singoli abitati, alcuni dei quali conservano in alzato edifici a partire dal XII secolo; ruolo delle comunità rurali; sfruttamento della montagna più alta con la rete di malghe e di prati stabili.

A.Ch.A.

2. Obiettivi del progetto Archivio di Comunità del Monte Baldo

Il progetto Archivio di Comunità del Monte Baldo è stato istituito nel 2019, a seguito di un accordo tra il Comune di Brentonico e il Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università di Padova, per dare continuità alle diverse edizioni della "Summerschool di Ricerca Partecipata" attivate dal 2014 e che hanno come obiettivo l'identificazione e documentazione di dati relativi alla storia e ai beni culturali del territorio insieme alla comunità locale, intendendo per "comunità locale" gli abitanti, gli studiosi, i soci delle associazioni (storiche, alpinistiche, fotografiche, etc.) e i professionisti impiegati nelle istituzioni del territorio (comuni, scuole, musei, apt). Queste manifestazioni si svolgono seguendo una serie di fasi più o meno fisse che comprendono: 1) la raccolta della documentazione storica e cartografica (da svolgere prima dell'inizio del corso in collaborazione con studenti e gruppi locali); 2) la summerschool propriamente detta, durante la quale si svolgono sopralluoghi e prospezioni



Fig. 2 – Immagini delle diverse attività di survey e raccolta partecipata dei dati svolte all'interno della Summerschool di Avio (TN, luglio 2022) e presentazione dei risultati a Brenzone sul Garda (VR).

nel territorio (in aree coltivate, boschi, cave e centri abitati) per realizzare fotografie e schedature di siti ed edifici di interesse; 3) le interviste alla popolazione locale, per raccogliere la memoria storica di chi abita nel territorio e la loro percezione sul paesaggio e i beni culturali di quell'area; 4) gli approfondimenti su temi specifici nelle sedi dei gruppi locali o la presentazione dei risultati di lavori precedenti e progetti paralleli per la condivisione di metodi e risultati (per approfondimenti sul metodo cfr. Chavarría Arnau 2019; Brogiolo, Chavarría Arnau 2021) (Fig. 2).

Dopo 8 anni di esperienza, il progetto Archivio di Comunità del Monte Baldo ha mirato a un traguardo più ambizioso. Questo si riflette nell'espansione geografica, che passa da 1 a 15 comuni, e nell'adozione di una programmazione pluriennale con attività distribuite durante tutto l'anno. Per quanto riguarda gli obiettivi, da un lato si è voluta approfondire la conoscenza di un'area cruciale per lo studio del periodo tardoantico-medievale, strategica per il controllo dei percorsi di transito dalle Alpi alla pianura padana. Dall'altro, oltre a sperimentare iniziative volte a stimolare l'impegno delle comunità locali nell'apprendimento e nella valorizzazione del proprio retaggio storico, archeologico, artistico e culturale, ci si si è proposti di sperimentare l'attuazione di un

Archivio di Comunità che rendesse accessibili i dati per sostenere lo sviluppo di progetti innovativi a carattere economico, turistico, sociale e culturale.

Per Archivio di Comunità intendiamo un archivio creato e/o conservato da individui, gruppi, associazioni per documentare il proprio patrimonio storico e culturale sulla base di esperienze, interessi e/o identità condivisi (Brogiolo, Chavarría Arnau 2022 con bibl.). Questa attività può essere svolta da un'organizzazione formale (nel nostro caso l'Università con la collaborazione del Museo della Scienza di Trento e di varie istituzioni locali), ma l'impulso e la direzione devono trovare origine dall'interno della comunità stessa[1]. Non si tratta di un concetto nuovo poiché l'interesse su storia e patrimonio locale ha una tradizione molto lunga, ma il tema si ripropone oggi con forza sia a causa della rapida distruzione del patrimonio culturale "minore" di alcuni territori che per le opportunità offerte dalle nuove tecnologie e dagli open data, che permettono una più efficiente e sostenibile raccolta e comunicazione delle informazioni, incoraggiando una comprensione più ampia della storia locale.

A.Ch.A.

3. Altre iniziative collegate al progetto

In contemporanea al progetto Archivio di Comunità, il territorio del Monte Baldo dal 2018 ha iniziato un processo di candidatura per l'iscrizione come sito patrimonio dell'Umanità dell'UNESCO (da parte dell'Associazione Monte Baldo Patrimonio dell'Umanità), a cui per il momento hanno aderito 11 dei 15 comuni del territorio e che conta sull'appoggio dei Consigli Regionali delle due aree in cui si trova il territorio baldense (Veneto e Trentino) (Fig. 3). Da questo punto di vista l'Archivio di Comunità è senz'altro una componente importante della candidatura, non solo perché esso fornisce contenuti di carattere culturale-patrimoniale ad un territorio che è principalmente conosciuto per le sue specificità naturalistiche, ma anche perché il coinvolgimento attivo delle comunità locali nella creazione e gestione dell'Archivio stimola la consapevolezza e l'orgoglio verso il patrimonio locale, sottolineando il legame tra questo e la comunità e garantendo una maggiore probabilità di conservazione e valorizzazione a lungo termine.

Un'altra attività iniziata dal 2021, grazie al coinvolgimento nel progetto Wikipedia dell'Università degli Studi di Padova (https://it.wikipedia.org/wiki/Progetto:Coordinamento/Universit%C3%A0/UNIPD), è stata la revisione e implementazione dei contenuti relativi ai beni culturali e paesaggistici dei

[1] Nel caso dell'Archivio di Comunità del Monte Baldo, in collaborazione con l'ex assessore alla cultura di Brentonico Q. Canali sono stati definiti i contenuti in risposta alle esigenze e sensibilità per il patrimonio della comunità, ma anche degli interessi scientifici; il metodo e le modalità di acquisizione dei dati sono stati invece ideati da chi scrive.

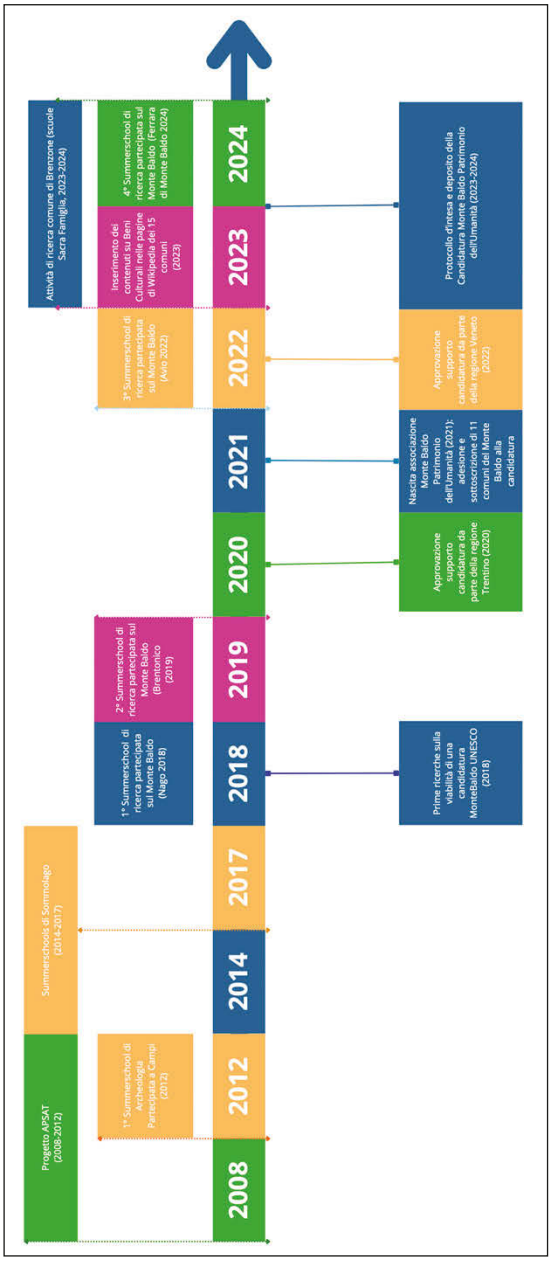


Fig. 3 – Cronologia delle attività di Archeologia e Ricerca Partecipata svolte sul Monte Baldo e dello sviluppo della candidatura UNESCO (elab. grafica degli Autori).

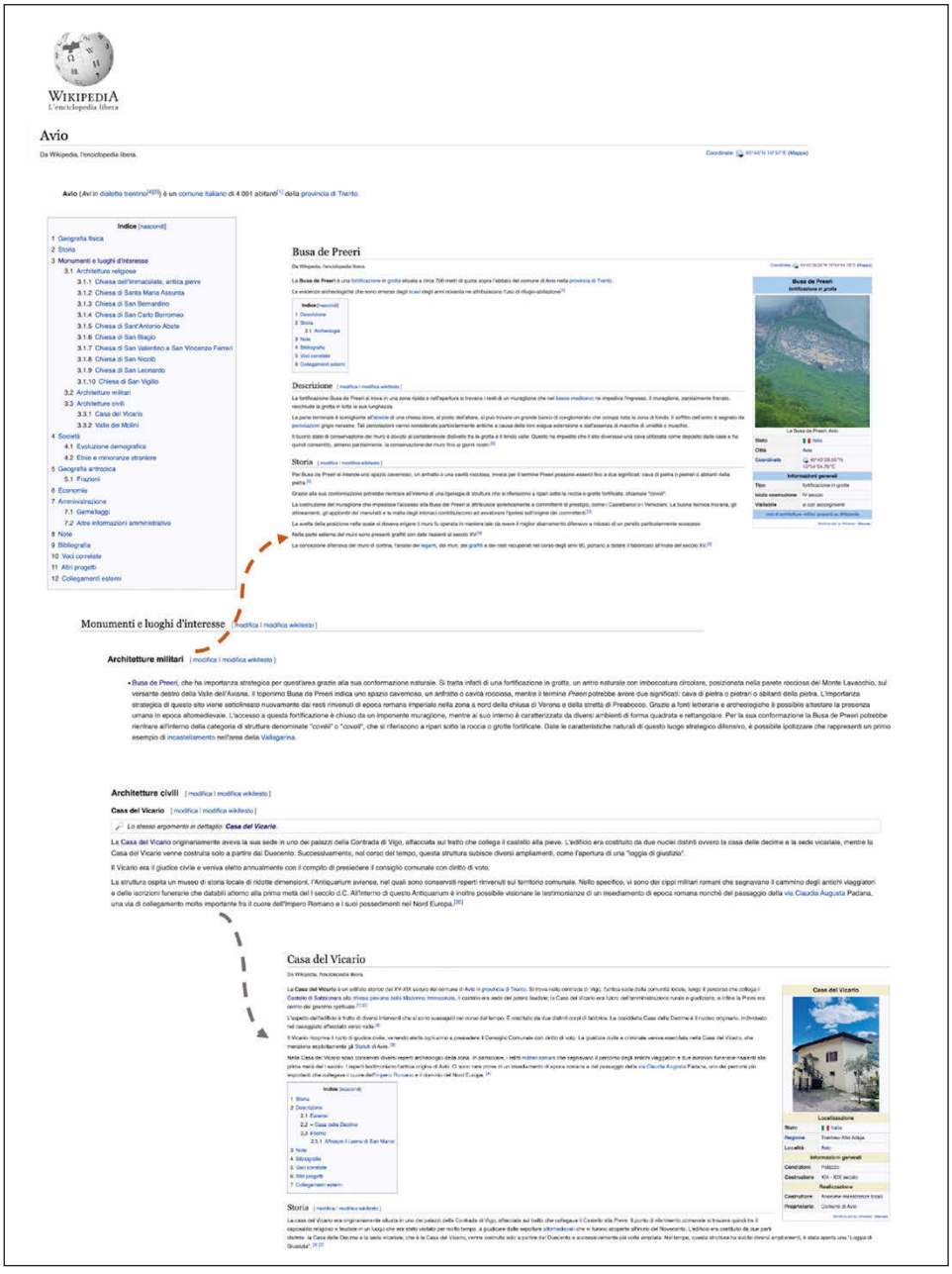


Fig. 4 – Veduta delle aree di conoscenza aggiornate (storia, monumenti e beni culturali) su alcune pagine Wikipedia relative ai 15 comuni del Monte Baldo.

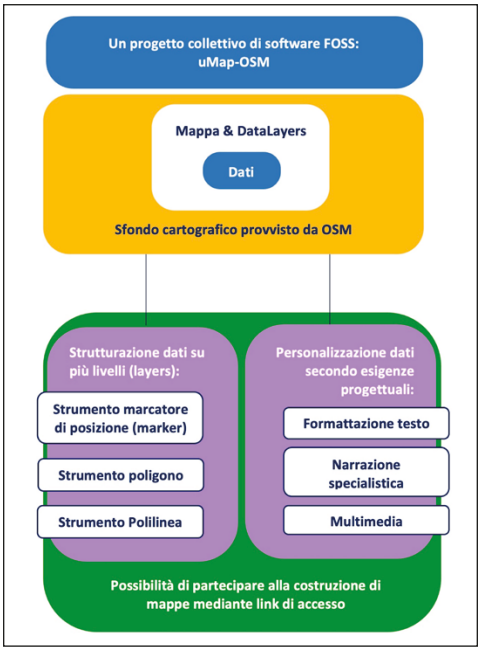


Fig. 5 – Struttura di un progetto creato utilizzando il software uMap-OSM (elab. grafica dell'Autore a partire da https://wiki.openstreetmap.org/wiki/File:UMap_structure.jpg).

15 comuni del Monte Baldo sull'Enciclopedia online Wikipedia[2] (Fig. 4). Si tratta di un progetto innovativo che utilizza la creazione o implementazione di pagine di Wikipedia come strumento di didattica e aiuta ad incrementare la consapevolezza tra gli studenti circa le potenzialità di questa "piattaforma" sia per la disseminazione di contenuti relativi ai beni culturali che per la promozione turistica (https://it.wikipedia.org/wiki/Progetto:Coordinamento/Scuole). L'uso di Wikipedia come strumento di promozione territoriale è stato sperimentato e sottolineato da tempo e risponde anche alle richieste di facile utilizzo e sostenibilità economica che richiede il progetto, oltre ad avere una diffusione globale (Pentzold *et al.* 2017).

I consistenti dati raccolti sia attraverso le summerschool che attraverso le ricerche svolte per l'aggiornamento dei contenuti in Wikipedia hanno portato dunque a riflettere sulla loro modalità di condivisione, tenendo in conto

[2] I contenuti sono stati redatti dagli studenti del corso "Archeologie Postclassiche 2022-2023" sotto la supervisione di A. Chavarría e inseriti online grazie al supporto di M. Chemello di Wikipedia-Italia.

soprattutto la sostenibilità futura della piattaforma per evitare problemi di aggiornamento dei software e di mantenimento del server. L'esigenza di creare per l'Archivio di Comunità un database interattivo, funzionale alla divulgazione e allo stesso tempo capace di fungere da utile incentivo ad una ricerca partecipata da parte del maggior numero di cittadini interessati e soggetti portatori di interesse (stakeholder), ha portato quindi a scegliere il programma uMap-OpenStreetMap per strutturare e pubblicare in rete i risultati delle summerschool, che consistono soprattutto in un catalogo di siti e paesaggi (Fig. 5).

A.Ch.A.

4. L'utilizzo di uMap-OSM come piattaforma georeferenziata per la pubblicazione di informazioni in forma partecipata

Nato nel 2013 (https://explore.transifex.com/openstreetmap/umap/), il progetto collettivo uMap-OSM, su base volontaria e aperto, consiste nello sviluppo di un server gratuito a scrittura Python (Django) e JavaScript (Leaflet), open source e a licenza libera (FOSS). Nello specifico il progetto è distribuito sotto la licenza WTFPL (http://www.wtfpl.net/). Il programma si basa sui dati costantemente aggiornati forniti dal progetto globale OpenStreetMap, sui quali gli utenti possono inserire con precisione dati georeferenziati raccolti sotto forma di oggetto marker a dinamica popup. Se la maggior parte dei metadati relativi ai layer viene strutturata sotto forma di file geoJSON, nel database confluiscono le informazioni relative a permessi e utenti (https://github.com/umap-project/umap/tree/master/docs/architecture). È possibile inoltre condividere le mappe create sotto forma di elemento HTML inline frame (iframe) ed esportare i metadati nei formati CSV, geoJSON, GPX, KLM. La possibilità di condivisione sotto forma di iframe è un tratto comune ad OpenStreetMap, le cui mappe geolocalizzate sono già da tempo adoperate per la loro facilità di esportazione ed embedding come elemento visuale di riferimento cartografico all'interno delle voci dell'Enciclopedia collaborativa Wikipedia (García-Santiago, Olvera-Lobo 2018; Pensa 2023, 89-92; sui possibili rischi connessi all'uso degli iframe a scopo esemplificativo cfr. Provos *et al.* 2008; Yun *et al.* 2011; Selim *et al.* 2016; Yang *et al.* 2019).

Rispetto ad altri programmi altrettanto user-friendly, come ad esempio Leaflet (recentemente adoperato dall'Istituto Centrale per il Patrimonio Immateriale nell'ambito del progetto Mappatura delle rievocazioni storiche sul territorio nazionale https://rievocazionistoriche.cultura.gov.it/), Google My Maps, MapHub, Mapbox studio, Carto, MangoMap, Zeemaps)[3] e le versioni

[3] Per questi programmi cfr. rispettivamente: https://leafletjs.com/; https://www.google.com/intl/it/maps/about/mymaps/; https://maphub.net/; https://www.mapbox.com/mapbox-studio; https://carto.com/; https://mangomap.com/; https://www.zeemaps.com/.

open source e gratuite dei software webGIS (Casu, Pisu 2013, 40-42; Serlorenzi *et al.* 2013, 112-119; Consolandi 2019, 81-84; Calandra *et al.* 2021; Anichini 2023, 278-286), l'attuale interfaccia offerta da uMap-OSM presenta il vantaggio di essere altamente personalizzabile nonché strutturata in maniera estremamente semplice da utilizzare, a sviluppo aperto e (in confronto a programmi che offrono piani a pagamento) priva di sostanziali limitazioni funzionali condizionabili dai termini di sottoscrizione dell'utente al servizio.

Nel caso del nostro progetto, la natura semplice e diretta dell'obiettivo ben si concilia con un'interfaccia utente relativamente meno raffinata, in termini di compatibilità e funzionalità avanzate di analisi geospaziale, rispetto ai competitor commerciali. Invece, la possibilità di impostare parametri di modificabilità delle mappe in base alle esigenze di privacy e sicurezza determina in buona parte i rischi derivanti dalla minore capillarità dei controlli che contraddistingue le piattaforme open source, allo stesso tempo meno dotate di articolati sistemi di supporto tecnico e direttamente supportate dalla comunità di sviluppatori nella risoluzione di problemi.

Queste condizioni permettono infatti l'accesso ad un servizio di mappatura interattivo e attivamente collaborativo, da destinare ad un'ampia utenza online. Dal momento che l'attività di mappatura rientra nel novero delle espressioni della percezione umana riguardo agli spazi circostanti (Mauro, Ronza 2021), si è ritenuto opportuno utilizzarla in chiave partecipativa e mirando alla sensibilizzazione civica nei confronti dei cosiddetti ambiti della cittadinanza digitale. In tal modo, tramite l'impiego di software capaci di garantire una rapida immissione delle informazioni e una loro altrettanto agevole consultazione per mezzo di interfacce "amichevoli", si viene incontro alla tendenza (già portata avanti da amministrazioni ed enti pubblici) di incoraggiare i cittadini ad assumere un ruolo sempre più attivo e collaborativo nei processi di produzione delle conoscenze. Ciò permette di facilitare una familiarizzazione in senso proattivo con i concetti e gli strumenti alla base dei sistemi informatici territoriali, allo scopo di ottimizzare sempre al meglio la condivisione delle informazioni e di affinare le tecniche di documentazione (Ojeda Zújar *et al.* 2015). Fine ultimo di queste strategie risiede nel miglioramento costante e a senso reciproco (vale a dire sia con dinamiche bottom-up che top-down) dei molteplici livelli che coinvolgono le dinamiche e le scale sistemiche di gestione del patrimonio culturale. Operando in tale maniera sarà possibile predisporre le condizioni essenziali per una sua conservazione nel tempo sempre più efficiente, in accordo ai principi stabiliti dalla Convenzione di Faro (Garzillo *et al.* 2018, 17; Gualdani 2020).

L'esperienza dimostra che utilizzando gli approcci sopra citati diviene possibile sopperire alle difficoltà, spesso riscontrate dai tradizionali team di ricerca o singoli ricercatori durante le operazioni sul campo, nel coprire specifici ambiti territoriali, garantendo in tal modo alle attività di ricerca e

survey maggiori capillarità, completezza e sintonia tanto con le istituzioni rappresentative dell'autorità quanto con le comunità residenti sul territorio (Garzillo *et al.* 2018, 20-21; Del Espino Hidalgo, Rodríguez Díaz 2023, 658). Operare in questo modo rende inoltre possibile scongiurare i rischi spesso conseguenti ad una eccessiva suddivisione e scarsa coordinazione tra i vari protagonisti operanti nelle fasi della ricerca, rivelandosi al contempo un modo particolarmente idoneo alle esigenze pedagogiche di un "mobile learning" comunitario che sia altamente partecipativo (Pieri 2011; Shahamati *et al.* 2022, 8-10) e miri alla divulgazione attiva del patrimonio culturale, all'inclusione e alla coesione sociale, come richiesto dalle direttive europee in questo ambito (Ranieri *et al.* 2011, 71).

A tale proposito un esempio significativo in ambito internazionale è offerto dal Visor de Patrimonio Rural (https://mapa.patrimonioruralandalucia.es/), strumento informatico specificamente pensato per una consultazione civica e partecipativa, la stesura dei cui contenuti è frutto del lavoro di sinergia di diversi interlocutori istituzionali, esperti (e.g. professionisti coinvolti a vario titolo nelle attività di pianificazione territoriale, Università, Centri e gruppi di ricerca), organismi di natura pubblica (e.g. musei, scuole, enti ministeriali, enti regionali, comunali e commissioni incaricate), stakeholder privati e cittadini attivi sul territorio sia a titolo singolo che sotto forma associativa (Del Espino Hidalgo, Rodríguez Díaz 2023, 660-661). Risulta interessante la strategia di suddividere gli oggetti di schedatura in tre distinte classi, vale a dire Beni materiali, Beni immateriali ed Elementi attivamente agenti su Società e Territorio. Allo stesso tempo il modello di scheda proposto si presenta particolarmente adatto a veicolare per mezzo di un lessico semplice ed efficace informazioni di carattere amministrativo e specialistico che risultano di importanza strategica tanto nelle politiche di progettazione del territorio quanto nella promozione del turismo locale[4].

Anche nel panorama italiano è comunque possibile reperire alcune significative sperimentazioni, come ad esempio le iniziative caratterizzate da una finalità dichiaratamente divulgativa nei confronti del patrimonio culturale materiale: è questo il caso del progetto Archeologia industriale ad Asti, nato in occasione della terza edizione del Festival della cultura Astigiano grazie alla collaborazione tra il locale Ordine degli Architetti e

[4] Le voci sono: Tipologia di bene: (e.g., bene materiale/ immateriale); Nome del bene; Tipologia (si riportano le principali attribuzioni e caratteristiche funzionali del bene in oggetto; Provincia di localizzazione; Municipio di localizzazione; Ambiti di interesse disciplinare: si riportano in voce i principali rami disciplinari per i quali il bene è oggetto di interesse; Cronologia; Attività associate: nella voce si riportano le notizie relative ad utilizzo, mansioni e finalità del bene; Natura legale: voce da inserire nel caso di schede relative ad agenti del territorio (e.g. privata, pubblica, no-profit); Livello di tutela e rischio: si riportano notizie relative ad eventuali situazioni di rischio per l'integrità del bene e i provvedimenti relativi; Fotografia (Del Espino Hidalgo, Rodríguez Díaz 2023, 666-667).



Fig. 6 – Norme essenziali di formattazione del testo sul programma uMap-OSM (elab. grafica dell'Autore da https://wiki.openstreetmap.org/wiki/UMap/Guide/Text_formatting).

l'Associazione culturale InFormAzioni, composta da esperti wikipediani (https://umap.openstreetmap.fr/it/map/monumenti-di-archeologia-industriale-di-asti_308812#14/44.9039/8.2195 di Yiyi(itwikipedia), licenza ODbL). La strutturazione delle voci nelle schede di catalogazione[5] presenta l'indubbio vantaggio di porre l'accento sulla veicolazione rapida e intuitiva di dati di interesse culturale mediante l'inserimento delle coordinate geografiche in forma sia decimale che sessagesimale e attraverso l'utilizzo di brevi abstract a scopo illustrativo. Allo stesso tempo si pone attenzione alle licenze Creative Commons relative alle immagini adoperate e infine viene offerta la possibilità di collegarsi a siti esterni (e.g. Wikipedia) come spunto di approfondimento a fine divulgativo.

Ulteriore esempio di collaborazione con la cittadinanza è rappresentato dalla realizzazione della mappa relativa ai luoghi abbandonati e riutilizzati di Salerno (https://umap.openstreetmap.fr/it/map/cultural-heritage-salerno_257369#20/40.67909/14.75581 di Amedeo Di Marco). La realizzazione di questo strumento, realizzato all'interno ad una cornice di partnership tra figure portatrici di interesse per una finalità collaborativa e mirante all'innovazione del patrimonio, è diretta conseguenza della volontà programmatica da parte

[5] Le voci sono: Nome del bene; Immagine: elemento opzionale, adoperando licenze Creative Commons; Descrizione/abstract; Link a sito esterno (si rimanda ad eventuali fonti online); Stato: qualifica/condizione del bene; Periodo di costruzione: informazioni cronologiche relative alle fasi di edificazione delle strutture; Coordinate (DMS); Coordinate (DD); WikiData.

dei promotori di quantificare attraverso la distribuzione di un apposito questionario il grado di percezione dei beni componenti il patrimonio presso la popolazione residente (Garzillo *et al.* 2018, 19-21).

In conclusione, attraverso l'utilizzo di uMap-OSM è possibile pubblicare online, in tempo reale e in relativa sicurezza, i dati raccolti sul campo durante le attività di ricerca dopo averli elaborati con i pochi accorgimenti di formattazione del testo (Fig. 6) richiesti dal programma. Ciò concretizza per residenti e studiosi locali la possibilità di usufruire di un ulteriore strumento informatico che sia "visibile, ricercabile e leggibile", utile non solo ad implementare le conoscenze riguardanti il passato delle proprie comunità di appartenenza, ma funzionale anche alla creazione di nuove modalità virtuali di comunicazione a fini divulgativi e rispondenti ai criteri di "smartness" e multisensorialità (Lerario, Maiellaro 2014, 88-89; Lampreu, Scanu, 2018, 888; Shahamati *et al.* 2022).

M.B.

5. Processo di pubblicazione del database online

L'accesso utenti alla piattaforma (https://umap.openstreetmap.fr/it/) avviene anonimamente oppure oppure per mezzo del protocollo OAuth (https://docs.umap-project.org/en/master/config/settings/). Nel secondo caso è possibile adoperare le credenziali di accesso alle piattaforme GitHub, Bitbucket, X ed OpenStreetMap. Lo sviluppatore consiglia inoltre di adoperare almeno due tra i fornitori di servizi per sopperire ad eventuali momenti di indisponibilità da parte delle singole applicazioni. Impostando i permessi del progetto di mappa è possibile rendere i propri progetti modificabili da chiunque oppure da specifici utenti, già iscritti sulla piattaforma uMap-OSM, che il proprietario del progetto aggiungerà come editor (Fig. 7).

Il processo creativo della mappa ha visto differenti approcci (Fig. 8): in un primo momento i singoli layer componenti l'articolazione della mappa sono stati ancorati remotamente ad un dataset generato mediante pubblicazione in formato CSV di tabelle elaborate utilizzando un foglio di calcolo Spreadsheets. Sfruttando tale funzione viene generato un link che permette la pronta immissione di set di dati georeferenziati all'interno della mappa, da immettere entro la voce URL interna alla proprietà "Dati Remoti", presente nelle impostazioni di ciascun layer prestabilito come corrispondente. Adottando tale strategia è necessario, sempre all'interno della proprietà "Dati Remoti" di ciascun layer, azionare i permessi per la dinamicità (per recuperare i dati ad ogni cambio di visualizzazione in mappa) e la richiesta proxy, efficace qualora il server remoto non permetta un agevole accesso incrociato ai domini. È necessario adattare il formato dei testi da inserire alle già menzionate norme di coding impostate da uMap-OSM. Tale operazione va effettuata all'interno della voce "Proprietà

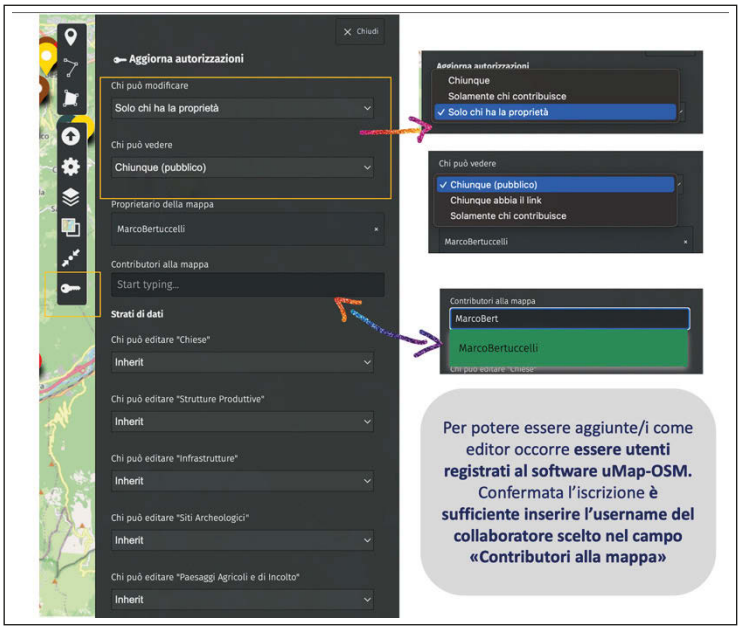


Fig. 7 – Modalità di personalizzazione dei permessi e delle contribuzioni su uMap-OSM.

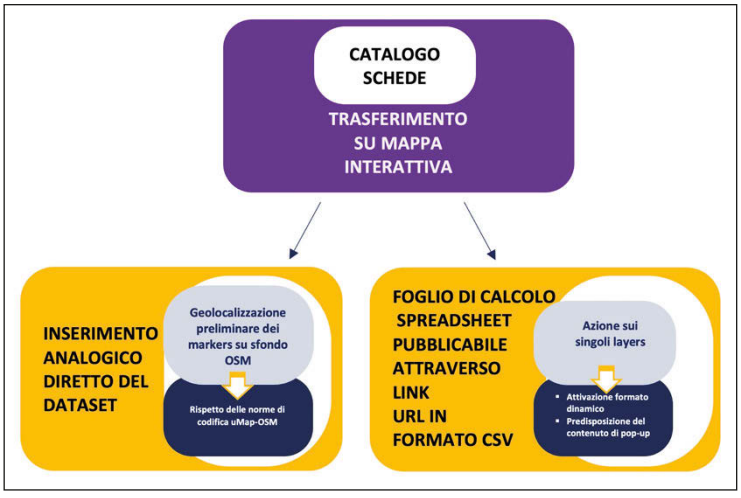


Fig. 8 – Sintesi delle operazioni di collegamento di una mappa interattiva creata attraverso uMap-OSM ad un foglio elettronico di calcolo Spreadsheets (elab. grafica dell'Autore).

del layer", agendo sulla funzionalità "Modello del contenuto del Pop-up", a sua volta interna alla gamma delle "Opzioni di interazione". Mediante tale procedura i campi verranno riempiti in automatico con i valori compilati da remoto (https://sites.google.com/view/lucascalzullo/lezioni-e-tutorial/umap).

La georeferenziazione in questo processo è resa possibile tramite l'inserimento dei valori di coordinate in formato decimale. Nel definire per ciascun layer un modello di contenuto del pop-up occorre inserire sotto i titoli dei campi predefiniti le proprietà dell'oggetto che si intende ancorare dal file CSV, operazione da eseguire attraverso l'utilizzo di parentesi graffe (ad es. {Descrizione}). Adoperando tale metodo la struttura di ogni singolo layer della mappa presenterà inoltre il vantaggio di essere resa preimpostabile. Possibili alternative al foglio di calcolo Spreadsheet di GoogleDocs, gratuito e di facile impiego, possono risiedere nell'utilizzo dell'applicativo Zoho Sheet, nella condivisione/esportazione in formato CSV di un foglio di lavoro Excel e nell'applicazione a licenza libera Ethercalc. Quest'ultima soluzione, in particolare, si presenta molto più diretta nell'utilizzo e nella generazione di link CSV, dal momento che questi ultimi saranno direttamente reperibili dall'URL del foglio di calcolo generato, tuttavia ha l'inconveniente di essere relativamente meno protetta. È possibile comunque bloccare i singoli dati inseriti in un campo mediante la funzione "Lock Cell" (https://cirospat.readthedocs.io/it/latest/tutorial-googledrive-to-umap.html).

Per quanto i metodi appena illustrati siano garanti di uniformità, controllo e standardizzazione, l'insorgenza di problemi nella visualizzazione della mappa collegata remotamente ai file in formato CSV ha tuttavia determinato che i dati già conservati nel foglio di calcolo venissero direttamente inseriti all'interno delle singole voci componenti di ciascun layer ("oggetti"), preventivamente georeferenziate mediante l'utilizzo dello strumento marker e quindi compilate nel campo "Descrizione" (interno alla modifica delle funzionalità "Proprietà dell'oggetto") con la medesima sequenza di campi e dati già precedentemente elaborati al fine di compilare una scheda divulgativa di sintesi dei beni culturali (Figg. 9-10) strutturata rispettivamente in tre aree, una prima a carattere di registro documentario, una seconda a carattere geografico-amministrativo, una terza a valenza tecnico-scientifica (rielaborazione da Mancinelli 2018, 281-282):

Area relativa alla documentazione e registrazione del bene:
Categoria di bene: Si riporta la categoria di bene sulla base del layer nel quale esso è stato inserito;
N° Scheda: dato non visualizzabile su uMap-OSM; la numerazione ricopre essenziale nell'ordinamento dei dataset per mezzo di un file spreadsheet;
Valori di Latitudine e Longitudine: non visibili su uMap-OSM ed essenziali alla georeferenziazione, sono riportati in valore decimale sul foglio di calcolo elettronico Spreadsheet.



Fig. 9 – Modello base di scheda divulgativa elaborato per il processo di catalogazione dei beni oggetto della presente indagine (elab. grafica dell'Autore).

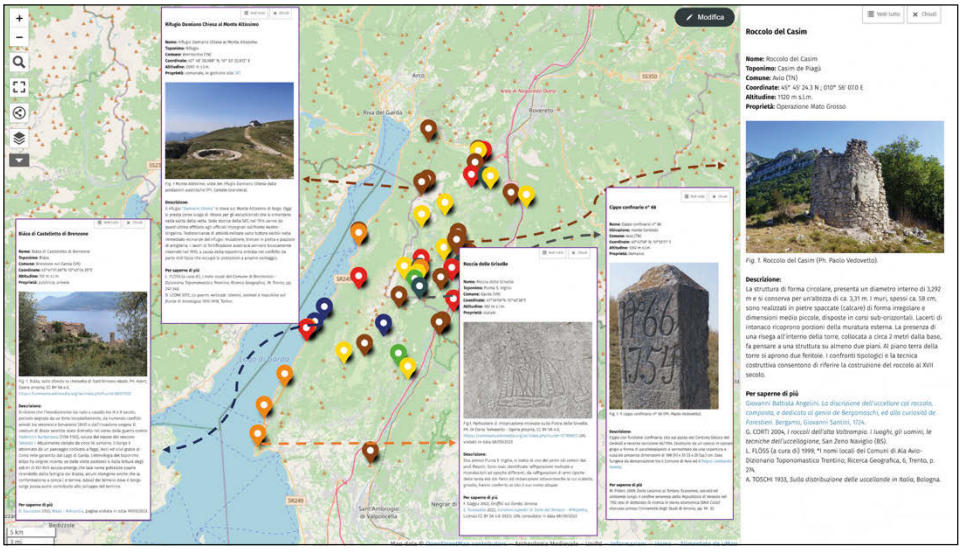


Fig. 10 – Schermata del database uMap-OSM relativa all'apertura in dinamica pop-up della scheda divulgativa del Roccolo del Casim, Avio (TN). In dimensioni ridotte sono poste a scopo esemplificativo anche le schede di Roccia delle Griselle, Garda (VR), del rifugio Damiano Chiesa al Monte Altissimo di Nago, Brentonico (TN), di Biàza di Brenzone (VR) e del cippo confinario n. 66 a Monte Cerbiolo, Avio (TN).

Area geografico-Amministrativa:
Nome: nome del bene censito;
Toponimo: Nome del luogo geografico presso cui il bene è ubicato;
Comune: Comune amministrativo in cui si rileva la presenza del detto bene;
Coordinate: Coordinate (valori espressi in gradi sessagesimali);
Altitudine: Inserimento dei valori di altitudine (espressi in metri s.l.m.);
Proprietà: Inserimento dei dati relativi alla proprietà del bene.

Area tecnico-scientifica:
File immagine/audio/video: (nel primo caso il dato illustrativo è inseribile mediante link ad immagine digitalizzata con licenza Creative Commons, altrimenti può essere immesso da bibliografia edita. Le regole di formattazione richiedono l'inserimento a mezzo di generazione link, operazione effettuabile adoperando un programma hosting di immagini);

Didascalia: inserimento di eventuali crediti intellettuali e di proprietà/licenza del file;

Descrizione: Descrizione tecnico-scientifica dell'oggetto in catalogo a fini divulgativi;

Per saperne di più: Rimando ai dati documentari (bibliografia-sitografia).

Al fine di agevolare al massimo la consultazione dell'interfaccia di mappa interattiva da parte degli utenti (consultabile al link https://umap.openstreetmap.fr/it/map/i-paesaggi-storici-del-monte-baldo-un-archivio-di-_787392), i colori degli oggetti marker a dinamica pop-up sono stati personalizzati in base a criteri di massima intuitività e accessibilità (Pieri 2011, 52). È il caso ad esempio del colore verde (Angelini, Re 2012, 21; Pagani 2001, 188) generalmente associato all'ambiente naturale e pertanto designato ad evocare visivamente la presenza di elementi che rimandassero a "Paesaggi Agricoli e di Incolto". A tale impostazione è stata affiancata la scelta programmatica di richiamare le cromie prescritte dalla normativa vigente a livello comunitario e nazionale (Pastore 1997; Bulegato 2021, 181-189). Si è pertanto deciso di adoperare il colore blu per la grafica dei marker nel layer "Centri Abitati", richiamando in tal modo la segnaletica comunitaria vigente per strade extraurbane, mentre per i beni censiti in "Siti Archeologici", "Fortificazioni" e "Strutture Produttive" sono stati impiegati colori caldi elaborati dal marrone prescritto nella segnaletica nazionale turistica e di territorio[6]. Nel caso dei layer "Infrastrutture" e "Chiese" sono stati infine adoperati colori utilizzati

[6] Ai sensi del vigente D.Lgs. n. 285 del 30/04/ 1992, art. 39, Segnali verticali, c. 1., lett. d), e), f), g), h), c. 2, https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:1992-04-30;285). Tale gamma di colori viene adoperata allo scopo di fornire indicazioni di località o punti di interesse storico, artistico, culturale e turistico (ai sensi del DPR n. 495 del 16/12/1992, art. 78, c. 2, lett. e), https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.del.presidente.della.repubblica:1992-12-16;495).

nei mappali dei catasti storici, strumenti documentari connotati a loro volta da un forte valore simbolico, identitario e comunicativo nei confronti dei territori che rappresentavano (Dai Prà 2013, 17-19).

È possibile inoltre, sempre al fine di aumentare l'accessibilità e le opportunità di esperienza sensoriale, l'inserimento di link (opportunamente formattati secondo le già citate regole di codifica del programma) relativi a file multimediali audio e video, rendendo concreta la possibilità di collegare il database uMap ad audio e video podcast (e.g. https://cird.uniud.it/archivio/mappe-parlanti/).

M.B.

6. Conclusioni

Gli archivi di comunità sono una componente vitale degli sforzi collettivi volti a preservare il patrimonio storico e culturale di una regione. Essi possono essere complementari ad altre iniziative, che nel caso del Monte Baldo sono le attività di formazione nelle scuole di ogni ordine e grado, l'aggiornamento delle pagine di Wikipedia con gli studenti universitari e la creazione di un dossier per la candidatura UNESCO. Nelle aree rurali e in quelle di montagna queste attività tendono ad essere svolte principalmente da volontari e spesso affrontano sfide di sostenibilità, soprattutto se non sono legate ad agenzie governative o istituzioni sul patrimonio. Ed è qui che servono strutture come le università o le istituzioni museali, affinché esse collaborino per garantire che l'archivio possa sfruttare le nuove tecnologie, sia per la raccolta dei dati e il loro studio che per la loro disseminazione, creando strumenti in formato open source a licenza libera, che possano essere implementati a distanza da diversi partecipanti in modo intuitivo e flessibile.

La costruzione dell'Archivio di Comunità del Monte Baldo e la sua pubblicazione online con uMap-OSM costituiscono dunque la logica evoluzione delle nostre ricerche di archeologia partecipata e consentono di rendere disponibile alla comunità locale un ulteriore strumento di conoscenza del patrimonio culturale e storico, di diffonderlo oltre i confini geografici locali e di utilizzarlo a diversi fini. In rapporto alla candidatura UNESCO (uno degli obiettivi della comunità), l'Archivio di Comunità contribuisce sotto molteplici aspetti. *In primis*, esso favorisce una raccolta sistematica e organizzata di tutte le informazioni storiche, archeologiche, artistiche e culturali del Monte Baldo. Questo compendio di dati serve come base imprescindibile per dimostrare l'unicità e l'integrità del patrimonio culturale del territorio e la documentazione dettagliata permette di elaborare piani di gestione che rispettino le direttive UNESCO per la tutela. Il coinvolgimento attivo delle comunità locali nella creazione e gestione dell'Archivio stimola inoltre la consapevolezza e l'orgoglio verso il patrimonio locale, favorendo la sua conservazione e valorizzazione a lungo termine.

L'Archivio offre anche materiale didattico per programmi educativi che possono aumentare la consapevolezza sulla rilevanza storico-culturale del Monte Baldo. Infine l'inclusione di informazioni sull'Archivio in materiali promozionali può attrarre visitatori interessati al patrimonio culturale, stimolando un turismo responsabile e informato e contribuendo quindi allo sviluppo di progetti che legano il patrimonio a modelli economici sostenibili. La tecnologia digitale offre inoltre l'opportunità di espandere l'accesso ai contenuti oltre i confini geografici locali. Gli archivi di comunità e le storie che raccontano possono aiutare a costruire un patrimonio inclusivo locale e nazionale in cui tutte le comunità, tutte le relazioni e le interazioni sono incluse. Questo patrimonio e gli usi a cui può essere destinato (pubblicazioni, mostre, attività didattiche e ricerche personali) aiutano a connettere le persone a luoghi, comunità e tradizioni, a riunire e favorire la comprensione tra generazioni e gruppi diversi.

A.Ch.A.

Alexandra Chavarría Arnau
Dipartimento dei Beni Culturali
Università degli Studi di Padova
chavarria@unipd.it

Marco Bertuccelli
Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici
Università degli Studi di Padova
marcobertuccelli94@gmail.com

BIBLIOGRAFIA

Angelini A., Re A. 2012, *Parole, simboli e miti della natura*, Palermo, Qanat.

Anichini F. 2023, *MAGOH: un nuovo strumento per la gestione e la consultazione dei dati archeologici del Nord della Toscana*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 277-296 (https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.15).

Brogiolo G.P. 2022, *Castelli e strategie di difesa dell'Impero d'Oriente a nord del Po (538-603)*, in F. Marazzi, C. Raimondo, G. Hyeraci (eds.), *La difesa militare bizantina in Italia (secoli VI-XI), Atti del Convegno internazionale (Squillace 2021)*, Cerro al Volturno, Volturnia Edizioni, 29-44.

Brogiolo G.P., Azzolini A. 2013, *Fortificazioni e chiuse nella Val d'Adige*, in Possenti *et al.* 2013a, 41-60.

Brogiolo G.P., Chavarría Arnau A. 2021, *Archeologia dei paesaggi storici a vent'anni dalla convenzione europea di Firenze*, in L. Magnini, C. Bettineschi, L. Burigana (eds.), *Traces of Complexity. Studi in onore di Armando De Guio*, Quingentole, SAP società archeologica, 141-154.

Brogiolo G.P., Chavarría Arnau A. 2022, *Archeologia partecipata e "archivi di comunità"*, in M. Milanese (ed.), *IX Congresso Nazionale di Archeologia Medievale*, 1, Firenze, All'Insegna del Giglio, 25-30.

Brogiolo G.P., Ibsen M., Malaguti C. (eds.) 2006, *Archeologia a Garda (1998-2003)*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Brogiolo G.P., Cavada E., Ibsen M., Pisu N., Rapanà M. (eds.) 2013a, *APSAT 10. Chiese trentine dalle origini al 1250*, I, Mantova, SAP Società Archeologica.

Brogiolo G.P., Cavada E., Ibsen M., Pisu N., Rapanà M. (eds.) 2013b, *APSAT 11. Chiese trentine dalle origini al 1250*, II, Mantova, SAP Società Archeologica.

Brogiolo G.P., Gentilini G., Landi W. 2013c, *Castel Penede a Nago nel Sommolago*, in Possenti *et al.* 2013c, 217-248.

Bulegato F. 2021, *Una guida estesa a tutta l'Italia. Il Touring Club Italiano e il progetto della segnaletica stradale, 1895-1939*, in G. Belli, F. Mangone, R. Sessa (eds.), *L'Italia del Touring club, 1984-2019. Promozione, tutela e valorizzazione del patrimonio culturale e del paesaggio, Storia dell'Urbanistica*, Palermo, Caracol, 180-199 (https://doi.org/10.17401/su.s1.fb10).

Calandra E., Boi V., Falcone A., Acconcia V., Di Giorgio S., Massara F., Ronzino P. 2021, *Policy and practice for digital archaeological archiving in Italy*, «Internet Archaeology», 58 (https://doi.org/10.11141/ia.58.27).

Castagnetti A. 1983, *Le comunità della regione gardense fra potere centrale, governi cittadini e autonomie nel medioevo (secoli VIII-XIV)*, in G. Borelli, *Un lago, una civiltà: il lago di Garda*, Verona, Fiorini, 31-114.

Casu P., Pisu C. 2013, *Web GIS per la promozione del patrimonio culturale. L'esperienza di Busachi*, «DisegnareCon», 11, 39-48 (https://doi.org/10.6092/issn.1828-5961/3423).

Chavarría Arnau A. 2019, *La ricerca partecipata nell'archeologia del futuro*, «Il Capitale Culturale. Studies on the Value of Cultural Heritage», Suppl. 9, 369-387.

Consolandi E. 2019, *Valorizzazione culturale e sistemi di mapping: le mappe rupestri della Valle Camonica*, in E. Casti (ed.), *La geografia a Bergamo. Nuove sfide per l'analisi territoriale e il mapping*, Roma, A.Ge.l., 77-87.

Dai Prà E. 2013, *Un modello di lavoro. L'approccio geo-storico allo studio della fonte cartografica*, in E. Dai Prà (ed.), *APSAT 9. Cartografia storica e paesaggi in Trentino. Approcci geostorici*, Mantova, SAP Società Archeologica, 17-26.

Del Espino Hidalgo B., Rodríguez Díaz V. 2023, *Collaborative mapping as a tool for citizen participation: A case of cultural heritage management in rural areas*, «Architecture», 3, 658-670 (https://doi.org/10.3390/architecture3040035).

García-Santiago L., Olvera-Lobo M.D. 2018, *Wikipromotion?: The use of Wikipedia to spread the World Cultural Heritage in Spain*, in *Congreso HERITAGE 2018: 6th International Conference on Heritage and Sustainable Development, Granada (España)*, (http://hdl.handle.net/10481/71648).

Garzillo C., Gravagnuolo A., Ragozino S. 2018, *Circular governance models for cultural heritage adaptive reuse: The experimentation of heritage innovation partnerships*, in F.D. Moccia, M. Sepe (eds.), *XI Giornata Studio INU. Interruzioni, Intersezioni, Condivisioni, Sovrapposizioni. Nuove prospettive per il territorio*, «Urbanistica Informazioni», Special Issue, 17-23.

Gualdani A. 2020, *Il "valore" del patrimonio culturale e la sua gestione. L'Italia ratifica la convenzione di Faro: quale incidenza nel diritto del patrimonio culturale italiano?*, «Aedon, Rivista di Arti e Diritto on-line», 3 (https://aedon.mulino.it/archivio/2020/3/gualdani.htm).

Lampreu S., Scanu G. 2018, *La promozione turistica dei territori tra mappe digitali, Big Data e social network*, in G. Chiantera (ed.), *Atti della Conferenza Nazionale ASITA 2018*, Roma, 887-899.

Lerario A., Maiellaro N. 2014, *Mappe interattive per la promozione turistico-culturale*, «SCIentific REsearch and Information Technology», 4, 1, 85-98 (http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v4n1p85).

Mancinelli M.L. 2018, *Gli standard catalografici dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione*, in R. Tucci, *Le voci, le opere e le cose, La catalogazione dei beni demoetnoantropologici*, Roma, Istituto centrale per il catalogo e la documentazione, 279-302.

Marcato P. 2020, *Analisi diacronica del paesaggio storico delle malghe di Brentonico (TN) tra XIX e XXI secolo*, «PCA. European Journal of Post-Classical Archaeologies», 10, 449-472.

Maurina B. (ed.) 2016, *Ricerche archeologiche a Sant'Andrea di Loppio (Trento, Italia): il* castrum *tardoantico-altomedievale*, Oxford, Archaeopress.

Mauro G., Ronza M. 2021, *Cultural heritage and awareness: Differences between volunteered geographic information of OpenStreetMap and an official cartography. The case of Caserta in South-Italy*, in *Abstracts of the International Cartographic Association, 30th International Cartographic Conference (ICC 2021) (Florence)* (https://doi.org/10.5194/ica-abs-3-199-2021).

Ojeda Zújar P., Díaz Cuevas P., Álvarez Francoso J.I., Pérez Alcántara J.P., Prieto Campos A. 2015, *Geoportales y geovisores web: Un nuevo entorno colaborativo para la producción, acceso y difusión de la información geográfica*, in J. De la Riva, P. Ibarra, R. Montorio, M. Rodrigues (eds.), *Análisis espacial y representación geográfica: Innovación y aplicación*, Zaragoza, 777-786.

Pagani C. 2001, *Le variazioni antropologico-culturali dei significati simbolici dei colori*, «Leitmotiv», 1, 175-197.

Pastore F.R.M. 1997, *Circolazione stradale internazionale*, Rimini, Egaf.

Pensa I. 2023, *Lasciateci partecipare. Riuso e disseminazione del sapere educativo, scientifico e culturale attraverso Wikipedia, i progetti Wikimedia e OpenStreetMap*, «Rivista italiana di Informatica e Diritto», 5, 1, 89-92 (https://doi.org/10.32091/RIID0110).

Pentzold C. *et al.* 2017, *Digging Wikipedia: The online Encyclopedia as a digital Cultural Heritage gateway and site*, «Computing and Cultural Heritage», 10, 1 (https://doi.org/10.1145/3012285).

Pieri M. 2011, *L'accessibilità del mobile learning,* «TD-Tecnologie Didattiche», 52, 49-56 (https://doi.org/10.17471/2499-4324/235).

Possenti E., Gentilini G., Landi W., Cunaccia M. (eds.) 2013a, *APSAT 4. Castra, castelli, e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Schede 1*, Mantova, SAP Società Archeologica.

Possenti E., Gentilini G., Landi W., Cunaccia M. (eds.) 2013b, *APSAT 5. Castra, castelli, e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Schede 2*, Mantova, SAP Società Archeologica.

Possenti E., Gentilini G., Landi W., Cunaccia M. (eds.) 2013c, *APSAT 6. Castra, castelli, e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Saggi*, Mantova, SAP Società Archeologica.

Provos N., Mavrommatis P., Rajab M.A., Monrose F. 2008, *All your iFRAMEs Point to Us*, *Proceedings of the 17th Conference on Security Symposium*, San Jose, CA, 1-15.

Ranieri M., Ravotto P., Bonaiuti G. 2011, *M-Learning & e-inclusion. Il progetto EN-SEMBLE*, «Form re - Open Journal per la formazione in rete», 73, 70-81 (https://doi.org/10.13128/formare-12556).

Selim H., Tajeb S., Kim Y., Zhan J., Pirouz M. 2016, *Vulnerability analysis on Iframe attacks on websites*, in *Proceedings of the 3rd Multidisciplinary International Social Networks Conference on Social Informatics, Data Science 2016*, New York, article 45, 1-6 (https://doi.org/10.1145/2955129.2955180).

Serlorenzi M., De Tommasi A., Grassucci R., Vismara A. 2013, *Il webGIS del SITAR: riflessioni, approcci e percorsi metodologici per la pubblicazione e la multi-rappresentazione dei dati territoriali archeologici*, in M. Serlorenzi (ed.), *ArcheoFOSS Free, Libre and Open Source Software e Open format nei processi di ricerca archeologica. Atti del VII Workshop (Roma, 11-13 giugno 2012)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 4, 112-119 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_4/12_Serlorenzi_De_Tommasi_et_al.pdf).

Shahamati S., Shaw E., Baumann Y., Caquard S. 2022, *uMap: A free open-source alternative to google my maps*, «Cartographic Perspectives», 99, 1-13 (https://doi.org/10.14714/CP99.1729).

Sini F., Avanzini M. 2023, *La complessità storica degli alpeggi sulla montagna di Brentonico: una proposta di catalogazione delle architetture di malga*, «PCA. European journal of Post-Classical Archaeologies», 13, 251-284.

Varanini G.M. 2005, *Ricerche di storia gardesana*, «Medioevo. Studi e documenti», 1, 161-254.

Yang G.L., Huang J., Gu G. 2019, *Iframes/popups are dangerous in mobile webview: Studying and mitigating differential context vulnerabilities*, in *Proceedings of the 28th USENIX Security Symposium (Santa Clara, CA, 2019)*, 977-994 (https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity19/presentation/yang-guangliang).

Yun J.B., Shin Y., Kim H.C., Yoon H. 2011, *MiGuard*: *Detecting and guarding against malicious Iframe through API hooking*, «IEICE Electronics Express», 8, 7, 460-465 (https://doi.org/10.1587/elex.8.460).

ABSTRACT

The paper presents the use of the free open source software uMap-OSM as a solution for the online implementation and dissemination of the Community Archive of Monte Baldo, a project consisting in the participatory identification and cataloging of Cultural Heritage from this territory located in the provinces of Trento and Verona. The paper offers a concise comparison of user-friendly alternatives and evaluates strategies for database creation using uMap-OSM. The final section validates the selected methods and customization plans, aimed at fulfilling divulgation, accessibility and sustainability goals, while adhering to archaeological documentation standards. The Community Archive of Monte Baldo also aligns with the objectives of local authorities and stakeholders in land-use planning and human development, contributing to the preparation of a UNESCO candidacy dossier for the Monte Baldo territory.

THE H2IOSC PROJECT AND ITS IMPACT ON DIGITAL ANTIQUITY WITHIN THE E-RIHS INFRASTRUCTURE – I

Special section edited by

Alessandra Caravale, Paola Moscati, Irene Rossi





Research conducted within H2IOSC Project - Humanities and cultural Heritage Italian Open Science Cloud funded by the European Union NextGenerationEU - National Recovery and Resilience Plan (NRRP) - Mission 4 “Education and Research” Component 2 “From research to business” Investment 3.1 “Fund for the realization of an integrated system of research and innovation infrastructures” Action 3.1.1 “Creation of new research infrastructures strengthening of existing ones and their networking for Scientific Excellence under Horizon Europe” - Project code IR0000029 - CUP B63C22000730005. Implementing Entity CNR.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 515-520
doi 10.19282/ac.35.1.2024.30

LANDSCAPING AND INTEGRATING DIGITAL ARCHAEOLOGY AND DIGITAL EPIGRAPHY RESOURCES: NEW CHALLENGES AND FUTURE OPPORTUNITIES. INTRODUCTION TO THE SPECIAL SECTION

1. Introduction

The H2IOSC Project ('Humanities and cultural Heritage Italian Open Science Cloud'), funded by the European Union Next Generation EU and the Italian Ministry of University and Research as part of the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), started in November 2022 with the aim to establish a federated cluster of the Italian nodes of the CLARIN, DARIAH, E-RIHS and OPERAS[1] research infrastructures in the ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) domain focusing on Social and Cultural Innovation. This endeavour seeks to foster collaboration among researchers from various disciplines in the Humanities, Language technologies and Cultural Heritage sectors, enabling them to engage in data – and compute-intensive research. The Project (https://www.h2iosc.cnr.it/) is structured into eight Work Packages, with archaeologists and epigraphists playing a significant role in the sub-packages pertinent to the E-RIHS infrastructure.

This special section of the journal «Archeologia e Calcolatori» is dedicated to showcasing the research activities conducted by the CNR-ISPC Open Data, Open Knowledge, Open Science research group[2] as part of the H2IOSC Project. The featured research spans across three Work Packages: WP2 (Landscaping & Building Communities), WP4 (RIs Nodes and Resources Interoperability), and WP7 (Community Pilots: Innovative Cross-domain Services and Environments). Our editorial programme envisages publishing three special thematic sections in the journal's 35.1, 35.2 and 36.1 issues. The main objective is to promote and share the research outcomes by providing free access to scientific data, following an approach that aligns with our journal's tradition. At the same time, these publications will enrich the federated cluster of Italian nodes of the leading research infrastructures in the Humanities and Cultural Heritage, by creating awareness that knowledge and interpretation of the past can inform future technological decisions.

[1] http://dariah.cnr.it/; https://www.clarin-it.it/; https://www.e-rihs.it/; https://operas-eu.org/.
[2] https://www.ispc.cnr.it/it_it/2020/05/14/gruppo-open-data/.

2. Improve knowledge on Digital Archaeology resources and classification

As part of the WP2, research activity 2.4 focuses on 'Landscaping the Cultural Heritage and Heritage Science resources and needs panorama'. This activity is dedicated to surveying and detailing the existing resources and requirements within the Cultural Heritage (CH) and Heritage Science (HS) research communities participating in the Italian E-RIHS network. It involves a series of interconnected tasks aimed at identifying and highlighting the available resources and repositories, their specific disciplinary domains, the main services and tools developed, and the best practices, protocols, and standards employed. The objective is to ensure that the production and sharing of datasets adhere to the FAIR principles, promoting their interoperability.

Since the start of the H2IOSC Project, specific attention has been placed on classifying the main cross-cutting themes that characterise the Digital Archaeology research domain and its current integration within Digital CH and HS. In the context of the articles published in the international journal «Archeologia e Calcolatori», this evolution necessitates a fresh examination of the methods employed to classify the wide-ranging areas of application that now span a vast array of technological innovations, posing challenges to conventional classification frameworks. Thanks to the application of Machine Learning (ML) techniques, the implementation of a knowledge map has been instrumental in identifying topic clusters and keywords that exemplify the ten dominant technological approaches[3] to analyse and interpret archaeological data and in highlighting the pivotal contribution of archaeology – particularly computational archaeology – to the multidisciplinary domain of HS[4].

Within the activities illustrated in this special section, we delve deeper into the advancements made in the frame of WP2 and, therefore, into the landscaping activities. The definition of a collaborative framework between the disciplinary communities associated with the four research infrastructures helped us to establish general guidelines for conducting the survey, collecting information and mapping their technological landscape. The main focus of the activity was centred around three primary goals: the development of a web-based questionnaire structure, the selection of candidates for in-person interviews, and the initiation of a semi-automated search for existing resources, tools, software and services.

In addition to the active participation of the E-RIHS community in both the design and the dissemination of the questionnaire, which is set to be distributed

[3] Artificial Intelligence; GIS and Spatial Analysis; Imagery Analysis; Material Culture; Modeling and Simulation; Digital Cultural Heritage; Photogrammetry and 3D Scanning; Remote Sensing; Semantic Technologies; Virtual Reality.

[4] Caravale A., Duran-Silva N., Grimau B., Moscati P., Rondelli B. 2023, *Developing a digital archaeology classification system using Natural Language Processing and Machine Learning techniques*, «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 9-32 (https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.01).

online via the Lime Survey service thanks to the licensing and server hosting provided by CNR (https://www.limesurvey.org/), our research group strategically developed two operational databases: DHeLO and BiDiAr (see Mancuso, D'Eredità, in this special section). They are designed to closely monitor the digital resources of the CH/HS domains, along with their extensive bibliographic references. These tools are intended to be both flexible and versatile, enabling the storage of data collected via the questionnaire distribution and facilitating interaction with other landscaping initiatives promoted by WP2, such as the CLARIN Virtual Language Observatory (VLO). Furthermore, the data collected can serve as input for the E-RIHS DIGILAB platform and contribute to implementing the Open Digital Archaeology and Epigraphy Hubs, which are being developed as an E-RIHS pilot project within H2IOSC's WP7.

As will be extensively discussed, DHeLO's primary objective is to establish an observatory for digital products to provide a deeper insight into the dynamic scenario of CH/HS and better meet its needs in terms of digital tools. The database conceptual scheme enables efficient mapping of digital products, providing, in particular, an in-depth exploration of the progress of Digital Archaeology, including an examination of the ten thematic clusters mentioned above (see note 3). This ongoing data analysis progressively reveals common practices, shared standards, and similar workflows across various research projects and institutions. This holistic approach enhances our understanding of Digital Archaeology's trajectory, fostering improved cooperation and informed decision-making.

P.M.

3. Digital Archaeology: collection and sharing of bibliographic resources

In an effort to create new resources for the Italian node of the E-RIHS infrastructure, a new bibliographic reference tool primarily focusing on Digital Archaeology has been developed to be implemented in the H2IOSC Marketplace. Named BiDiAr, this tool is a product of the CNR Institute's 30 years of activity in the field of archaeological computing. It not only documents the most recent developments but also facilitates the preservation of past events and contexts. Indeed, in recent years, archaeological computing, a relatively young discipline, has seen significant growth in studies and research, due to the widespread integration of digital technology across all the different investigation areas. This has not only broadened the perspectives of analysis, but has also revolutionised the methods of collecting, preserving, and using archaeological data, opening up new horizons of comprehension, interpretation, and dissemination of the past through technology. Analysing the evolution of this discipline through its bibliography provides a historical and conceptual overview, starting from the earliest works focused on a small number of key topics up to the current research

panorama characterised by a diversified and multifunctional use of machines and technologies. The availability of a bibliographical corpus makes it possible not only to benefit from an organised and systematic framework of a constantly expanding discipline, but also to have a grasp of the sectors that today have achieved major relevance while identifying those that are less visited.

The CNR-ISPC Open Data, Open Knowledge, Open Science research group acknowledges the pivotal role of bibliography in understanding a specific disciplinary sector. Over time, the group has conducted different research in this domain, sharing their outcomes online. An important initiative is the Virtual Museum of Archaeological Computing (https://archaeologicalcomputing.lincei.it/), representing the multimedia apex of an international project dedicated to the historical development of computers in archaeology. This project originated from a fruitful collaboration between Accademia Nazionale dei Lincei and Consiglio Nazionale delle Ricerche. The website provides access to several bibliographies, beginning with those associated with prominent scholars in archaeological computing who have been active since the 1950s (J.-C. Gardin, A.C. Spaulding, D.L. Clarke, G.L. Cowgill, J.E. Doran, R. Ginouvès, F.R. Hodson). The portal also contains the Bibliography of Archaeological Computing of the 1990s, a rich repository comprising over 2700 titles spanning the period from 1989 to 2000, which has been the subject of a specific study[5]. The study aimed to describe the international cultural panorama of the 1990s, connecting it with the achievements of the previous decades and with the challenges of the subsequent years, which have deeply influenced the development of Digital Archaeology in the new millennium.

BiDiAr is a new research tool in the field of Digital Archaeology and Cultural Heritage (see Mancuso, D'Eredità, in this special section). It is developed in H2IOSC-WP2 using bibliographic data collected from recent volumes of «Archeologia e Calcolatori», which has been a reference point in this sector since 1990. As described in this special section, the repository archives over 6500 titles using the open-source software Zotero, providing access to a rich body of knowledge and offering an overview of studies that, although focused on recent years, provides a diachronic perspective on this research area, allowing its evolution and trends to be tracked over time. The tool's potential lies in its continuous implementation and updating, enabling ongoing monitoring of the discipline's status. Additionally, it can be linked with other tools developed within the same research group, such as the above-mentioned DHeLO and IADI (A&C Interactive Atlas of Digital Images; https://iadi.archcalc.cnr.it/), aimed at creating a digital ecosystem that offers an integrated approach to data consultation, fostering their sharing and dissemination.

A.C.

[5] Caravale A., Moscati P. 2021, *La bibliografia di informatica archeologica nella cultura digitale degli anni Novanta*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

4. Towards a semantic framework for the interoperability of Cultural Heritage resources: the role of Digital Archaeology and Digital Epigraphy

Central to H2IOSC's objective of facilitating data integration and supporting research in the Humanities, Language technologies and Cultural Heritage sectors are the activities that CNR-ISPC is conducting in the frame of the Project's WP4. The CNR-ISPC Milan branch of the Open Data, Open Knowledge, Open Science group leads Activity 4.10, which aims at ensuring interoperability in the domain of Cultural Heritage and at contributing to the elaboration of a shared semantic framework among the four RIs involved in the Project to allow their resources to be onboarded into an integrated, cross-domain environment – the H2IOSC Marketplace. Activity 4.10 is related to the resources which will populate DIGILAB, E-RIHS's digital platform offering virtual access to tools and data in the field of Heritage Science. These activities encompass identification and mapping of metadata schemas, alignment to community standards, ontology design and application.

The contribution by Scarpa and Valente in this special section tackles the need for a survey of Knowledge Organisation Systems in the Heritage sector as a preliminary step for resources' harmonisation and integration, with a focus on semantic artefacts (i.e. knowledge models which are intelligible – and therefore automatedly processable – by machines, as the authors explain). The first result of this survey activity has been the setting up of H-SeTIS – Heritage - Semantic Tools and Interoperability Survey, an open access observatory of semantic artefacts in the Heritage domain, providing descriptions of resources and tools such as ontologies, metadata schemas, thesauri, application profiles and software. H-SeTIS, in turn, has been designed as a tool whose information is mapped to standard schemas and is exposed in interoperable formats through a web-service. The bibliographic catalogue of the semantic survey, whose entries are associated to the records of the H-SeTIS database, is maintained as an open Zotero group.

The use of keywords for describing the disciplinary domain(s) of each resource catalogued in H-SeTIS allows to draw some preliminary qualitative and quantitative reflections on the semantic landscape of the Heritage sector. This shows a longstanding interest and concerted effort towards a shared description of Cultural Heritage-related digital resources in the fields of Archaeology, Museum and Text studies. On the other hand, disciplines concerned with diagnostic analyses of cultural objects suffer from a lack of contents' formalisation and integration with existing semantic tools in the field of Cultural Heritage. To address such issue, CNR-ISPC will design an ontology for modeling the Heritage Science domain that integrates into the H2IOSC semantic platform. Crucial to this final aim is the acknowledgement, among the information catalogued in H-SeTIS, of the development/maintenance status of the described resources, which is an essential aspect to sift through them and provide an up-to-date

panorama of the reliable and usable semantic tools, while acknowledging the closed or abandoned initiatives to document the history of studies in the field.

The integration of cross-domain resources enabled by WP4's activities is going to be applied and tested in H2IOSC through a series of pilot projects, to be developed within WP7. As part of E-RIHS, CNR-ISPC is currently involved in the creation of several digital hubs which span and intersect the multiple disciplinary fields of Heritage Science. Activity 7.4 is working towards the implementation of two case studies related to the fields of Digital Archaeology and Digital Epigraphy that will benefit from the services provided by the H2IOSC RIs in terms of tools and resources for material heritage studies and text studies. Starting from the CNR decennial experience of Diamond Open Access publishing in the Digital Archaeology sector, represented by the journal «Archeologia e Calcolatori», the Open Digital Archaeology Hub will provide archaeologists with accessible resources to experiment with innovative technologies for the extraction of structured information from traditional textual and iconographic corpora, thus stimulating awareness of Open Science in the archaeological field[6]. The Open Digital Epigraphy Hub, on the other hand, aims at building an open platform for the discovering and sharing of resources, tools and methods in the field of Digital Epigraphy, leveraging the experience of the open access 'Digital Archive for the Study of pre-Islamic Arabian Inscriptions' (DASI: https://dasi.cnr.it/)[7].

Indeed, the peculiar nature of the inscriptions – which are both textual and material sources – has put the research on epigraphic corpora at the crossroads of Digital Humanities, Computational Linguistics and Heritage Sciences. 'Epigraph' appears thus as a complex object of study, one that is especially apt to test technological solutions developed within the Project for its interdisciplinary goals. The joint effort that WP7 and WP4 are undertaking to identify a common semantic framework of H2IOSC starts precisely from the case study of 'text-bearing objects', where epigraphs as resources represent the various facets of the textual, art-historical and archaeological inquiries onto which the diagnostic processes of the analytical sciences of Cultural Heritage can be applied. These activities will be described in forthcoming contributions in future issues of this journal.

I.R.

Alessandra Caravale, Paola Moscati, Irene Rossi
Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
alessandra.caravale@cnr.it, paola.moscati@cnr.it, irene.rossi@cnr.it

[6] Rossi I., Paraciani N. 2021, *IT applications to archaeology and the OA diamond journals' challenge. Enhancing access and reuse of textual and visual resources*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 325-347 (https://doi.org/10.19282/ac.32.1.2021.18).

[7] De Santis A., Rossi I. (eds.) 2018, *Crossing Experiences in Digital Epigraphy: From Practice to Discipline*, Berlin-Boston, De Gruyter (https://doi.org/10.1515/9783110607208).

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 521-542
doi 10.19282/ac.35.1.2024.31

DHELO AND BIDIAR: NEW DIGITAL RESOURCES FOR THE H2IOSC PROJECT

1. Introduction

Within the extensive scope of the H2IOSC Project (https://www.h2iosc.cnr.it/), a primary goal of Work Package 2 (WP2 – Landscaping & Building Communities) is to conduct a comprehensive survey of the Italian digital landscape in Language Technologies, Humanities, and Heritage Science. This includes an analysis of existing research projects, resources, tools, communities, best practices, and current standards (see Caravale, Moscati, Rossi, in this special section). To achieve this, a dedicated multidisciplinary landscape research group was formed, including members from the four Italian nodes of ESFRI involved in the H2IOSC Project: CLARIN, DARIAH, E-RIHS, and OPERAS research infrastructures. The aim of this landscaping effort is to enhance the reliability of these infrastructures among scholars to further align their offer with the changing needs of the digital humanities, linguistics, and heritage science research communities.

The integration of various landscaping activities and different tools is leading to the establishment of a permanent observatory to monitor the status of these infrastructures in terms of new resources, best practices, technological and user needs (Luzietti *et al.* in press). This paper will discuss the initial results of the activities conducted by the Rome branch of the CNR-ISPC, as leader of Task 2.4 and in representation of the E-RIHS node, on the landscaping of Cultural Heritage (CH) and Heritage Science (HS) resources and needs panorama, that led to the development of two products: a web app titled DHeLO and a thematic bibliographic collection named BiDiAr.

G.M., A.D.

2. DHeLO. Digital Heritage Landscaping PlatfOrm

DHeLO is a web app developed as a part of the landscaping activities of the H2IOSC Project to collect, store and query metadata of research projects, products and digital tools used within the CH and HS domains. The main goal beyond its development is to take a first and consistent step towards the creation of a disciplinary observatory, able to collect and store metadata from multiple data sources in a structured and organized system, allowing complex and multivariate query, data indexing, and retrieval (Fig. 1).

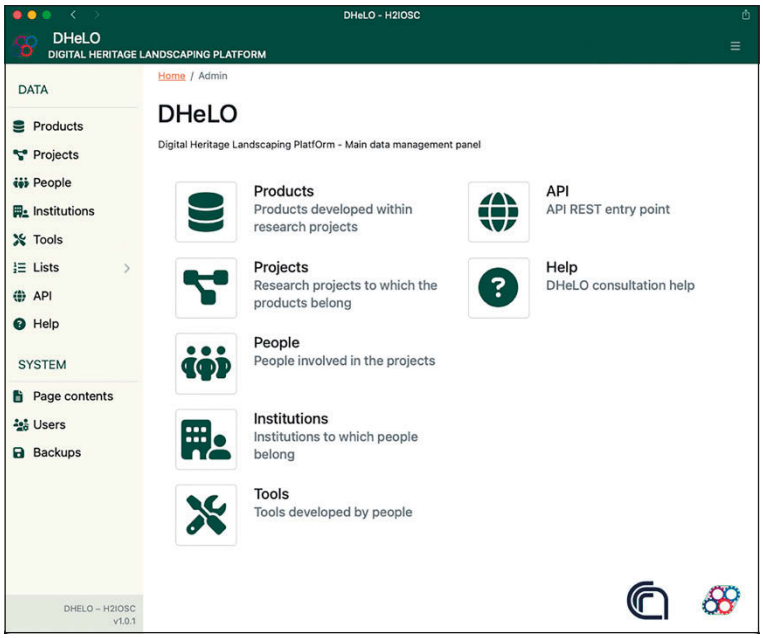


Fig. 1 – Screenshot of the DHeLO web app home page

2.1 *Premises*

It is generally acknowledged that over the past two decades, disciplines related to HS and CH have experienced significant growth in the creation of digital outputs, either as direct research products or through extensive digitization initiatives (Poulopoulos, Wallace 2022), that have significantly advanced the widespread implementation of the FAIR principles (Wilkinson *et al.* 2016). Among these noteworthy initiatives some are worth mentioning, such as CulturaItalia (Ben Hamida *et al.* 2009), launched in 2007, and Europeana (Silva, Terra 2024), started in 2008; two projects that populated virtual portals aggregating digital resources from national cultural foundations (the former), and European institutions (the latter). Among the projects more focused on archaeological data, Ariadne and Ariadne+ (Richards, Niccolucci 2019) certainly stand out. Launched in 2013 and 2019 respectively, they aimed at integrating archaeological data infrastructures within an online platform, open to users and researchers. With a more strictly geographical approach, the recent Geoportale Nazionale per l'Archeologia (GNA) must also be mentioned as an Italian national initiative designed to integrate and provide access to archaeological digital information and resources across the

country (Calandra *et al.* 2021). On an extra European Union (EU) front, it is worth mentioning the Archaeology Data Service (AdS), as a long-withstanding repository for UK archaeology and historic environment data, active for over 25 years (Richards 2017). Similar US-founded initiatives are The Digital Archaeological Record platform (tDAR), a repository designed to host the records of archaeological investigations (McManamon *et al.* 2017), and the Open Context service, dedicated to the storage, publication and consultation of CH and archaeological data (Kansa 2022).

Furthermore, the creation of wide digital infrastructures that aggregate, manage and disseminate data has provided researchers with new tools for the reuse, combination and analysis of datasets (Taylor 2023). A meaningful Italian example is D4Science, a data infrastructure service that provides comprehensive virtual research environments, enabling collaboration, data management, and advanced analytics for researchers and organizations across various scientific disciplines, HS included (Assante 2019).

In addition to these projects, it is also important to acknowledge how the growing use of DOI-providing services for sharing and storing data, such as Zenodo, has facilitated the dissemination of digitally native research data over the last ten years. This open access repository, supported by the EU through the OpenAIRE initiative, currently (May 2024) houses over 313,000 datasets, including 2890 tagged under archaeology, 5427 under CH, and 25,357 under HS. Furthermore, for HS researchers, a dedicated portal is accessible at Heritage Science on OpenAIRE (https://heritage-science.openaire.eu/), offering a wealth of information, publications and tools. Similarly, the Iperion HS gateway on OpenAIRE (https://iperionhs.openaire.eu/) houses products developed within the IPERION HS project (Pallot-Frossard 2016; Caliri *et al.* 2020), including publications, research software, and data. Lastly, it is worth mentioning that the focus on FAIR data management is a central goal of the Institute of Heritage Science (CNR-ISPC). The DataSpace (DS), launched in 2022 (https://dataspace.ispc.cnr.it/), represents the Institute's first approach to data lifecycle management in HS through a Linked Open Data (LOD) strategy. As part of the H2IOSC Project, a second digital platform, DIGILAB, will be introduced for the E-RHIS network. In accordance with FAIR principles, DIGILAB will enable access, interoperability, and reuse of data, tools, and digital services to foster the creation of new shared knowledge among various stakeholders involved in the multidisciplinary field of HS (Bucciero *et al.* 2022).

In this dynamic and complex data management environment, the fairification process is becoming increasingly vital and the creation of a disciplinary observatory for HS and CH could be a key step in this process. It would serve as a foundational platform to systematically catalog data from various sources, thus ensuring broad accessibility on the web, and to track evolving

trends and topics within these disciplines. The development of a specialized web application, DHeLO, with a data model specifically tailored for metadata enrichment, arose from the identification of some needs emerged during the initial phases of WP2 work, and particularly from the insights gained through the questionnaire launched at the beginning of the project (Luzietti *et al.* in press). This survey manifested a huge lack of common data management practices and confirmed the strong heterogeneity of the CH/HS data, often consisting of multiple file types (images, texts, tables, surveys, point clouds, etc.) developed in multiple formats and aggregated through a consistent chronological or topographical framework.

This awareness led us to the decision to direct the landscaping activities toward datasets rather than individual resources, for which the development of specific ontologies would have been necessary. During this preliminary exploratory phase, the work group also noted the absence of an existing platform capable of fulfilling the role of a disciplinary observatory, since most of the existing ones (previously mentioned), exhibited certain limitations with respect to the final objective. For instance, the distinct need to map datasets rather than raw data led to exclude some of the more inclusive disciplinary platforms like Europeana and CulturaItalia. On the other hand, other products with a higher level of data granularity, such as Ariadne+ or Zenodo, were either too narrowly focused thematically or burdened by overly generic metadata.

All these preliminary considerations led to the idea of creating a system dedicated to enrich existing open datasets with specific metadata, while simultaneously allowing map data not yet deposited but described in literature. The goal is to provide a clear picture of what exists and what is being done in terms of digital products within the fields of CH/HS. Additionally, there was a need to implement thematic classification of research products and their geographical and chronological indexing, which is crucial for these disciplinary sectors and missing from many reference platforms. The general metadata scheme was based upon the guidelines suggested by the Dublin Core Metadata Initiative (DCMI), to maximize the overall interoperability toward future integrations. Ultimately, the necessity became apparent for analytical tools that could assist in measuring and analyzing these data, to assess, for example, the impact of certain types of tools on specific products or workflows. Lastly, the need to make all these metadata widely available and machine-readable led to the creation of JSON rest APIs for the DHeLO web app, to ensure future data harvesting and interoperability, enabling seamless integration and communication with other software systems and tools such as the previously mentioned DIGILAB, and the Open Digital Archaeology and Epigraphy Hubs, both to be developed during the H2IOSC Project.

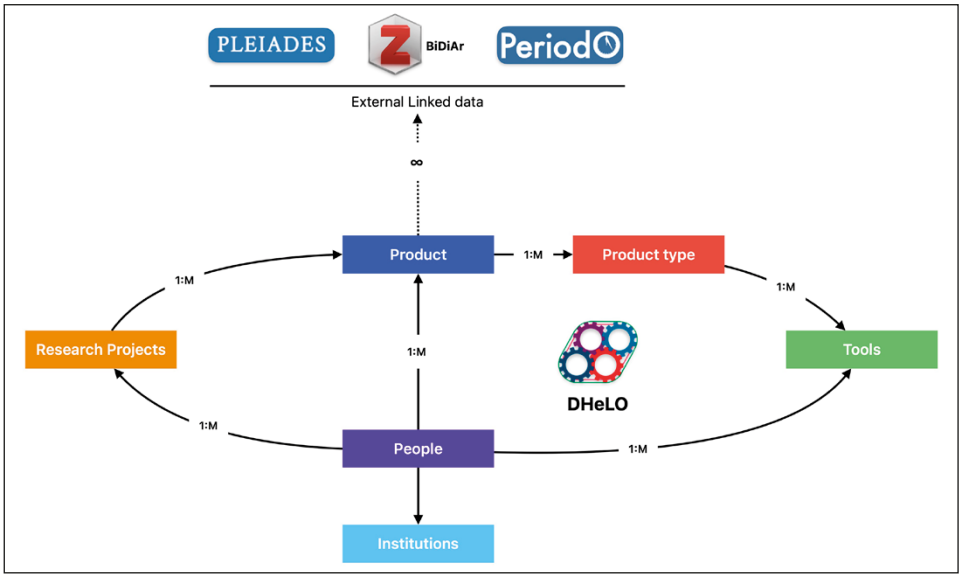


Fig. 2 – Overview of the DHeLO table schema structure.

2.2 *DHeLO web app. A technical description*

From a technical standpoint, the web app consists of a MySQL database with an HTML interface that can be used for data entry and retrieval. The database is organized into six main tables, with the 'Products' table serving as the core component (Fig. 2). In this context, 'Products' (as in research products) refer to datasets or collections of datasets that are grouped together based on a shared framework, such as chronological period or geographic region. This solution recalls the approach used by Zenodo for managing user datasets. In this specific case it proves particularly efficient because it does not limit the ability to input data in the system based on specific and individual data types, allowing the possibility to index complex products made of multiple kinds of resources (e.g. database with images or 3D models with semantic annotations).

Within the 'Products' table, additional metadata are entered to facilitate the indexing and the retrieval of items. These include classification and subject matter, data ownership, licensing details, the location of data storage (if data are shared), research projects, and bibliographic references describing them. For the classification tags, it was decided to test the criteria developed using Natural Language Processing (NLP) and Machine Learning techniques on the abstracts from the journal «Archeologia e Calcolatori» (A&C - Caravale

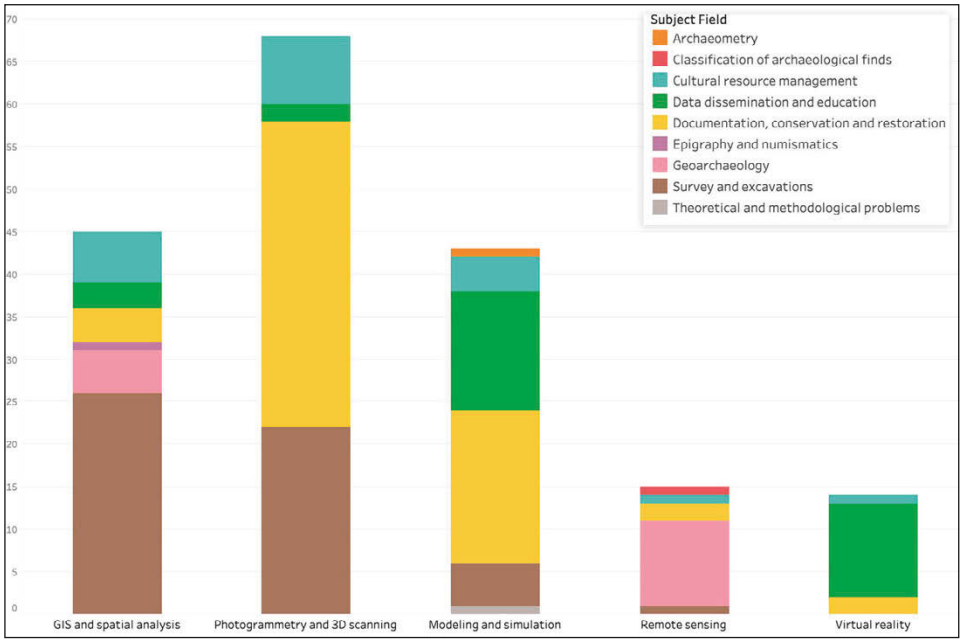


Fig. 3 – Bar chart of a selection of Products related to the most popular categories of technological applications in the digital CH/HS sectors, colored according to the archaeological research fields primarily concerned.

et al. 2023), since CH/HS disciplinary topics are broadly represented both in the journal and in DHeLO (Fig. 3). Ultimately, this choice proved effective, even though some of the classes seem poorly represented within DHeLO; additional subject details are also provided by the 'Subject' field. This dual-layered approach, a long-term strategy within the A&C journal (Moscati 1999), ensures a comprehensive description that captures the technological aspect, provided by the 'Category' field, while contextualizing its disciplinary applications within the 'Subject' field.

For bibliographic references, only a link to the Zotero library of BiDiAr is included (see *infra* § 3). The approach of linking to an external Zotero library streamlines bibliographic management, allowing for dynamic updates and centralized reference handling. This method also simplifies the maintenance of the reference data, making it easier for users to access up-to-date bibliographic information. For geographical and chronological classification, the system relies on two gazetteers: Pleiades and PeriodO. By referencing gazetteers, accuracy and standardization in geographic and temporal data are ensured, a critical aspect for chronological and spatial query (Fig 4). Similar to the

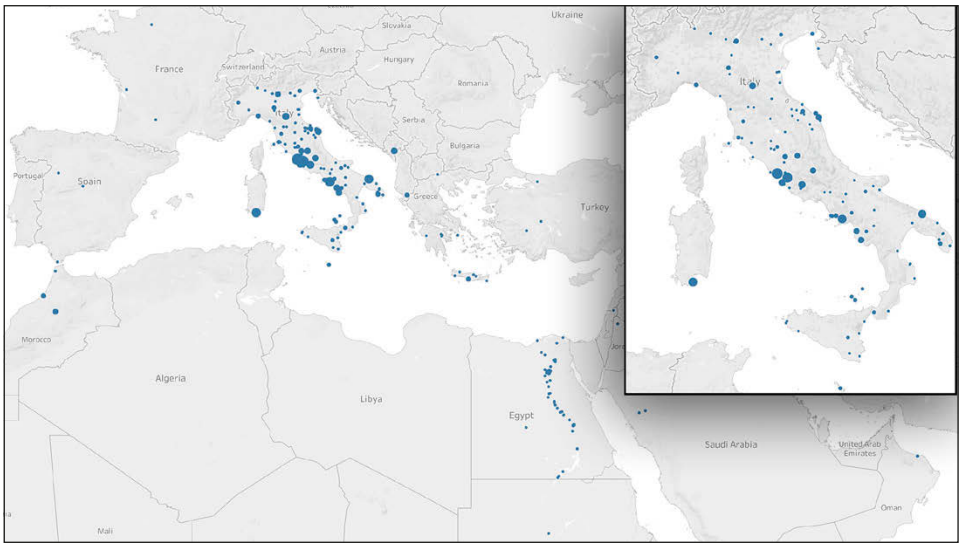


Fig. 4 – Map of the Products in the DHeLO database, geotagged through the Pleiades references.

solution adopted for the bibliography, these data are contained in relation tables, which allow the construction of many-to-many relationships, enabling the precise indexing of datasets that contain references to multiple places, periods, or are described by multiple bibliographic resources. The authorship of the dataset is described through two distinct fields that map the curation and production aspects; both fields draw data from the 'People' table.

The technical contents of the records in the 'Product' table are further detailed through a second table called 'Product Type,' in which the different types of products that make up the dataset are specified. This additional table allows for a more nuanced classification and management of the information, so, for instance, a photogrammetric survey product record can be further detailed in all the data types that were created during the process (e.g. pictures, point cloud, mesh, 3D model) and shared. Due to the relationship with the 'Product' table, the individual types of products that make up the dataset inherit their metadata and are thus individually indexable and searchable enhancing the database's overall functionality and user experience in conducting searches based on data types over specific territorial or chronological frameworks.

All the product types that make up the dataset can be further detailed through a many-to-many relationship with the 'Tools' table, that records the digital tools used for the creation, display, or interaction with the data. The 'Tools' table then records several important pieces of information about the type of tool (e.g., software, plugin, web-app), its availability, its license

and its developers. This setup enhances the database's utility by providing comprehensive details on the technological aspects of product data handling, allowing, for instance, to assess the prevalence of open-source software in relation to different product types.

The 'Project' table, which is closely linked to the 'Products' table, is designed to gather information on research projects. This table records various details such as the project's title and acronym, a brief description, its duration, the reference website, and the people involved. The relationship between this table and the products allows the records in this table to act as an umbrella under which all products developed during a single research project are collected. This structure enhances the organization and tracking of outputs directly associated with specific research initiatives. Two additional tables, 'People' and 'Institutions', are used to track the individuals and institutions involved in the creation of products, projects, and tools. The 'People' table contains basic personal information (name, surname, email) easily accessible online. It also allows for linking a contact record with the corresponding institution and the author's ORCID to facilitate future automatic updates. The 'Institutions' table focuses on the department or institute, and maps out details including the institution, department, and the associated website, providing a comprehensive reference for each entity involved in the database.

2.3 *First results and statistical analysis*

As of now, although the gathering process is still ongoing, sufficient data has been collected to attempt an initial analytical approach based on the collected information. The data collection process began with scraping the products and research projects carried out by the ISPC and the E-RHIS infrastructure, along with the incorporation of results from the landscaping questionnaire launched in the early phases of WP2. Data was subsequently gathered from major data-sharing platforms relevant to the disciplines of CH/HS, such as Zenodo, Ariadne+, HS-Openaire, Iperion HS, AdS, tDAR, and OpenContext. Following this, the parsing process was continued based on sector-specific literature, focusing primarily on works from the last five years, to reflect an updated state of the art. For the Digital Archaeology (DA) field were considered products described in peer-reviewed journals such as «Archeologia e Calcolatori», «Virtual Archaeology Review», «Open Archaeology», and «Internet Archaeology». An in depth focus on Digital CH was achieved by indexing products from the «Journal of Cultural Heritage» and «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», while the HS domain was explored through «Heritage Science» and «Heritage» journals. Additionally sector-specific proceeding series (e.g. Computer Application in Archaeology, MetroArchaeo) within the last five years were taken into account.

During this process, due to H2IOSC Project requirements, priority was given to Italian research products, with consideration also given to those developed abroad, but when conducted by Italian researchers or research groups (Fig. 4). Nowadays (May 2024), on the DHeLO web app 265 records are registered on the project table, hosting 1121 individual product types, in addition to metadata from 121 research projects and 114 tools. This data allows us to make some preliminary observations.

One key insight that emerged through reviewing sector-specific literature is the lack of a direct correlation between datasets and research projects. In fact, out of the 265 cataloged products, 38.8% are not linked to a specific research project. Further analysis of products categorized by classes and organized by whether they are part of a research project reveals that the ratio among various classes does not undergo radical changes. Some minor shifts are observed when comparing the types of products developed within and outside structured research projects. The data is interesting because it suggests that the production of these kinds of datasets is becoming a regular part of disciplinary workflow, without necessarily requiring research projects that involve various interdisciplinary skills.

Based on the data concerning the prevalence of different data types in various products (in or out research projects), there is a clear dominance of five kinds of resources, which together make up approximately 62% of the mapped resource types: 3D models (18.7%), databases (9.59%), GIS data (10.33%), pictures (11.7%), and point clouds (11.62%) (Fig. 5). This information is particularly noteworthy as it highlights a significant component of products oriented towards three-dimensionality (3D models and point clouds), which, when combined with relevant data from BIM models (1.48%), DEM and DTM (2.4%), GPR data (2.4%), and tomography (0.74%), generate a group that account for nearly 40% of all mapped product types. Further analysis of the distribution of these resources according to their classification shows that most of these products (ca. 50%) are related to survey operations, especially photogrammetric, where 3D meshes and point clouds are closely linked in the operational workflow (D'Eredità 2020).

It is also observed that the values for point cloud types relevant to survey operations are slightly higher, including data from surveys conducted solely by laser scanning and without the production of polygonal meshes. The remaining 3D data primarily fall into three categories: modeling & simulation (ca. 31%), digital cultural heritage (ca. 6%), which includes surveys of objects and 3D diagnostic products, and virtual reality (12%), where 3D models used in VR applications are cataloged. The first category is quite extensive and encompasses 3D models used for virtual reconstruction or simulation of buildings and ancient contexts. Collectively, the products in this category

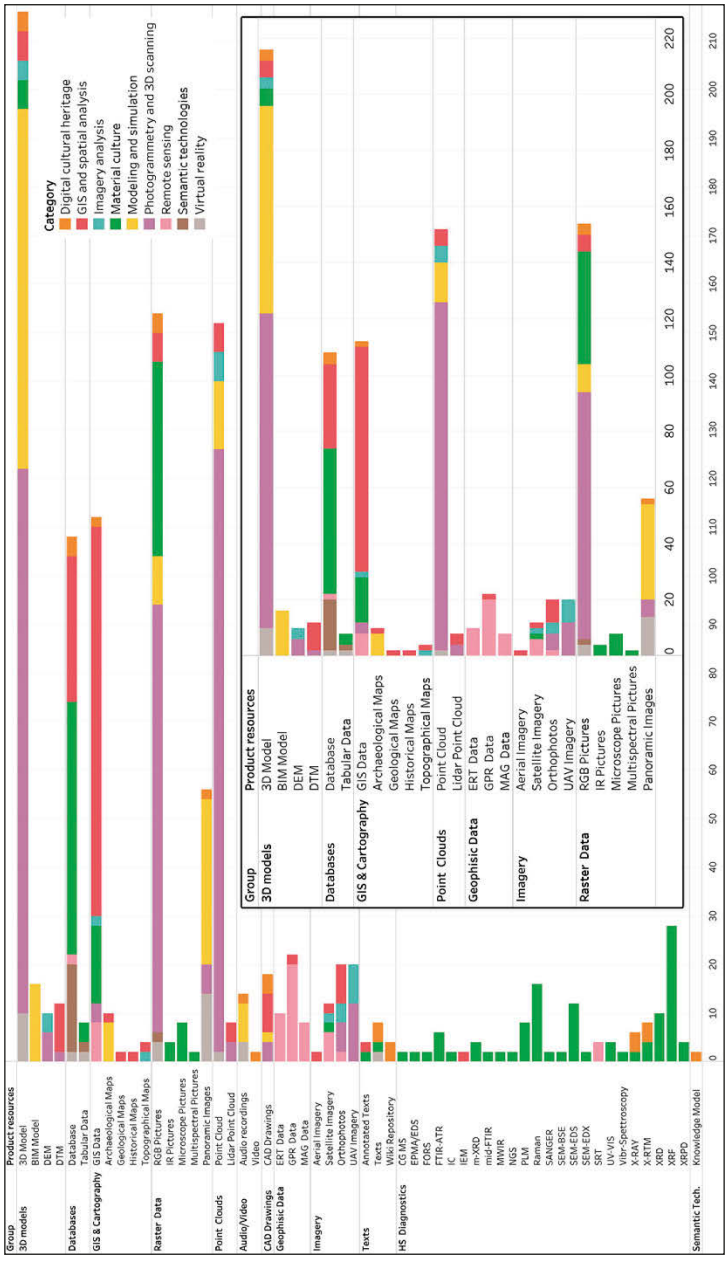


Fig. 5 – Data types recorded in the DHeLO database thematically grouped and color-coded by category. On the right, within the black box, a selection of the most popular for the CH sector.

account for nearly 8% of the overall total. This high percentage is particularly interesting because it quantifies a trend that is clearly observable in the literature sector and is rapidly increasing in terms of data volume (see *infra* § 3.2). It should also be noted that within this trend, marked by the presence of polygonal meshes suitable for rendering, there is also growth in informative models created using HBIM (2%; Mammoli *et al.* 2022), Extended Matrix (3%; Demetrescu, Ferdani 2021), and ArchaeoBIM (0,5%; Garagnani *et al.* 2021) processes.

This may be the most interesting data, indicating a process of increasing autonomy of the 3D model as a container of information and as an independent product. In general, it is difficult to explain the significant growth of 3D data production, especially based on data still being collected. However, unlike the trend observable in GIS datasets, the presence of open-source software does not seem to be a discriminating factor. In fact, only a small percentage (15%) of 3D products are created/processed within a free open-source software environment, while the remaining portion uses proprietary paid tools. In this context, Metashape is particularly notable for its widespread adoption within the scientific community, a dominance that can perhaps be explained by its ease of use and adoption within the archaeological documentation since the early 2010s (e.g. Doneus *et al.* 2011).

At the outset of the landscaping activity, GIS data and databases emerged as significant components, accounting for notable percentages of the data collected. This prominence is further amplified when these categories are linked to related types of products. For GIS specifically, when data related to historical cartography, DEM and DTM, geological maps, satellite imagery, orthophotos, and drone photography are aggregated, the percentage increases substantially (ca. 18%). This trend is not surprising, considering the longstanding application of GIS in archaeological contexts and its efficacy in integrating diverse data sources (Caravale, Moscati 2021, 60-67). In terms of software utilization, two primary trends were identified. The first is the extensive adoption of QGIS as desktop software for creating GIS datasets (92%), frequently supplemented with specialized plugins. Regarding shared data, there is a noticeable preference for tailor-made solutions within web platforms and web apps (80%); standards like WMS and WFS seem to be less common among scholars, even though that could reflect the partial nature of the data collection to date. Similarly, the use of databases, a staple in archaeological computing (Caravale 2022) shows a preference for diverse strategies, geared towards online data dissemination. The lack of a broadly accepted consumer software standard in this area underscores the variety of approaches used in archaeological data management.

G.M.

3. BiDiAr: Bibliography of Digital Archaeology

BiDiAr is a relational database that houses a comprehensive collection of bibliographic items relevant to the field of DA and its relationships with the wider domains of Digital CH and HS. The primary objective of this database is to gather, reference and tag bibliographic entries, ensuring their convenient accessibility through the open-source tool Zotero (Puckett 2011).

3.1 *BiDiAr: a technical description*

As part of the landscaping activities conducted in WP2, it was decided to create a bibliographic corpus focused on digital applications in archaeology and CH. The chosen source was the scholarly journal A&C, which has been a reference point in this disciplinary fields for over 30 years. A&C is data provider of the Open Access Infrastructure for Research in Europe (OpenAIRE) that indexes all the journal's articles, provided with metadata harvested from the OAI repository and with links to the full-text (Rossi, Paraciani 2021). Moreover, CulturaItalia and Europeana expose over 900 resources from the journal's archive. The tool selected for the realization was Zotero, an open-source software designed for accessing, organizing, and referencing bibliographic sources. Zotero facilitates collaboration and synchronization functionalities across devices, promoting teamwork among multiple actors. This method mirrors the approach adopted within the DARIAH research infrastructure, which has incorporated a Digital Humanities bibliography into its portal using the same tool (https://www.zotero.org/groups/744474/dariah/library) along with TaDiRAH taxonomy to categorize bibliographic data (Borek *et. al.* 2021). A similar experience, although primarily focused on English-language literature related to Digital Archaeology, is The Digital Archaeology Collection on ScienceOpen (https://www.scienceopen.com/).

In BiDiAr (https://www.zotero.org/groups/5293298/bidiar/library), all gathered bibliographic citations pertain to two main categories. Firstly, articles published in A&C from 1990 to 2023, including both regular issues and Supplements, totaling over 1258 records, structured according to the DCMI (https://www.archcalc.cnr.it/). Secondly, all bibliographic citations included at the end of each article published in the nine volumes released between 2019 and 2023, amounting to nearly 6500 units of data. While the focus is primarily on recent years, this approach offers a diachronic perspective of the discipline, enabling the observation of its evolution and trends over time (Fig. 8).

In order to effectively manage, query, and utilize this tool, it is essential to organize information according to specific criteria. Therefore, it was decided to initially incorporate thematic classification entries relevant to computer science techniques and archaeological application fields used for the A&C journal's articles since the 1990s (Moscati 1999) into the software's dedicated 'Tag'

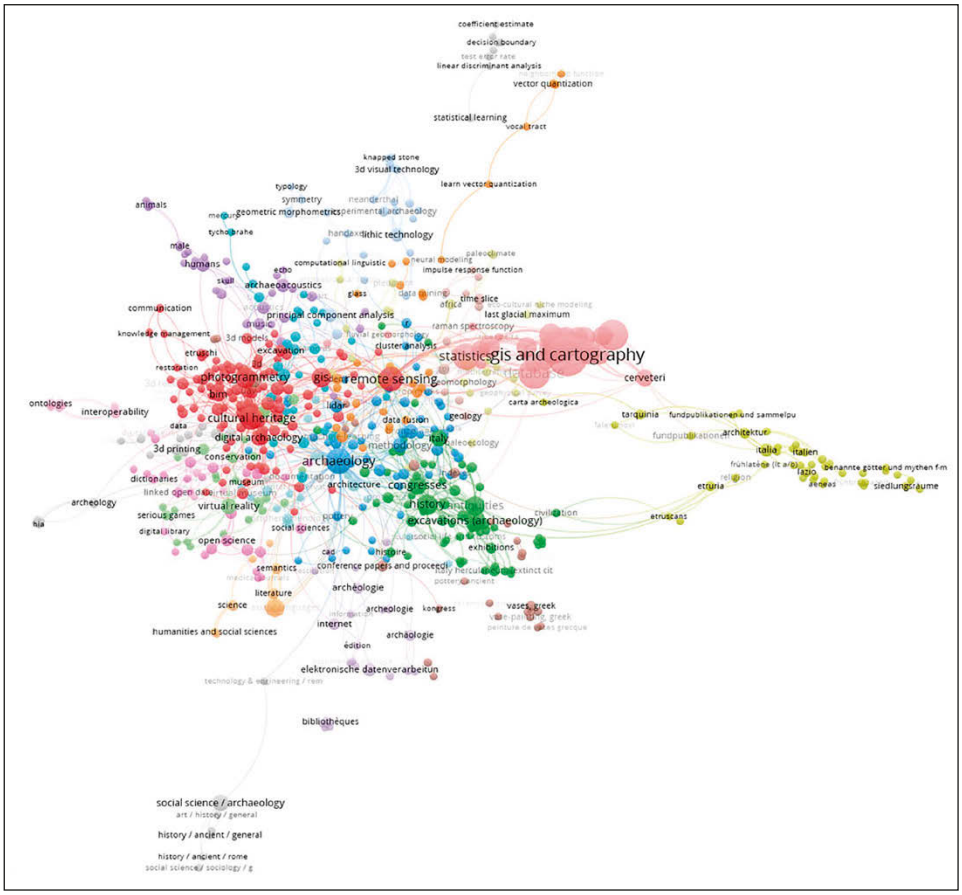


Fig. 6 – Network visualizations of the keywords associated to bibliographic references in BiDiAr. Worth noticing 4 main clusters to explore with further analysis: GIS and cartography (pink), archaeology (blue), photogrammetry (red), excavations (green).

feature[1]. This classification not only serves as a guide for searching topics of interest and linking them with HS needs and purposes but also aids in understanding their trends over time, thereby monitoring tradition, innovation,

[1] Regarding computer science, these categories include: Computer Graphics IP CAD, Data encoding and metadata, Database, GIS and cartography, History of applications and research projects, Multimedia and web tools, Remote Sensing, Simulation AI, Statistics, while for archaeological classification: Archaeometry, Classification of archaeological finds, Cultural Resource Management, Data dissemination and education, Documentation, conservation and restoration, Epigraphy and Numismatics, Geoarchaeology, Survey and excavations, Theoretical and methodological problems.

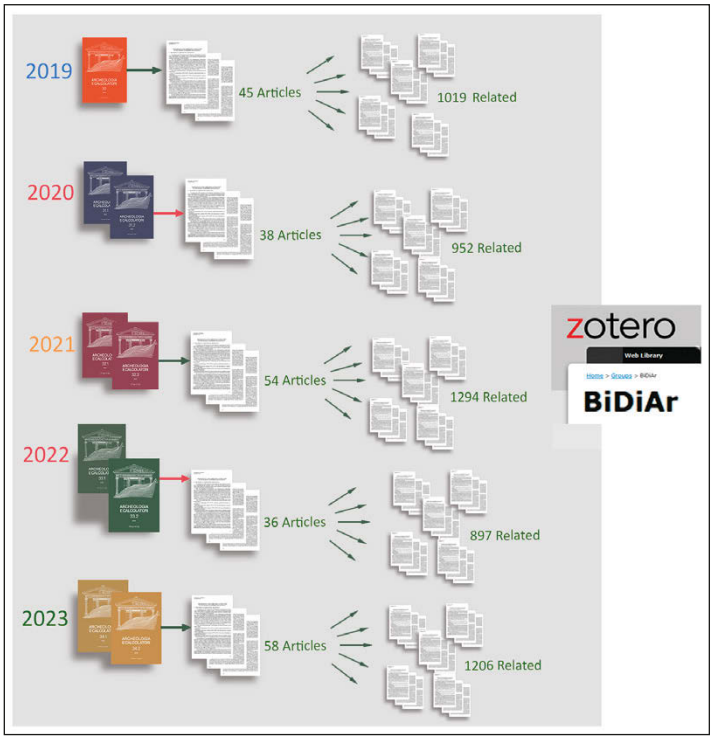


Fig. 7 – Graph illustrating the relationships between A&C papers and their correlated records within BiDiAr.

and technology development for the study of antiquity and cultural heritage more broadly. Furthermore, we leveraged another feature of the Zotero software, which is its ability to establish correlations between texts in the virtual library, to structure and associate the inserted information. This enables an interconnected view of the topics discussed and facilitates the evaluation of which texts are of greater reference and impact within the E-RIHS research community context through network analysis tools. Each A&C article was thus correlated with the bibliographic references cited at the end of the text, creating a network of knowledge that fosters critical analysis and understanding of research dynamics (Fig. 6).

3.2 *First results and statistical analysis*

The period from 2019 to 2023 was selected to identify recent trends in the use of computer tools and to understand progress through increasingly specific statistics. The focus on DA also seeks to gain new insights to update

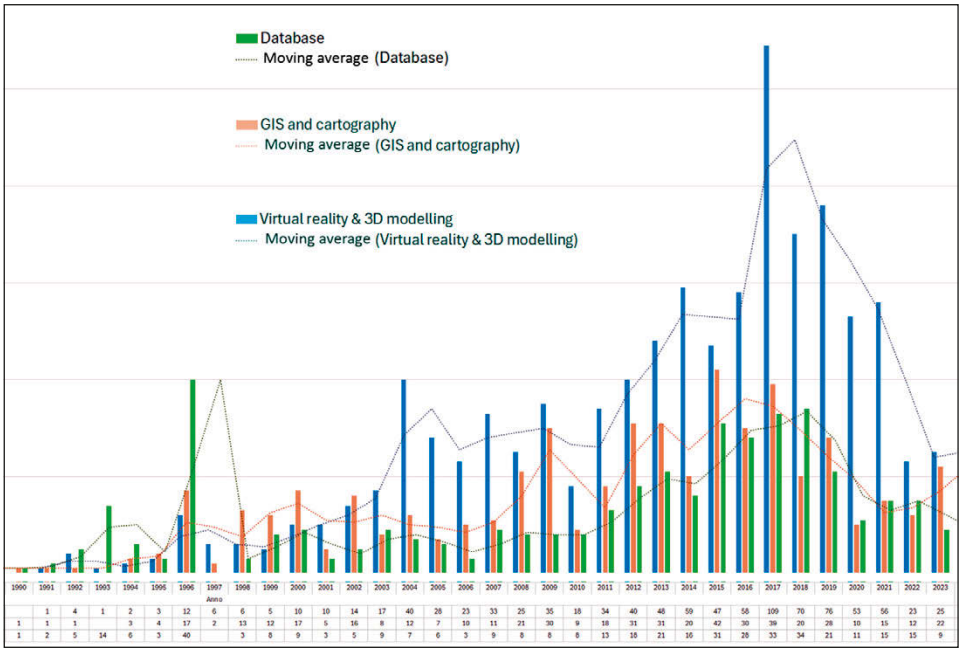


Fig. 8 – Graph illustrating the distribution over time of the number of publications concerning: Virtual reality and 3D modelling, GIS and cartography and Database.

the scholarly classification established over twenty years ago, which has evolved with the discipline (Cantone, Caravale 2019, and, lastly, Caravale *et al.* 2023). In the last five years, nine issues were published (n. 30, 31.1-31.2, 32.1-32.2, 33.1-33.2, 34.1-34.2) for a total amount of 231 articles and 5638 correlated bibliographic references (Fig. 7). In addition to the yearly submissions by authors providing an up-to-date overview of the most significant application sectors in DA, these nine issues include four special thematic issues and six international conference proceedings (https://www.archcalc.cnr.it/pages/special_issues.php) that contribute to elucidating how the topics discussed well align with the HS domain. Issue 30, commemorating the journal's 30th anniversary, presents a comprehensive view of archaeological computing development and highlights the research activity defining its editorial journey. Volume 32.1 features a special insert dedicated to the pioneering field of archaeomusicology, a multidisciplinary research area that applies archaeological methods to study music and musical life in the ancient world. Volume 32.2's special issue, titled 'From Pottery to Context: Archaeology and Virtual Modeling', showcases the outcomes of a research project that focuses on merging funerary archaeology and DA.

In the same five-year period, the Proceedings of the 12th and 16th editions of the ArcheoFOSS Workshop (Free, Libre and Open Source Software and Open Format in Archaeological Research Processes) were published in volumes 30 and 34.1 respectively, while the Proceedings of the conference 'Milan International: the Territorial Fragility of Archaeological Contexts' were published in volume 31.2. Furthermore, two special sessions of the Florence and Trento editions of the IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo) were published, one dedicated to 'Logic and Computing: The Underlying Basis of Digital Archaeology' (volume 31.2) and the second to 'Archaeological Computing: Selected Papers from the 2020 IMEKO TC-4 MetroArchaeo International Conference' (volume 32.2). Finally, volume 34.1 contains the Proceedings of a special session of the 7th Landscape Archaeology Conference (Iasi, Bulgaria, 10-15 September 2022), dedicated to 'Modeling the Landscape: From Prediction to Postdiction'.

Starting from this extensive database, still under implementation, the analysis directed toward the investigation of thematic trends over time. This first line of inquiry aligns well with already established reflections in the archaeological literature, often carried out on the A&C journal's data (Caravale, Moscati 2021). The innovative aspect here was not to confine the analysis on a single journal, considering the entire network of its citations. In this case, the most challenging aspect was to uniform the tags and the classifications of all the records. Meaningful keywords per topic were uniformly searched in the titles, among the author's tags and in the available abstracts, with the intent to isolate significant notions, lately counted over year. This process helped to widen the scope of the A&C journal classification, including secondary themes in addition to the primary categorization; in this initial step this process was carried out for three themes: Virtual reality and 3D modeling, GIS and cartography, and Database (Fig. 8).

The thematic organization and annual breakdown of the data infer some general observations, certainly refinable with the prosecution of the data entry process. Observing the data from the 1990s to the 2000s, it is evident that these three technologies have remained fundamentally represented in almost equal measure, with minimal fluctuations observed year by year. It is also unsurprising that there are no mentions of virtual reality technologies before 1991, the year of publication of the article *Toward a virtual archaeology* (Reilly 1991), which first opened the debate on the use of these technologies in archaeology[2]. The growing attention to virtual archaeology recorded in the scientific debate from 2000 to 2010 (e.g. Barcelò *et al.* 2000) emerges in a steady and considerable increase in articles addressing this topic, clearly

[2] Regarding the concentration of articles on the use of GIS in the biennium 1996-1997, this grouping has already been highlighted and explained in Caravale, Moscati 2021, 67-75.

visible within our data. Concurrently, contributions related to the use of GIS and databases, although steadily increasing (a sign of their ever greater and widespread adoption), seem to run almost parallel. This outcome is not surprising, considering the close relationship between these technologies. It is equally unsurprising that it is possible to count more contributions related to databases, a predominance explained by the presence of digital archives linked to the cataloging and classification of artifacts without a specific spatial analysis. From 2010 to today, this trend seems to continue. The exponential increase in products related to virtual reality and 3D modeling, already seen in the last five years on the data collected in DHeLO (see *supra* § 2.3), can perhaps be explained by two factors. Firstly, the epistemological definition of virtual archaeology following the London and Seville charters (2009, 2012), with the consequent increase in contributions related to products and research projects developed in these areas. Secondly, the increasingly disruptive use of 3D photogrammetric modeling, whose description and application have occupied a significant space in the literature dedicated to archaeological computing.

Further analysis will be available over time with the prosecution of the data entry process as well as the keyword normalization procedures, to map minor trends over time. Additionally, this process will be integrated with network analysis tools, to evaluate reference publications through their citation weight, an important tool for new scholars to identify key publications in a fast-growing literature. An additional future development could be to link bibliographic data to geospatial information, by geotagging sites and ancient regions described within the literature with the objective to highlight, enhance and quantify thematic relations among specific places through network analysis. In this context, the choice to use Zotero as the data container for BiDiAr proves to be successful, as it allows the integration of tools and plugins developed by the community for this specific purpose such as Zotero2Map (Iacopini in press).

G.M., A.D.

4. New frontiers of archaeological information systems: GIS, databases and 3D models integration to document the multidimensional nature of archaeological data

From the early analysis of DHeLO and BiDiAr data, it becomes evident that the intrinsic complexity of archaeological data demands a variety of digital solutions for its visualization and interpolation. This requirement underscores the need for advanced digital tools that can effectively manage and represent the complex layers of data, ensuring that users can explore the physical spatial and temporal contexts of the findings.

Particularly notable is the increasing choice to represent the multidimensionality of the data using 3D elements combined with various degrees

of metadata that facilitate navigation through its dimensions (spatial and chronological) and properties (authors, actions, etc.). Data emerging from the landscaping process confirm that three product categories have become pivotal in archaeological documentation over the last five years: GIS, databases, and 3D models, both for documentary and management purposes (survey, HBIM) and reconstructive aims (polymeshes, EM, ArchaeoBIM). 3D models represent a significant innovation over the past decade compared to the use of GIS and databases, slightly older more established tools with a longer history of use (Caravale, Moscati 2021; Moscati 2021). It is interesting to note that the informative component is also growing in relation to 3D models. Playing a particularly key role here are the capabilities to construct BIM of archaeological (ArchaeoBIM) or heritage context (HBIM) or to enrich polygonal models semantically. Sector literature also indicates a cautious move towards combining these three components, creating GIS enriched with 3D and tabular data (Dell'Unto, Landeschi 2022). This trend towards integration reflects a broader effort to leverage diverse data types and modeling techniques to enhance the depth and usability of archaeological research from data collection to information visualization and virtual recreation (Zoni 2017; Pansini 2022; Poggi *et al.* 2022; Mancuso 2024). This holistic approach not only optimizes data utility but also paves the way for more nuanced analyses and interpretations within the field, combining multiple data types within a single complex environment. The integration of 3D GIS with informational models could effectively lead toward the creation of holistic data aggregator, offering a unique tool to represent and analyze complex data across multiple dimensions, thus making it an essential instrument for archaeological studies, from field data collection to virtual recreation.

G.M., A.D.

5. Conclusion

Based on the data presented above, it seems palpable that tools like DHeLO and BiDiAr, when used as part of a cohesive information synergy, can facilitate navigation and enhance the understanding of developments in digital technologies applied to CH/HS research areas. The future implementation of these tools, with data covering longer time spans and increasingly broad thematic interdisciplinary coverage, will lead to a more comprehensive and coherent overview of topics, themes, and tools interconnected with these disciplines. With the aim of rendering data coalition feasible, these databases will ensure the continued monitoring of resources and the increase in visibility, usability, and longevity of the data and their source material.

Tito Orlandi masterfully expressed the importance of this analytical course thirty years ago when he stated that classification processes and

bibliographic tools are the blood lymph of each discipline. Significantly, in the introduction to the book *Bibliografia di Informatica Umanistica* he stated that a discipline could be considered mature – meaning easily recognizable and active – when it is possible to conceive and implement a bibliographic tool that demonstrates the interconnection between its various sectors and levels, and a certain number of common perspectives to which its scholars are committed, beyond the differing views they propose in their contributions (Orlandi 1994). In this regard, the effort behind the construction of these two related systems in the H2IOSC environment is to connect research products to this vast bibliographic knowledge network, considering them both as primary sources for the arguments and information produced and presented in the literature, and as independent and autonomous knowledge outputs.

G.M., A.D.

Giacomo Mancuso, Antonio D'Eredità
Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
giacomo.mancuso@cnr.it, antonio.deredita@cnr.it

Acknowledgements

This research was supported by H2IOSC Project - Humanities and cultural Heritage Italian Open Science Cloud funded by the European Union NextGenerationEU - National Recovery and Resilience Plan (NRRP) - Mission 4 'Education and Research' Component 2 'From research to business' Investment 3.1 'Fund for the realization of an integrated system of research and innovation infrastructures' Action 3.1.1 'Creation of new research infrastructures strengthening of existing ones and their networking for Scientific Excellence under Horizon Europe' - Project code IR0000029 - CUP B63C22000730005. Implementing Entity CNR. The authors wish to express their gratitude to Paola Moscati and Alessandra Caravale for their insightful comments and and to the senior developer Matteo Gallo for the technical support in the development of the DHeLO web app.

REFERENCES

Assante M., Candela L., Castelli D., Cirillo R., Coro G., Frosini L., Lelii L., Mangiacrapa F., Pagano P., Panichi G., Sinibaldi F. 2019, *Enacting open science by D4Science*, «Future Generation Computer Systems», 101, 555-563 (https://doi.org/10.1016/j.future.2019.05.063).

Barceló J.A., Forte M., Sanders D.H. (eds.) 2000, *Virtual Reality in Archaeology*, BAR International Series 843, Oxford, Archaeopress.

Ben Hamida K., Di Giorgio S., Buonazia I., Masci E., Marlitti D. 2009, *CulturaItalia: aspetti tecnico-scientifici,* «DigItalia. Rivista del digitale nei beni culturali», 4, 1, 83-102.

Borek L., Hastik C., Khramova V., Illmayer K., Geiger J.D. 2021, *Information organization and access in Digital Humanities: TaDiRAH revised, formalized and FAIR*, in C. Wolff, T. Schmidt (eds.), *Information between Data and Knowledge. Information Science and its Neighbors from Data Science to Digital Humanities. Proceedings of the 16th International Symposium of Information Science (ISI 2021)*, Glückstadt, Verlag Werner Hülsbusch, 321-332.

Bucciero A., Chirivì A., Fanini B., Massida M., Pescarin S., Taurino F. 2022, *Soluzioni integrate web-based per il Patrimonio Culturale: una prospettiva*, in C. Volpe, M. Mieli (eds.), *Conferenza GARR 2022 - Condivisioni - La rete come strumento per costruire il futuro (Palermo 2022)*, Viterbo, Associazione Consortium GARR, 94-102.

Calandra E., Acconcia V., Boi V., Falcone A. 2021, *Il Geoportale Nazionale per l'Archeologia. Uno strumento per la tutela, la divulgazione e la fruizione del Patrimonio archeologico italiano*, in F. Cambi, D. Mastroianni, V. Nizzo, F. Pignataro, S. Sanchirico (eds.), *Landscapes. Paesaggi culturali, Atti della Giornata di Studi (Roma 2019)*, Roma, Fondazione Dià Cultura, 353-361.

Caliri C., Romano F.P., Doherty B., Rosi F., Miliani C. 2020, *MOLAB: A European mobile laboratory enabling advanced studies in archaeometry*, «Archeometriai Műhely», 17, 3, 46-49.

Cantone F., Caravale A. 2019, *Archeologia e Calcolatori. Classificazione geografica e tematica per la condivisione della conoscenza,* «Archeologia e Calcolatori», 30, 93-107 (https://doi.org/10.19282/ac.30.2019.07).

Caravale A. 2022, *Le banche dati archeologiche. Articolazione e formalizzazione delle conoscenze*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Caravale A., Duran-Silva N., Grimau B., Moscati P., Rondelli B. 2023, *Developing a digital archaeology classification system using natural Language Processing and Machine Learning techniques*, «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 9-32 (https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.01).

Caravale A., Moscati P. 2021, *La bibliografia di informatica archeologica nella cultura digitale degli anni Novanta*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Dell'Unto N., Landeschi G. 2022, *Archaeological 3D GIS*, New York, Routledge.

Demetrescu E., Ferdani D. 2021, *From field archaeology to virtual reconstruction: A five steps method using the Extended Matrix,* «Applied Sciences», 11, 5206 (https://doi.org/10.3390/app11115206).

D'Eredità A. 2020, *Il rilievo fotogrammetrico di Doclea*, «Archeologia e Calcolatori», 31.1, 213-230 (https://doi.org/10.19282/ac.31.1.2020.10).

Doneus M., Verhoeven G.J., Fera M., Briese C., Kucera M., Neubauer W. 2011, *From deposit to point cloud. A study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations*, «Geoinformatics FCE CTU», 6, 81-88 (https://doi.org/10.14311/gi.6.11).

Garagnani S., Gaucci A., Moscati P., Gaiani M. 2021, *ArchaeoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bologna, Bononia University Press.

Iacopini E. in press, *Zotero2map: sviluppo di un nuovo strumento ITC per la condivisione e la pubblicazione dei dati bibliografici per la ricerca storica e archeologica*, «Archeologia e Calcolatori», 35.2.

Kansa E. 2022, *On infrastructure, accountability, and governance in digital archaeology*, in K. Garstky (ed.), *Critical Archaeology in the Digital Age. Proceedings of the 12th IEMA Visiting Scholar's Conference (Buffalo, NY 2019)*, Los Angeles, UCLA Cotsen Institute of Archaeology Press, 141-152.

Luzietti R.B., Spadi A., Giampietro N., Mancuso G., Caravale A., D'Eredità A., Caradonna M., Moscati P., Quochi V., Monachini M., Degl'Innocenti E. in press, *Digital Humanities and Heritage Science: Moving from landscaping to a dynamic research observatory in an Open Science Cloud*, Poster presented at *MeTe digitali. Mediterraneo in rete tra testi e contesti (Catania 2024)*.

Mancuso G. 2024, *ArchaeoBIM ed Extended Matrix. Analisi e potenzialità di due processi per l'elaborazione di modelli informativi,* «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 123-142 (https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.07).

McManamon F.P., Kintigh K.W., Ellison L.A., Brin A. 2017, *tDAR: A Cultural Heritage archive for twenty-first-century public outreach, research, and resource management*, «Advances in Archaeological Practice», 5, 3, 238-249 (https://doi.org/10.1017/aap.2017.18).

Moscati P. 1999, *"Archeologia e Calcolatori": dieci anni di contributi all'informatica archeologica,* «Archeologia e Calcolatori», 10, 343-352 (https://www.archcalc.cnr.it/journal/id.php?id=284).

Moscati P. 2021, *Digital Archaeology: From interdisciplinarity to the 'fusion' of core competences,* «magazén. International Journal for Digital and Public Humanities», 2, 2, 253-274 (http://doi.org/10.30687/mag/2724-3923/2021/04/004).

Orlandi T. 1994, *Prefazione*, in G. Adamo (ed.), *Bibliografia di Informatica Umanistica*, Roma, Bulzoni, vi-vii.

Pallot-Frossard I. 2016, *From CHARISMA to IPERION CH and E-RIHS: Towards a European research infrastructure for Heritage Science*, «Technè. La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels», 43, 46-49 (https://doi.org/10.4000/techne.641).

Pansini R. 2022, *Rilievo, documentazione e ricostruzione di un centro monumentale con fotogrammetria e modellazione tridimensionali: il caso della città romana di Sala*, in A. Arrighetti, R. Pansini (eds.), *Sistemi e tecniche di documentazione, gestione e valorizzazione dell'architettura storica. Alcune recenti esperienze*, «Archeologia e Calcolatori», 33.1, 239-256 (https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.13).

Poggi G., Falchi F., Russo L., Buono M. 2022, *From surfaces to volume: Towards a volumetric reconstruction of the archaeological deposit*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 197-214 (https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.11).

Poulopoulos V., Wallace M. 2022, *Digital technologies and the role of data in Cultural Heritage: The past, the present, and the future*, «Big Data and Cognitive Computing», 6, 3, 73-92 (https://doi.org/10.3390/bdcc6030073).

Puckett J. 2011, *Zotero: A Guide for Librarians, Researchers, and Educators*, Chicago, Association of College and Research Libraries.

Reilly P. 1991, *Towards a virtual archaeology*, in S. Rahts, K. Lockyear (eds.), *CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, Oxford, Archaeopress, 133-139.

Richards J., Niccolucci F. (eds.) 2019, *The Ariadne Impact*, Budapest, Prime Rate Kft.

Rossi I., Paraciani N. 2021, *IT applications to archaeology and the OA diamond journals' challenge. Enhancing access and reuse of textual and visual resources*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 325-347 (https://doi/org/10.19282/ac.32.1.2021.18).

Silva A.L., Terra A.L. 2024, *Cultural heritage on the Semantic Web: The Europeana data model,* «IFLA Journal», 50, 1, 93-107 (https://doi.org/10.1177/03400352231202506).

Taylor J. 2023, *Digital infrastructures and their impact on data acquisition*, «Current Swedish Archaeology», 31, 53-58 (https://doi.org/10.37718/CSA.2023.05).

Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J. *et. al.* 2016, *The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship*, «Scientific Data», 3, 1 (https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18).

Zoni F. 2017, *L'uso della tecnologia DEM nella documentazione archeologica. Alcune applicazioni in casi di scavo stratigrafico e nello studio dell'edilizia storica,* «Archeologia e Calcolatori», 28.1, 219-238 (https://doi.org/10.19282/ac.28.1.2017.13).

ABSTRACT

This paper explores the initial outcomes of the H2IOSC Project, specifically within Work Package 2 (WP2 - Landscaping & Building Communities), which aims to survey the Italian digital landscape in Language Technologies, Humanities, and Heritage Science (HS). A significant outcome of the efforts of the Rome branch of CNR-ISPC is the development of two key resources: the DHeLO web app and the BiDiAr bibliographic collection. DHeLO (Digital Heritage Landscaping Platform) is designed to collect, store, and query metadata of

research projects, products, and digital tools in Cultural Heritage (CH) and Heritage Science (HS). It aims to create a comprehensive disciplinary observatory by integrating data from multiple sources into a structured system that allows for complex queries and data indexing. This platform supports the FAIR principles (Findability, Accessibility, Interoperability, and Reusability) and includes metadata standards based on the Dublin Core Metadata Initiative (DCMI). BiDiAr (Bibliography of Digital Archaeology) functions as a relational database within Zotero, an open-source bibliographic tool. It compiles bibliographic entries relevant to Digital Archaeology, integrating themes and research outputs from the «Archeologia e Calcolatori» journal. This database aids in thematic trend analysis and network analysis by linking bibliographic citations, enhancing the understanding of research dynamics and impacts within the E-RIHS community. Analyzing these resources reveals an exponential increase in virtual reality and 3D modeling products, driven by epistemological developments and the disruptive use of photogrammetric modeling These tools not only enhance data accessibility and usability but also support interdisciplinary collaboration and innovation in digital heritage and archaeology.

Archeologia e Calcolatori
35.1, 2024, 543-562
doi 10.19282/ac.35.1.2024.32

A RESOURCE HUB FOR INTEROPERABILITY AND DATA INTEGRATION IN HERITAGE RESEARCH: THE H-SETIS DATABASE*

1. The Humanities and Cultural Heritage Italian Open Science Cloud (H2IOSC) Project

H2IOSC is a project led by the Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), actively involving several of its Institutes (https://www.h2iosc.cnr.it/). Its main objective is to create a federated and inclusive cluster of the Italian nodes of the four European Research Infrastructures (RIs) in the field of Humanities and Cultural Heritage: DARIAH for Humanities, CLARIN for language sciences, OPERAS for scientific communication in the field of Humanities and Social Sciences, and E-RIHS for Heritage Science (HS). Their nature is very heterogeneous, including both physical instrumentation and repositories such as archives and databases, computing and communication systems that are essential for research purposes. The entire H2IOSC Project activity aims to support data-driven research and the digital transformation of the cultural and creative industries sectors. H2IOSC indeed promotes a data-centric approach, with data made accessible through an integrated digital environment designed according to FAIR principles (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable; Wilkinson *et al.* 2016).

The Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (CNR-ISPC) is directly involved in the project as part of the E-RIHS network; the Milan branch of ISPC, as leader of Task 4.10 'Resources interoperability: DIGILAB resources (E-RIHS)' within WP4 'RIs Nodes and Resources Interoperability', is in charge of a general survey of semantic tools for the Heritage sector, of designing strategies to assure data interoperability, and of the integration of digital resources within the Heritage domain and the wider H2IOSC common semantic framework.

2. Heritage Science and semantic tools

2.1 *Heritage Science: a long-standing and yet novel discipline*

Heritage Science (HS) is an interdisciplinary research field that combines social sciences and natural sciences applied to cultural and natural Heritage. It is a research area whose scope and objectives are well known, but whose formalization as an autonomous sector has not yet been completed. This

* Both authors have equally contributed to the content of this paper.

definition of HS is quite recent, as it was jointly developed in 2019 by E-RIHS and the International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM)[1], while the term itself was defined by the Science and Technology Select Committee of the British House of Lords and dates back to 2006 (House of Lords Science and Technology Select Committee 2006; Kennedy 2015, 214-215; Strlič 2018, 7260; Kennedy *et al.* 2024). The new definition aims to overcome disciplinary barriers, especially between the fields of Cultural Heritage Conservation, which has always focused on the technical aspects of assessing and controlling degradation, restoration, and protection of tangible Cultural Heritage, and that of social sciences, which focuses on the study of material evidence and the relationship between humans and the environment from a historical perspective, such as archaeology, art history, and anthropology, among others (Carman, Sørensen 2009).

In recent decades, the increasing use of scientific techniques involving remote data acquisition has enhanced the analytical potential and application of HS diagnostic methodologies. This is because the fragility of the materials under study often discourages or prohibits more invasive interventions and direct sampling. The chance to acquire data without physically contacting the object of study has expanded the number of measurements and the fields of investigation, increasing also scientific results (Kennedy 2015, 220-221).

The identification of the HS domain aims to shift the focus from individual disciplines, each with its specificities, to the object of research, namely 'Heritage'. By changing the perspective, there is greater integration among researchers and contextual improvements compared to individual research projects, thanks to the contribution of multiple expertise as well as a coordinated approach. The need for significant shared data repositories and appropriate management tools has been emphasized by several authors (Kennedy 2015, 224-225; Bordalo, Bottaini, Candeias 2020; Castelli, Felicetti, Proietti 2021). Although this is a common requirement for the entire scientific community, it plays an even more significant role in HS due to the complex articulation of possible fields of investigation and its multidisciplinary nature.

2.2 *Assessing the use of semantic technologies for the Heritage field*

Building on the emerging focus on collaboration and overcoming disciplinary divides within the HS domain, the surge in specialized software and data management tools becomes even more crucial. By leveraging semantic technologies, these tools can bridge the gap between disciplines and facilitate the contribution of multiple areas of expertise to a common object of research.

[1] https://www.e-rihs.eu/e-rihs-in-a-nutshell/.

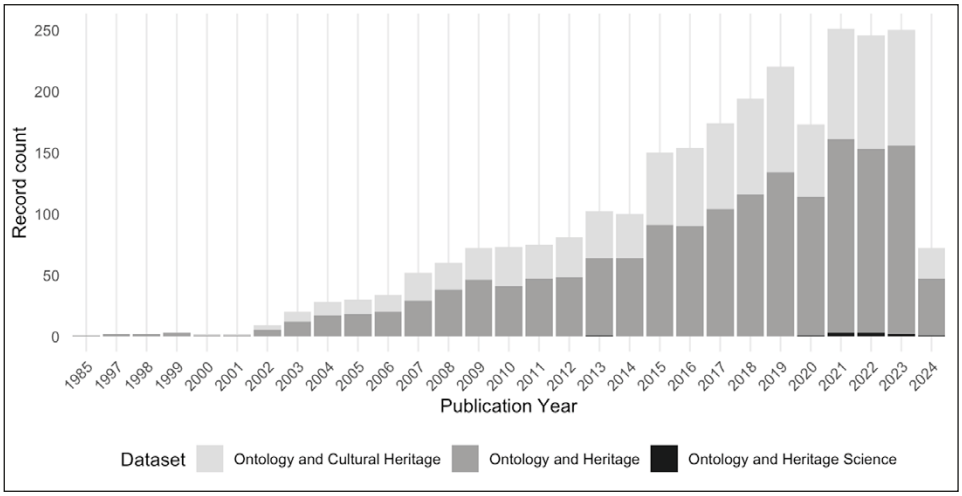


Fig. 1 – Annual distribution of research products (articles, conference proceedings, book chapters) related to the combination of keywords indicated in the legend (data source: Scopus).

However, as the field embraces these advancements, ensuring accessibility and reusability of the data and tools themselves becomes paramount.

With this regard, an initial analysis of relevant literature revealed a rapidly changing landscape (Fig. 1)[2]. Since 2010, controlled vocabularies, taxonomies, ontologies, and specialized software designed for this field became popular, and the use of semantic technologies improved the integration of interoperability principles. Within the domain of semantic tools, which extends beyond Heritage practitioners, a consensus is emerging regarding the necessity for such tools to comply with accessibility and reusability standards, as many resources, particularly ontologies and vocabularies, still fall short of these principles. The recently published report within the FAIR-IMPACT project (Le Franc *et al.* 2020, 11-12), which is part of the initiatives undertaken within the framework of the implementation plan of the European Open Science Cloud (EOSC), highlights the main issues that characterize, for example, the development of ontologies (Garijo, Poveda-Villalón 2020). Often, they lack proper documentation, version control, and are not published and maintained following Linked Data (https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html) and FAIR data principles.

[2] Data for all charts and graphs included in the article can be found on Zenodo (https://doi.org/10.5281/zenodo.11388725).

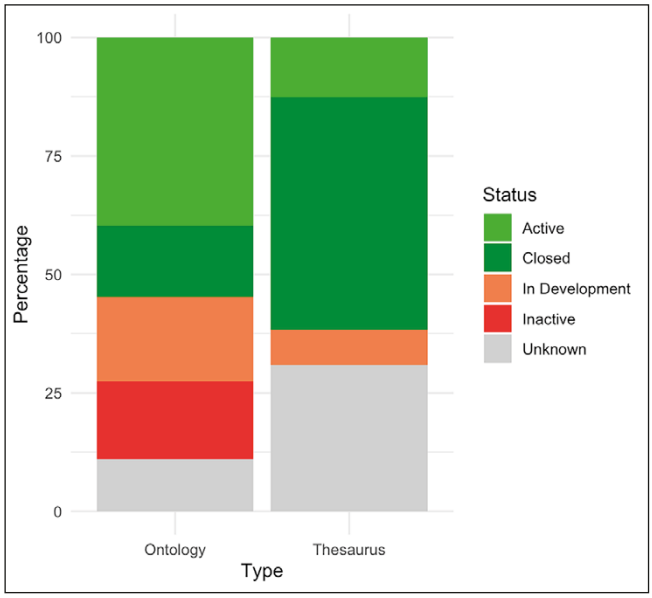


Fig. 2 – Percentage distribution of semantic artefacts cataloged in H-SeTIS according to their curation status (i.e., completeness and maintenance).

More concerningly, many resources lack essential metadata regarding their creation, purpose, usage, and maintenance. This absence of information significantly hinders both understanding and reusability. Garijo, Poveda-Villalón (2020, 7) recommend including 23 metadata elements within an ontology's documentation, with 12 of these being optional. Notably, a significant portion of these belong to the Dublin Core standard, including dc:title, dc:author, dc:contributor, and dc:description. Unfortunately, most resources fail to provide metadata related to creation and modification dates, namespaces, and bibliographic references. Versioning, a fundamental tool in digital tool development, allows tracking a resource's evolution over time and identifying stable versions. However, versioning information is often missing from most of the resources' URIs and, when present, it rarely adheres to semantic versioning principles (https://semver.org/).

The Heritage sector mirrors this broader trend: in-depth documentation exceeding essential metadata remains scarce for the ontologies and the tools cataloged thus far. Most only present traditional documentation: the scientific development process for a semantic resource and the final product are often published in academic journals or conference proceedings. However, the lack of proper documentation and the inability to locate them using

unique identifiers (URIs) significantly hinders or even impedes their reuse. It is worth noting that among the roughly 200 semantic tools cataloged so far, a significant portion have a 'negative' status, indicating incompleteness, lack of updates, or irretrievability (Fig. 2).

Recognizing the critical need for well-documented and accessible tools, the H-SeTIS database (Heritage - Semantic Tools and Interoperability Survey, see below §3) aims to create a collection of existing semantic and interoperable resources for the Heritage domain and will serve as an up-to-date toolkit for developing similar tools. Such overview plays a crucial role in creating a knowledge model specifically designed to integrate E-RIHS data into the H2IOSC semantic framework, thereby promoting interoperability and data integration within the Heritage domain.

This state-of-the-art review informed key decisions about the H-SeTIS database design and data entry process. The adoptions of platforms like the Linked Open Vocabularies (LOV) catalog and OntoPortal software are hampered by the limitations of the data itself. LOV (Vandenbussche *et al.* 2017) offers robust functionalities for visualizing semantic vocabularies. OntoPortal (Jonquet *et al.* 2023) focuses on creating comprehensive catalogs of diverse semantic resources. Both leverage semantic technologies to automatically generate metrics and statistics. However, the fragmented nature of information associated with many cataloged resources in H-SeTIS hinders their effectiveness in this context.

In addition, H-SeTIS goes beyond simply cataloging existing semantic tools in the Heritage sector. It also aims to capture information and data about the scientific process behind their creation, even if these do not meet the minimum quality requirements of accessibility and reusability previously mentioned. This additional objective provides valuable insights into the development process of these tools, even if they may not be fully functional or well-maintained.

2.3 *Geospatial analysis of institutions involved in the research of semantic tools for Heritage*

As a preliminary overview of the international scientific community involved in the development of semantic tools within the field of Heritage, a geospatial analysis focused on the involved institutions was carried out using available repositories.

The initial bibliographic dataset was obtained from Web of Science (WoS), a repository selected for the completeness of the raw data made available to the user. The query compiled in the 'Topic' field, which includes titles, abstracts, and author keywords, is as follows: TS=(heritage) AND (TS=(ontolog*) OR TS=("semantic web")); the term 'heritage' was selected to maximize results related to Heritage (Huang 2024): the English term stresses the importance

of inheritance passed down through generations, encompassing both Cultural and Natural Heritage. The query therefore returned bibliographic records in which the term 'heritage' was associated with 'ontolog*' (which includes both 'ontology' and 'ontologies') or alternatively with 'semantic web' in titles, abstracts, or keywords. Associating these terms was necessary to disambiguate queries that could have been misleading. For example, the term 'ontology' alone returns hundreds of results dealing with ontologies from a strictly philosophical point of view or, conversely, with computer ontologies applied to any possible theme. The association with the terms 'heritage' and 'semantic web' allowed a more relevant dataset to be obtained, increasing the focus on the Cultural Heritage domain – the main focus of the H2IOSC Project – and retrieving those contributions that also deal with semantic technologies for Heritage, resulting in a final dataset of 1248 bibliographic records[3].

The obtained dataset was used to carry out a quantitative network analysis focused on the institutions involved in the research on ontologies and semantic tools for the Heritage. This dataset was initially preprocessed using VOSviewer software, specifically designed for network analysis and clustering of bibliometric data (van Eck, Waltman 2010). Institutions were selected based on authors' affiliations, with the requirement that they had relations with each other and appeared at least twice to refine the results further. The institutions thus filtered count 128. VOSviewer automatically processed also the related network of relations, connecting institutions based on their appearance in scientific contributions with authors from different affiliations.

To conduct more in-depth analyses, the output data from VOSviewer were subsequently post-processed using Gephi, R, and QGIS software. In Gephi, the network of relations was regenerated, refining it by combining institutions that were considered separate by VOSviewer due to discrepancies in the input data; names were then normalized to overcome any residual ambiguities. With the tidygeocoder package in R (Cambon *et al.* 2021), it was possible to automatically retrieve the geographical coordinates of individual institutions, except for a few cases where manual intervention was necessary. The obtained data were then loaded into a GIS environment, where the initially generated network from VOSviewer was georeferenced, allowing for further advanced analyses (Fig. 3).

[3] The access to large bibliographic repositories is of great assistance to research, with the awareness, however, that the provided data are not always complete or entirely accurate. A comparison of results from various queries has highlighted how difficult it is to extract completely reliable datasets, except perhaps in extremely delimited disciplinary sectors, and how the search system itself likely applies optimizations on results that are hardly controllable. The query used here is the one that has proved to be more flexible compared to others that are more restrictive and accurate, albeit at the cost of omitting a large amount of data. However, it is possible that not all resulting institutions are actually engaged in the field of ontologies and semantic web for Cultural Heritage.

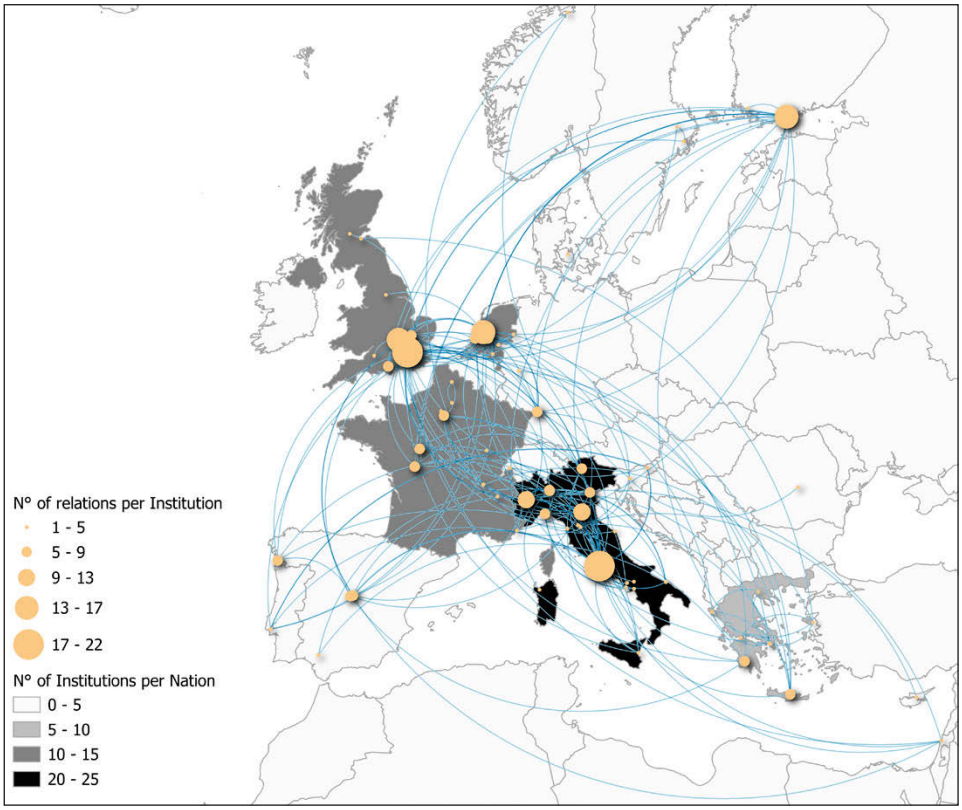


Fig. 3 – Spatial distribution and relations of the institutions involved in the research of ontologies and semantic web for Heritage; the size of nodes is proportional to the number of relations.

From the observation of the obtained result, several preliminary considerations can be drawn. The majority of research institutions involved in the development of ontologies for Cultural Heritage are located in Europe (about 84%)[4], while among the remaining countries, institutions from the United States, Australia, Israel, Qatar, Pakistan, China, Hong Kong, Taiwan, South Korea, and Vietnam are represented. Among European countries, the most involved one in research activities, as appreciable by the number of its involved institutions, is certainly Italy, with almost double the number of entities compared to the Netherlands, which is second, with France, the

[4] In this case, when referring to Europe, the continent is meant rather than the political Union, thus including countries such as the United Kingdom, Switzerland, Norway, and the Mediterranean basin with Israel.

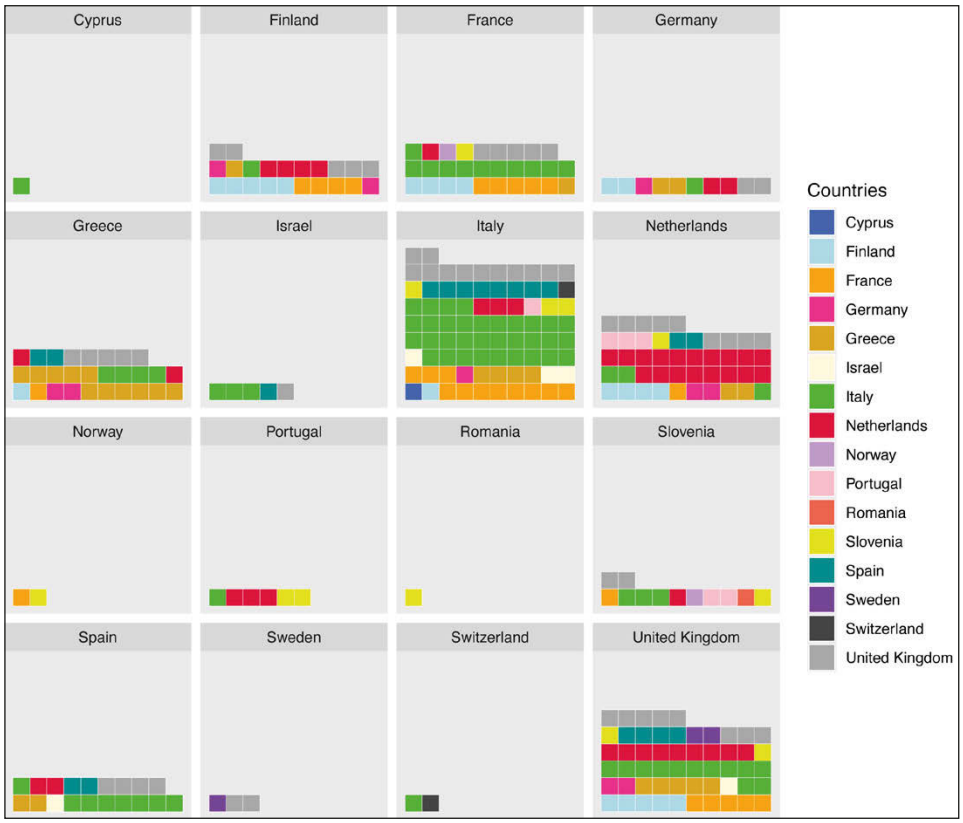


Fig. 4 – Waffle chart displaying national and international collaborations among the institutions mapped in Fig. 3.

United Kingdom, and Greece following. Interconnections between institutions from the same country, especially among those from Italy, the Netherlands, and the United Kingdom, are quite evident. In terms of relationships between individual institutions, the highest number of collaborations is achieved by the CNR, followed by the University College London, the Vrije Universiteit Amsterdam, the Open University (UK), and the Aalto University (Finland). The most significant collaborations at the level of individual countries are found between Italy and the United Kingdom, Italy and France, the United Kingdom and the Netherlands, and Italy and Spain.

From this analysis, it appears quite evident that Italy stands out as the country that contributes the most, at least in terms of number of institutions and collaborations, to research in the ontological field for the

Cultural Heritage domain. The debate itself appears, at present, substantially Eurocentric. It is also possible to assert that there are countries where the number of collaborations among national institutions is considerably high, as is the case with Italy, the Netherlands, and Greece, while for other nations this ratio is more skewed towards relationships with foreign institutions (Fig. 4).

2.4 *Future steps: towards an ontology for Heritage Science*

At present, HS is focused on tangible Cultural Heritage of any nature and scale, from individual objects to landscapes; however, future expansion to intangible Heritage is not to be excluded (Skublewska-Paszkowska *et*

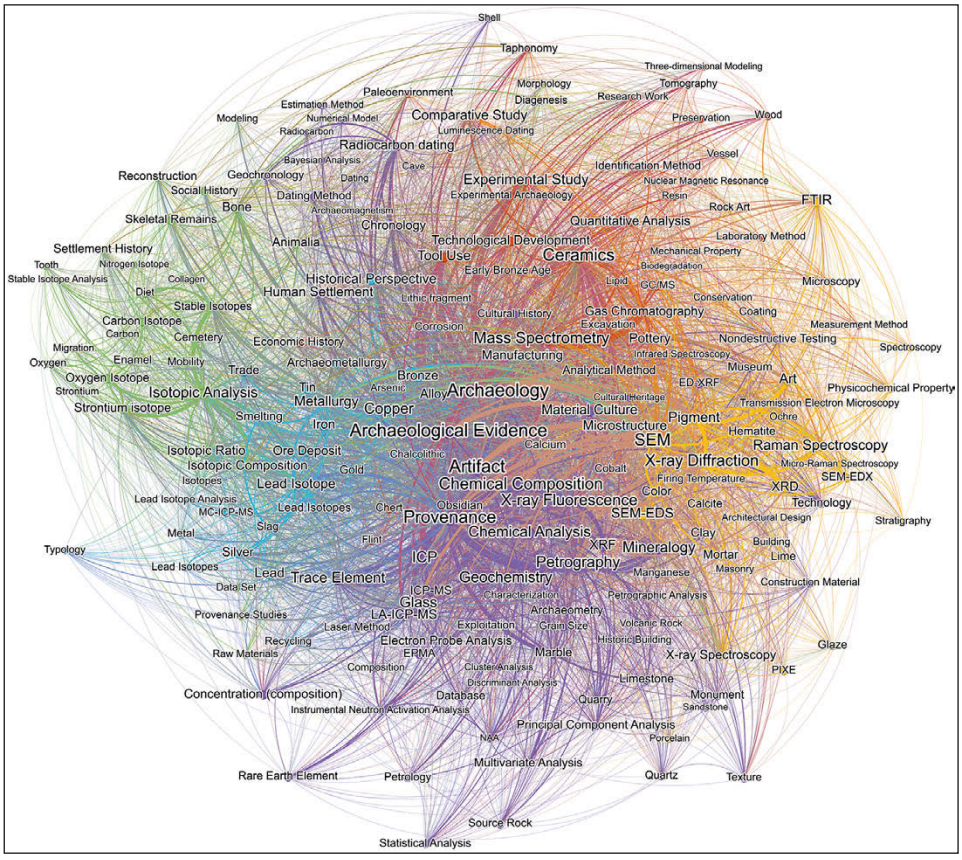


Fig. 5 – Keyword network for the journal «Archaeometry» (2242 articles, 1958-2024), generated with VOSviewer and reprocessed with Gephi, spatialized using Force Atlas 2. Color is based on VOSviewer clustering, while node size is based on Eigenvector centrality factor.

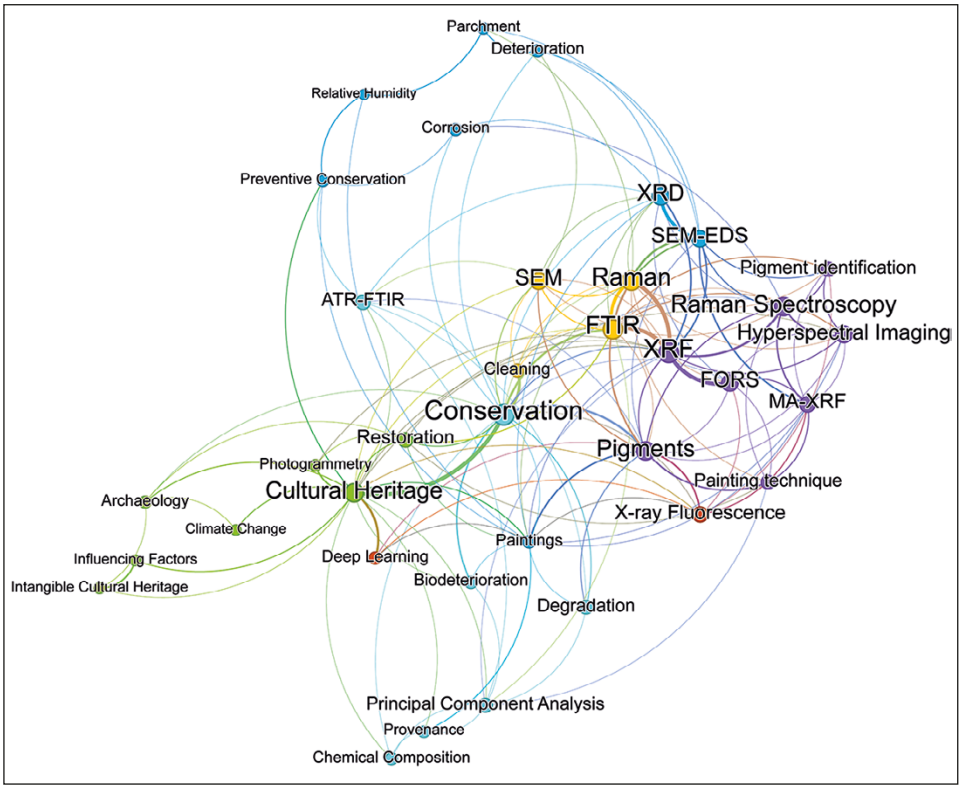


Fig. 6 – Keyword network for the journal «Heritage Science» (1264 articles, 2013-2024), generated with VOSviewer and reprocessed with Gephi, spatialized using Force Atlas 2. Color is based on VOSviewer clustering, while node size is based on Eigenvector centrality factor.

al. 2022). The more theoretical aspects of HS are still under development (Strlič 2018); therefore, the design of a dedicated ontology can significantly contribute to the formal definition of the discipline itself. As already observed, there is still no conceptual model that formalizes the domain related to diagnostics for cultural Heritage, and the data produced are often non-interoperable (Castelli, Felicetti, Proietti 2021, 280). There are resources from related fields and disciplines that participate in HS, although they are not specific to this particular domain, which can be reused, such as geographic and spatial resources, but none of these present specific features for this domain.

The lack of semantic web technology-related keywords in relevant literature underscores the current state of the field. Analyses of author-chosen keywords from two prominent journals, «Archaeometry» (Fig. 5) and «Cultural

Heritage» (Fig. 6), indicate a complete absence of semantic technologies. The dataset, gathered from Scopus using the ISSN of each journal, was visualized through network processing by VOSviewer with Gephi.

The commitment of the CNR to the development of a formal ontology for HS and its computer implementation, a challenging endeavor that is by its very nature ongoing, is based on its multi-decadal experience in the specific field, with coordination from the Italian node of E-RIHS. As previously stated in 2.3, CNR is already one of the mostly involved institutions in terms of national and international collaborations for what concerns this research field. In this regard, it is interesting to recall also the programmatic document of the Science and Technology Select Committee, which coined the term 'Heritage Science' in 2006 and pointed to CNR as a virtuous example of a research institute where basic and applied research are «(…) inextricably intertwined» (House of Lords Science and Technology Select Committee 2006, 24).

3. H-SeTIS database: the resource hub

3.1 *Preliminary conceptual structure*

The H-SeTIS database centers around five key objects: 'ontologies', 'metadata standards', 'thesauri', 'application profiles', and 'software'. While software itself does not constitute a 'semantic artefact' (see below), its inclusion within the cataloging framework is warranted due to its role in facilitating the implementation of the aforementioned four items. Collectively, these resources are referred to as 'semantic tools', reflecting their capacity to structure and enable the representation of knowledge in a machine-understandable format.

The term 'semantic artefact' emphasizes the ability of ontologies, metadata standards, thesauri, and application profiles to be processed by computers (Le Franc *et al.* 2020, 11-17). They represent the latest stage in the evolution of Knowledge Organization Systems (KOS). While many contemporary KOS applications are digital, the concept encompasses a broader range of tools, both physical and digital, designed to organize knowledge (Hodge 2000, 5). Classic examples of KOS include the Linnaean taxonomy for classifying animals and the Dewey Decimal Classification system, both predating modern computers. Despite their long history, the scientific community continues to debate the precise definitions and classifications of these tools, regardless of their machine readability (Souza, Tudhope, Almeida 2012). Hodge (2000, 4-5), for example, distinguishes between controlled vocabularies (authority files, glossaries, dictionaries, gazetteers), classifications and categorizations (subject headings and taxonomies), and lists of relationships (thesauri, semantic networks, ontologies). Hedden (2010,

1-15) prefers to use the single term 'taxonomies' distinguishing between controlled vocabularies, hierarchical taxonomies, thesauri, and ontologies.

For this reason, terms like taxonomy, thesaurus, ontology, and controlled vocabulary, although all falling under the umbrella of KOS, are frequently used interchangeably to describe various forms of knowledge representation. The classification and description of these models also exhibit significant variation in the literature due to the frequent entanglement of their characteristics, objectives, and specific use cases. Therefore, these entities can be conceptualized as distinct classification systems situated along a spectrum of rising complexity, each possessing unique characteristics and fulfilling diverse purposes (Souza, Tudhope, Almeida 2012, 183).

Drawing upon this overview, H-SeTIS employs a pragmatic and incremental approach to classifying semantic artefacts. This approach prioritizes simplicity and flexibility, enabling it to accommodate the diversity of these tools. This strategy facilitates the addition of new information and the integration of emerging semantic tools, ensuring the long-term scalability of the classification system. Aligned with FAIR principles and the Linked Data paradigm, H-SeTIS exposes its information through APIs and describes resource attributes by integrating standard metadata schemas such as Dublin Core and schema.org, thereby promoting data interoperability, reusability, and discoverability[5].

3.2 *The five semantic tools: an overview*

As mentioned above, H-SeTIS focuses on cataloging five key types of semantic tools: 'ontologies', 'metadata standards', 'thesauri', 'application profiles', and 'software' (Fig. 7). For each tool, information is provided to assess its compliance with the FAIR principles and its alignment with the Linked Data paradigm. References to research documenting each tool are listed within its record. The relevant bibliography is maintained through a public Zotero group (https://www.zotero.org/groups/5434475), which currently includes about 340 references: H-SeTIS utilizes Zotero's APIs to query the bibliographic data and leverages the unique identifiers provided by Zotero to manage and retrieve the individual references associated with each semantic tool. The project's bibliographic dataset will also be seamlessly integrated into the database's user interface.

Records for thesaurus-type artefacts encompass a diverse group of controlled lists with varying characteristics. An example of authority lists, a special type of controlled vocabulary that lists standardized forms of proper

[5] The numeric IDs referenced in the following notes correspond to the identifier that will appear in the URI of each resource within the H-SeTIS public website.

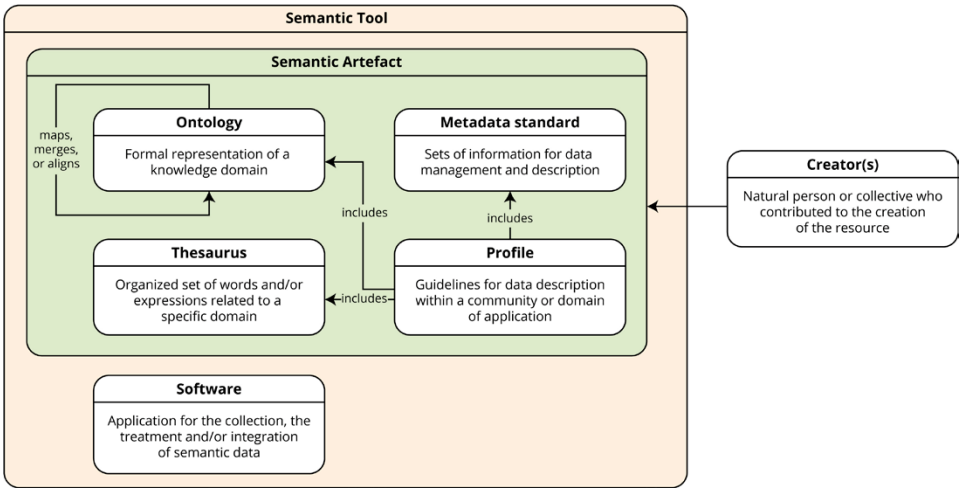


Fig. 7 – Preliminary Conceptual Structure of H-SeTIS.

nouns, is the *Liste d'autorités 'Auteurs'* (ID 109) used to populate the 'Auteur' field of the Joconde database (https://www.pop.culture.gouv.fr/search/list?base=%5B%22Collections%20des%20mus%C3%A9es%20de%20France%20%28Joconde%29%22%5D), which includes proper nouns referring to «une personne physique, un groupe de personnes physiques, une personne morale, une population, une civilisation, etc». Gazetteers, on the other hand, are generally limited to place names only. In this regard, the *Liste d'autorités 'Lieux'* (ID 131) used to populate the 'Lieux' field of the Joconde database falls into the category of gazetteers. As mentioned, it is possible to combine multiple characteristics of these artefacts, as in the case of the *Cairo Gazetteer* (ID 15): the latter presents a list of historical sites in Cairo hierarchically ordered by type and for which coordinates and descriptions are provided. The *Cairo Gazetteer* also presents semantic associations between the terms that compose it, a typical characteristic of thesauri.

Thesaurus artefacts, in the strictest sense of the term, feature a more structured organization and provide detailed information on the relationships between terms. These relationships include hierarchical links, associations (i.e., related concepts), and equivalences (i.e., synonyms). One of the best-known is the *Getty Art & Architecture Thesaurus* (ID 2), in which the terms are hierarchically organized and the most common spelling among various synonyms indicated together with a definition. Another type of thesaurus is the *Digitizing Early Farming Cultures* (ID 23), developed by the Austrian Centre for Digital Humanities for their project and relating to the cataloging

of Neolithic and Chalcolithic sites and finds in Greece and Anatolia (ca. 7000-3000 BCE; https://defc.acdh.oeaw.ac.at/). The DEFC presents a hierarchical organization of concepts and includes SKOS broader/narrower relationships, but also horizontal relationships between terms and definitions. It is therefore halfway between a taxonomy and a thesaurus. Compared to traditional taxonomies, thesauri place greater emphasis on the interconnections between terms, offering a more dynamic representation of semantic relationships.

Expanding on the previously mentioned types of thesauri, hierarchical taxonomies are also included in this category. Characterized by a tree-like structure, taxonomies feature broader terms encompassing more specific ones. Similarly to controlled vocabularies, taxonomies are domain-specific but generally simpler than thesauri: they omit equivalence and association relationships, focusing solely on presenting the preferred term chosen by the creators. Interestingly, despite their hierarchical structure, many of the resources described earlier often self-define as thesauri. This highlights the interchangeable use of these terms in practice.

Ontologies represent a further evolution in terms of complexity compared to other semantic artefacts. They incorporate logical relationships between terms to comprehensively represent a domain of knowledge. Consequently, they are classified as a separate artefact from thesauri. Gruber (2009, 1963) defines an ontology as «a set of representational primitives with which to model a domain of knowledge or discourse». Through inference, ontologies allow for reasoning about concepts, extracting new knowledge based on the encoded concepts, relationships, and rules.

Ontologies are also an annotation tool for which reusability is one of the distinguishing features. This promotes efficiency, consistency, and interoperability, and is primarily (but not only) realized through three modalities: aligning, merging, or mapping multiple ontologies. Alignment aims to identify correspondences between different ontologies in an automated or semi-automated manner. The merging method involves creating a new unified ontology by combining elements from multiple source ontologies, while mapping establishes relationships between concepts in different ontologies (Narula *et al*. 2018). In this regard, the H-SeTIS structure allows the ontology-type artefact to be related to itself in order to collect in a structured way the reuses that have occurred between various ontologies.

The CIDOC Conceptual Reference Model (CIDOC-CRM), a core ontology, is the most widely cited ontology in the Heritage sector. A 'core ontology' serves to express the basic concepts according to which a domain of knowledge is modeled. Due to this characteristic, it is scalable, meaning that it can be extended as needed. A 'foundational' ontology (also defined as 'upper' or 'top-level') instead models categories so general that they can be considered independent of any specific domain. This category also includes DOLCE

(Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering), created by the Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione (CNR-ISTC) to reproduce the ontological categories of natural language and common sense (Gaio *et al.* 2010). The Architecture of Knowledge ontology (ArCO, ID 42) indirectly reuses two light versions of DOLCE, DOLCE-zero and DOLCE+DnS. EpiONT, a specialization of CIDOC-CRM for the epigraphic domain (ID 76), aims to achieve the same result (Cantone *et al.* 2019, 155). The ICON ontology also reuses some DOLCE classes (Sartini *et al.* 2023, 14-15).

As investigated by Moraitou *et al.* (2019, 623-624, Tab.2), CIDOC-CRM has been extended over the years through mapping, merging, or extension. A recent example of mapping is the adaptation of the Italian national standards for coding archaeological information, developed and maintained by the Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD), to CIDOC-CRM within the ARIADNE project (Felicetti *et al.* 2013; Moraitou *et al.* 2019, 617). CIDOC-CRM also has several official extensions, including CRM-archaeo, developed for the conceptual representation of the excavation process and related activities (Christaki *et al.* 2024).

In addition to Knowledge Organization Systems (KOSs), H-SeTIS also encompasses metadata standards, a distinct type of semantic artefact. While KOSs focus on vocabulary control and knowledge representation, metadata standards provide a structured and consistent way to describe various entities, from individual objects to entire databases, and offer a method for organizing, describing, tracking, and ultimately improving access to information (Gilliland 2008, 2-3). Similarly to thesauri and ontologies, the term 'metadata' can carry different meanings: within the Heritage domain, it typically refers to a set of supplementary information designed to organize, describe, track, and enhance access to information about a cultural asset and its associated physical collections. One of the pioneering examples is the schema developed by the Art Museum Image Consortium (AMICO), established by the Association of Art Museum Directors, aiming to standardize and regulate the reuse, distribution, and reproduction of digital images archived in the digital catalogs of various museums. Notably, AMICO, active from 1997 to 2005 was initially mapped by CIDOC-CRM (https://cidoc-crm.org/lrmoo/Resources/the-amico-data-model)[6].

Application profiles, on the other hand, are collections of practices, schemes, and guidelines adopted by a specific community or domain of application to describe a certain type of resource. Essentially, they provide instructions on how to effectively utilize metadata schemes within a particular domain (Baca 2008, 73): the Dublin Core Metadata Initiative Usage Board defines a profile as «a document (or package of documents) which describes

[6] See also the AMICO Data Specification (https://www.amico.org/AMICOlibrary/dataspec.html) and the AMICO Data Dictionary (https://www.amico.org/AMICOlibrary/dataDictionary.html).

a metadata application in order to facilitate broader reuse of its metadata» (https://www.dublincore.org/specifications/dublin-core/profile-review-criteria/).

An example of this type of semantic artefact is the Europeana Collection Profile, which integrates the Europeana Data Model (EDM) by reusing and extending existing classes and properties. As such, application profiles are positioned within H-SeTIS in relation to the other three semantic artefacts (ontologies, thesauri, metadata standards) to map the reuse of existing resources.

H-SeTIS also incorporates data standards alongside application profiles. Data standards function as comprehensive guidelines, defining the structure, formats, ontologies, and vocabularies employed for data management within a specific domain. Compared to application profiles, data standards are more general in scope: an example of a data schema is MIDAS Heritage, which aims to formalize data documentation for historical sites in the United Kingdom (https://historicengland.org.uk/images-books/publications/midas-heritage/midas-heritage-2012-v1_1/).

H-SeTIS further aims to gather information on software that enables the utilization of semantic artefacts, with a preferential but not exclusive focus on software developed in the Heritage sector. Examples of such software include Arches, an open-source platform for managing cultural heritage data (https://www.archesproject.org/), and Omeka S (https://omeka.org/s/), a software for creating virtual exhibitions developed by the Digital Scholar project of the Roy Rosenzweig Center for History and New Media.

Finally, H-SeTIS also includes record types pertaining to resource creators, encompassing both individuals and collectives who contributed to the development of a particular tool. This type of record will enable the construction of an up-to-date overview of the key players actively involved in the creation of semantic resources for the Heritage domain.

3.3 *H-SeTIS preliminary keyword analysis*

Each semantic artefact cataloged in H-SeTIS has been manually associated with one or more keywords. Both the artefacts and keywords were analyzed using Gephi (Fig. 8). The greatest aggregation revolves around the concept of ‘Material Culture’, which is expected given that a large part of Heritage is tangible. The only area currently covered by intangible or immaterial Heritage is essentially music, to which few ontologies and independent thesauri are associated. ‘Material Culture’ also serves as a macro-keyword for other closely associated concepts that specify it, such as ‘Archaeology’, ‘Architecture’, ‘Chronology’, ‘Geography’, ‘History’, ‘Museum Collections’. It is noticeable how archaeology is well-represented at a semantic level, with about a fifth of thesauri and ontologies directly related to the discipline itself, as well as Archaeometry, Epigraphy, Egyptology, Numismatics.

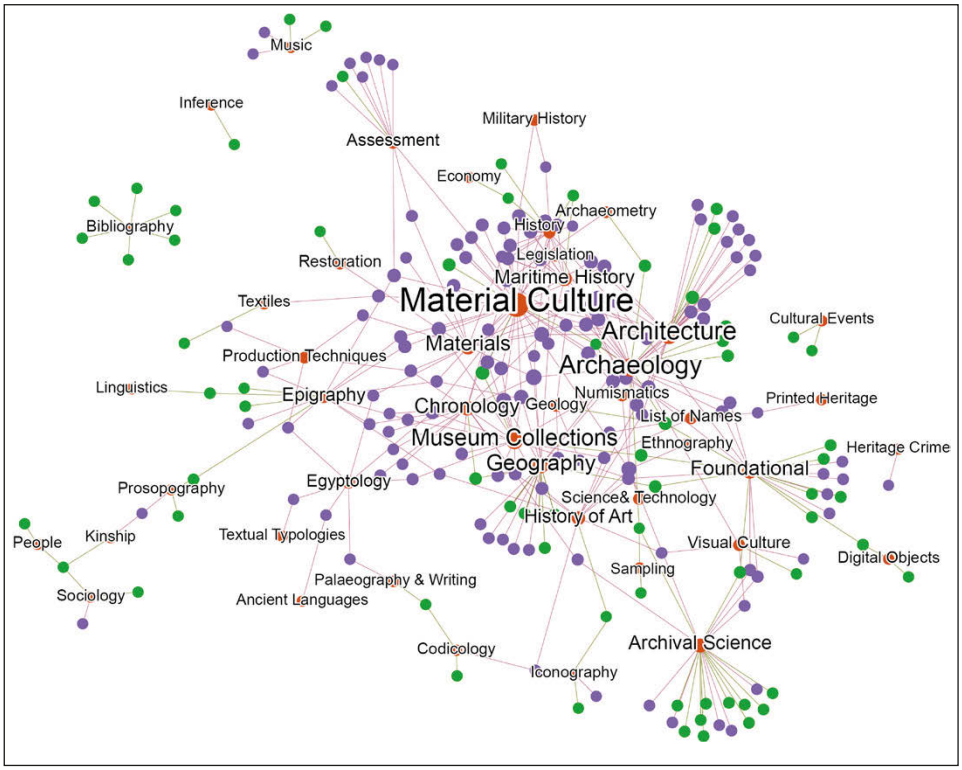


Fig. 8 – Keyword network for the first 200 records added to H-SeTIS. Green nodes refer to ontologies, purple nodes to thesauri, red nodes to keywords.

The clustered spatialization allows for the identification of at least three other subgroups: those of 'Foundational' artefacts, those of 'Archival Sciences', and those related to 'Library Science'. The first ones pertain to resources that, despite belonging to different fields, are fundamental for the description of other contents, such as Dublin Core (https://www.dublincore.org/specifications/dublin-core/dcmi-terms/) or the GS84 Geo Positioning RDF schema (http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#). Resources related to archival sciences are noteworthy both for the number of artefacts and for their relative independence from other keywords, although they are not entirely isolated like bibliographic ones: this, as well as their proximity to 'Foundational' resources, is partly due to the reason that a significant portion of ontological and taxonomic activity has traditionally been the responsibility of archivists and librarians, among the categories most involved, especially at a practical level, in organizing knowledge.

4. Final remarks

The H2IOSC Project is going to have a significant impact on HS both theoretically, improving to define its boundaries, and practically, increasing the interoperability and the machine-readability of data. At a preliminary overview, the core institutions engaged in researching semantic artefacts for Heritage are located in Europe and namely in Italy, that plays an important role in the Heritage research as a whole: within this landscape, CNR is actively involved with its long-standing and multidisciplinary expertise on it.

The H-SeTIS database, a central deliverable of the H2IOSC Project, serves as a foundational digital repository for semantic resources in Heritage studies. This includes ontologies, metadata standards, thesauri, application profiles, and software. The database will not only ensure a continued monitoring of these resources but will also facilitate the development of a comprehensive Heritage studies ontology. In this regard, it will provide the essential knowledge for integrating and mapping these resources with existing ones, offering a clear picture of the areas already covered by existing semantic artefacts. From these initial research steps, a more comprehensive HS ontology will be made available to the scientific community, promoting FAIRer data and potentially leading to a wider impact for the entire discipline.

Erica Scarpa, Riccardo Valente
Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
erica.scarpa@cnr.it, riccardo.valente@cnr.it

Acknowledgements

This research was supported by H2IOSC Project - Humanities and cultural Heritage Italian Open Science Cloud funded by the European Union NextGenerationEU - National Recovery and Resilience Plan (NRRP) - Mission 4 'Education and Research' Component 2 'From research to business' Investment 3.1 'Fund for the realization of an integrated system of research and innovation infrastructures' Action 3.1.1 'Creation of new research infrastructures strengthening of existing ones and their networking for Scientific Excellence under Horizon Europe' - Project code IR0000029 - CUP B63C22000730005. Implementing Entity CNR. The H-SeTIS implementation benefited from the technical support of the IT specialist Matteo Gallo, who was entrusted with the software development service within this endeavor. The authors wish to express their gratitude to Irene Rossi and Chiara Salvador for their insightful comments and editorial assistance.

References

Baca M. (ed.) 2008, *Introduction to Metadata*, Los Angeles, Getty Research Institute.

Bordalo R., Bottaini C., Candeias A. 2020, *A framework design for information management in Heritage Science laboratories*, «Journal on Computing and Cultural Heritage», 14, 1, 1-14 (https://doi.org/10.1145/3417304).

Cambon J., Hernangómez D., Belanger C., Possenriede D. 2021, *Tidygeocoder: An R package for geocoding*, *R package version 1.0.5*, «Journal of Open Source Software», 6, 65, 3544 (https://doi.org/10.21105/joss.03544).

Cantone D., Nicolosi-Asmundo M., Santamaria D.F., Cristofaro S., Spampinato D., Prado F. 2019, *An EpiDoc ontological perspective: The epigraphs of the Castello Ursino Civic Museum of Catania via CIDOC CRM*, «Archeologia e Calcolatori», 30, 139-157 (https://doi.org/10.19282/ac.30.2019.10).

Carman J., Sørensen M.L.S. 2009, *Heritage Studies – An outline*, in J. Carman, M.L.S. Sørensen (eds.), *Heritage Studies. Methods and Approaches*, London, Routledge, 11-28.

Castelli L., Felicetti A., Proietti F. 2021, *Heritage Science and Cultural Heritage: Standards and tools for establishing cross-domain data interoperability*, «International Journal on Digital Libraries», 22, 3, 279-287 (https://doi.org/10.1007/s00799-019-00275-2).

Christaki E., Doerr M., Felicetti A., Hermon S., Hiebel G., Kritsotaki A., Masur A., May K., Ore C.-E., Ronzino P., Schmidle W., Theodoridou M., Tsiafaki D. 2024, *Definition of the CRMarchaeo. An Extension of CRMbase to support the archaeological excavation process* (https://www.cidoc-crm.org/crmarchaeo/sites/default/files/CRMarchaeo_v2.1%28site%29.pdf; last accessed 29/05/2024).

Felicetti A., Scarselli T., Mancinelli M.L., Niccolucci F. 2013, *Mapping ICCD archaeological data to CIDOC-CRM: The RA Schema*, in V. Alexiev, V. Ivanov, M. Grinberg (eds.), *CRMEX 2013 Practical Experiences with CIDOC CRM and its Extensions*, CEUR WS, 11-22.

Gaio S., Borgo S., Masolo C., Oltramari A., Guarino N. 2010, *Un'introduzione all'ontologia DOLCE*, «AIDA informazioni: Rivista di scienze dell'informazione», 28, 107-125 (https://doi.org/10.1400/212462).

Garijo D., Poveda-Villalón M. 2020, *Best Practices for Implementing FAIR Vocabularies and Ontologies on the Web* (https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.13084).

Gilliland 2008, *Setting the stage*, in M. Baca (ed.), *Introduction to Metadata*, Los Angeles, Getty Research Institute, 1-19.

Gruber T. 2009, *Ontology*, in L. Liu, M.T. Özsu (eds.), *Encyclopedia of Database Systems*, Boston, Springer, 1963-1965 (https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_1318).

Hedden H. 2010, *The Accidental Taxonomist*, Medford, Information Today.

Hodge G.M. 2000, *Systems of Knowledge Organization for Digital Libraries: Beyond Traditional Authority Files*, Washington, Digital Library Federation.

House of Lords Science and Technology Select Committee 2006, *Science and Heritage. Report with Evidence*, London, The Stationery Office Limited.

Huang Y. 2024, *Bibliometric analysis of GIS applications in heritage studies based on Web of Science from 1994 to 2023*, «Heritage Science», 12, 1, 57 (https://doi.org/10.1186/s40494-024-01163-y).

Jonquet C., Graybeal J., Bouazzouni S., Dorf M., Fiore N., Kechagioglou X., Redmond T., Rosati I., Skrenchuk A., Vendetti J.L., Musen M. 2023, *Ontology repositories and semantic artefact catalogues with the OntoPortal technology*, in T.R. Payne, V. Presutti, G. Qi, M. Poveda-Villalón, G. Stoilos, L. Hollink, Z. Kaoudi, G. Cheng, J. Li (eds.), *The Semantic Web – ISWC 2023*, Cham, Springer Nature Switzerland, 38-58 (https://doi.org/10.1007/978-3-031-47243-5_3).

Kennedy C.J. 2015, *The role of Heritage Science in conservation philosophy and practice*, «The Historic Environment: Policy & Practice», 6, 3, 214-228 (https://doi.org/10.1080/17567505.2015.1099925).

Kennedy C.J., Penman M., Watkinson D., Emmerson N., Thickett D., Bosché F., Forster A.M., Grau-Bové J., Cassar M. 2024, *Beyond Heritage Science: A review*, «Heritage», 7, 3, 1510-1538 (https://doi.org/10.3390/heritage7030073).

Le Franc Y., Parland-von Essen J., Bonino L., Lehväslaiho H., Coen G., Staiger C. 2020, *D2.2 FAIR Semantics: First recommendations* (https://zenodo.org/records/3707985; last accessed 29/05/2024).

Moraitou E., Aliprantis J., Christodoulou Y., Teneketzis A., Caridakis G. 2019, *Semantic bridging of Cultural Heritage disciplines and tasks*, «Heritage», 2, 1, 611-630 (https://doi.org/10.3390/heritage2010040).

Narula G.S., Wason R., Jain V., Baliyan A. 2018, *Ontology mapping and merging aspects in Semantic web*, «International Robotics & Automation Journal», 4, 1 (https://doi.org/10.15406/iratj.2018.04.00087).

Sartini B., Baroncini S., Van Erp M., Tomasi F., Gangemi A. 2023, *ICON: An ontology for comprehensive artistic interpretations*, «Journal on Computing and Cultural Heritage», 16, 3, 1-38 (https://doi.org/10.1145/3594724).

Skublewska-Paszkowska M., Milosz M., Powroznik P., Lukasik E. 2022, *3D technologies for intangible cultural heritage preservation. Literature review for selected databases*, «Heritage Science», 10, 1, 3 (https://doi.org/10.1186/s40494-021-00633-x).

Souza R.R., Tudhope D., Almeida A.M.B. 2012, *Towards a taxonomy of KOS: Dimensions for classifying knowledge organization systems*, «Knowledge Organization», 39, 3, 179-192 (https://doi.org/10.5771/0943-7444-2012-3-179).

Strlič M. 2018, *Heritage Science: A future-oriented cross-disciplinary field*, «Angewandte Chemie International Edition», 57, 25, 7260-7261 (https://doi.org/10.1002/anie.201804246).

van Eck N.J., Waltman L. 2010, *Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping*, «Scientometrics», 84, 2, 523-538 (https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3).

Vandenbussche P.-Y., Atemezing G.A., Poveda-Villalón M., Vatant B. 2017, *Linked Open Vocabularies (LOV): A gateway to reusable semantic vocabularies on the web*, «Semantic Web», 8.3, 437-452 (https://doi.org/10.3233/SW-160213).

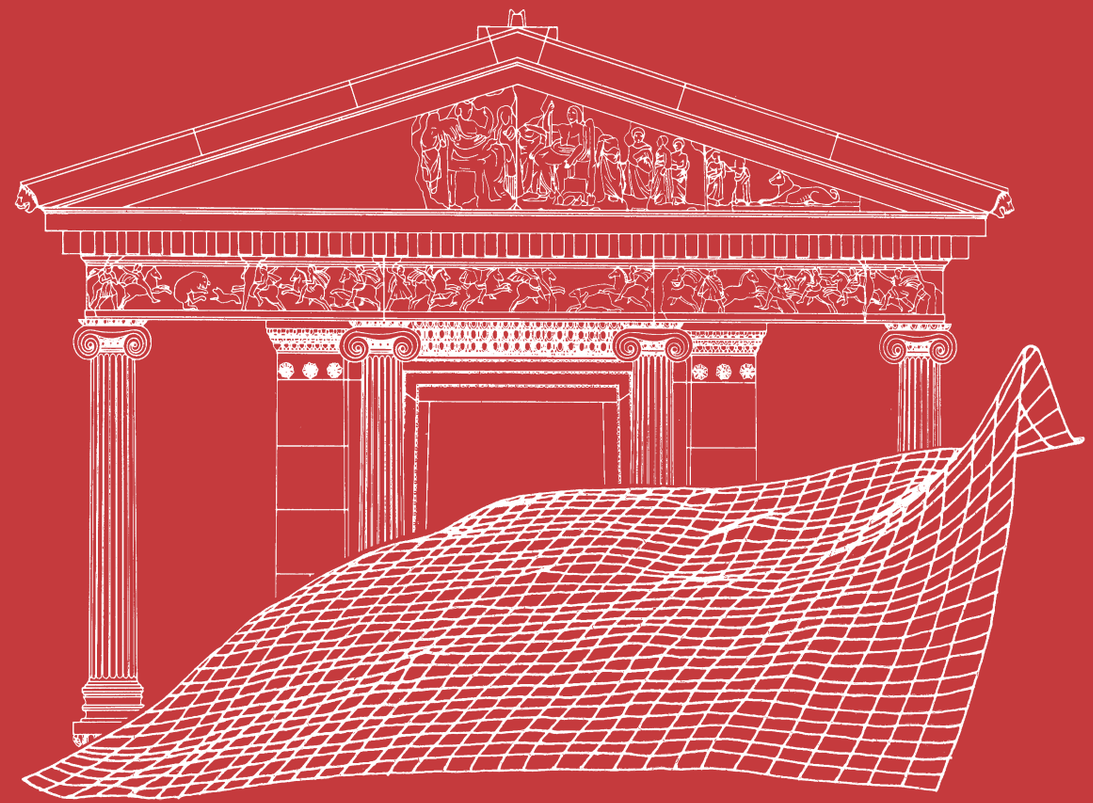
Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg Ij.J. *et al*. 2016, *The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship*, «Scientific Data», 3, 1, 160018 (https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18).

ABSTRACT

This article explores the contributions of the Milan branch of CNR-ISPC to the Humanities and Cultural Heritage Italian Open Science Cloud (H2IOSC) Project, focusing on facilitating data integration within Heritage Science. Its primary objective is to ensure seamless interoperability between resources from multiple institutions by establishing a shared semantic framework. The multidisciplinary nature of Heritage Science underscores the necessity for shared data repositories and effective management tools. Recent literature highlights the importance of semantic technologies in improving data integration and interoperability. To this end, the H-SeTIS database is currently under development. H-SeTIS will function as a hub for the systematic surveying and description of various semantic tools relevant to the Heritage domain. Interestingly, a preliminary analysis of data within H-SeTIS reveals that many semantic resources specifically designed to address the unique requirements of the Heritage domain do not meet the minimum quality requirements of accessibility and reusability. This finding underscores a potential area for future development: the creation of H-SeTIS aims to support the ongoing development of a comprehensive ontology for Cultural Heritage, enhancing data FAIRness and the discipline's overall impact.

35.1

2025



€ 60,00
ISSN 1120-6861
e-ISSN 2385-1953
ISBN 978-88-9285-278-5
e-ISBN 978-88-9285-279-2
AC-35-1

ARCHEOLOGIA
E CALCOLATORI

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI

35.1

2024

All'Insegna del Giglio