

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI

33.2

2022

All'Insegna del Giglio

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI



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

Comitato Scientifico: Giovanni Azzena, John Boardman, 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, Donna C. Kurtz, Adriano Maggiani, Daniele Manacorda, Costanza Miliani, Paola Moscati, Tito Orlandi, Clive R. Orton, Maria Cecilia Parra, Xavier Rodier, Francesco Roncalli, Grazia Semeraro, Paolo Sommella, Gianluca Tagliamonte, Marco Valenti

Direttore responsabile: Paola Moscati

Redazione: Claudio Barchesi, Francesca Buscemi, Letizia Ceccarelli, Sara Di Marcello, Alessandra Piergrossi, Irene Rossi

Policy and Guidelines: <http://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
<http://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

33.2

2022

All'Insegna del Giglio

Realizzazione grafica della sovracoperta di Marcello Bellisario
Rivista «Archeologia e Calcolatori» (ISSN 1120-6861, e-ISSN 2385-1953)
ISBN 978-88-9285-124-5, e-ISBN 978-88-9285-125-2
© 2022 – All’Insegna del Giglio s.a.s. – www.insegnadelgiglio.it
Sesto Fiorentino (FI), ottobre 2022
Stampa, MDF print

Abbonamento 2022: 2 volumi, 33.1 e 33.2, € 60,00.
Spedizione: Italia, gratuita; estero, a carico del destinatario.
<https://www.insegnadelgiglio.it/categoria-prodotto/abbonamenti/>

INDICE

VALERIA DELLA VALLE, PAOLA MOSCATI, <i>Tra terminologia e lessicologia: un “ponte” informatico nel percorso scientifico di Giovanni Adamo</i>	7
ALESSANDRO DI LUDOVICO, SERGIO CAMIZ, <i>Experimenting Generalized Procrustes Analysis on a corpus of scenes carved on Mesopotamian cylinder seals and encoded in a textual data set</i>	13
LORENZO CARDARELLI, ANNALISA LAPADULA, <i>Dimensionality reduction for data visualization and exploratory analysis of ceramic assemblages</i>	33
GIULIA IADICICCO, DAVID VICENZUTTO, SILVIA PALTINERI, <i>Cluster analysis, classificazione numerica e remote sensing. Metodi di analisi integrati applicati alla survey presso San Basilio di Ariano nel Polesine (RO)</i>	53
ÉLODIE GUILLON, <i>Modélisation spatiale au Proche-Orient phénicien à l'époque hellénistique (IV^e-I^{er} s. av. n. è.)</i>	77
STEFANO BERTOLDI, GABRIELE CASTIGLIA, ANGELO CASTRORAO BARBA, CRISTINA MENGHINI, <i>Soundscape and catchment analysis for a spatial geography of Medieval monastic estates in southeastern Tuscany (11th-12th centuries)</i>	95
JULIAN BOGDANI, <i>Archaeological documentation as a service. Archaeological Information Systems in the cloud era: the BraDypUS case-study</i>	115
F. GILOTTA, V. CARAFA, G. MORPURGO, C. RIZZO, A. CIRAFICI, A. AVELLA, P. ARGENZIANO, T. PATRIZIANO, M. MICOZZI, F. GALIFFA, L. LUCCHETTI, M. BENTZ, D. BECK, F. BIRKNER, C. BRIESACK, P. KLUGE, M. LANG, A. COEN, M. ZINNI, <i>Researches at the Monte Abatone necropolis (Cerveteri)</i>	135
SIMONA BOCCUTI, ANGELO FERRARI, GIANNI PINGUE, EMILIANO DI LUZIO, <i>Qanat, una tecnologia del passato, una risorsa per il futuro: riferimenti storici, aspetti socio-economici e repertorio tipologico</i>	153
ILARIA MICCOLI, <i>Applicazioni GIS e di remote sensing satellitare per la conoscenza e il monitoraggio dell'area urbana di Falerii Novi e del territorio circostante</i>	175
GIULIO POGGI, FABRIZIO FALCHI, LUISA RUSSO, MIRKO BUONO, <i>From surfaces to volume: towards a volumetric reconstruction of the archaeological deposit</i>	197
ELISA PAPERINI, FRANCESCA ANICHINI, GABRIELE GATTIGLIA, <i>“Field data collection app” e ricognizioni archeologiche: Geopaparazzi</i>	215
FEDERICA BOSCHI, <i>Archeologia funeraria e tecnologie digitali: la tomba del principe di Corinaldo dalla documentazione alla fruizione</i>	235

LUCREZIA UNGARO, VALERIA DI COLA, <i>Sculture dal Foro di Traiano: nuovi approcci metodologici</i>	255
GIULIANO DE FELICE, KATIA MANNINO, <i>I bronzi di Punta del Serrone (BR): dalla ricerca archeologica alla comunicazione multimediale</i>	279
ALAIN ARNAUDIÈS, <i>Le temple de Karnak et les publications numériques</i>	299
GABRIELE GATTIGLIA, <i>A postphenomenological perspective on digital and algorithmic archaeology</i>	319

Note e recensioni:

ArcheoNum “L’archéologie dans les Humanités Numériques” (Virginie Fromageot-Laniepce), p. 335; *Facebook e Twitter per «Archeologia e Calcolatori»* (Alessandra Caravale), p. 341; G. SCARDOZZI, *Il territorio di Hierapolis di Frigia. Guida archeologica, Istanbul, Ege Yayınları 2020* (Marcello Spanu), p. 345; A. CASTRORAO BARBA, *La fine delle ville romane in Italia tra Tarda Antichità e Alto Medioevo (III-VIII secolo)*, *Munera* 49, Bari, Edipuglia 2020 (Carla Sfameni), p. 348

TRA TERMINOLOGIA E LESSICOLOGIA: UN “PONTE” INFORMATICO NEL PERCORSO SCIENTIFICO DI GIOVANNI ADAMO

Nel passaggio dal XX al XXI secolo, Giovanni Adamo così definiva l'informatica umanistica in modo chiaro e incisivo: «l'informatica, considerata nel suo ruolo di “macchina argomentativa” più che dal punto di vista della tecnologia degli elaboratori, trae occasione per rivisitare le proprie radici logico-filosofiche e ottiene contributi determinanti per l'elaborazione di una teoria dei linguaggi; le materie umanistiche, giovandosi di strumenti logici e tecnologici potenti e precisi, ricevono stimolo e impulso per rendere coerenti e formali i loro metodi di indagine e di analisi. Da questa interazione si producono strumenti nuovi per la ricerca, che a loro volta sono in grado di determinare nuove conoscenze e risultati originali, così da elaborare ricadute autonome e, al tempo stesso, contributi destinati a rifluire nei due distinti domini d'origine» (ADAMO 2000a).

Nel percorso scientifico di Giovanni Adamo, la voce enciclopedica “Informatica umanistica” è un punto di arrivo di una serie di studi che risalgono agli inizi degli anni Ottanta del secolo scorso e si dipanano in diversi fili tra loro interconnessi in un arco temporale di quarant'anni, in cui l'informatica costituisce un elemento continuo di raccordo tra lessicologia e terminologia, o meglio tra innovazione lessicale e terminologie specialistiche (ADAMO 1999). A un anno dalla scomparsa del nostro Amico e Collega, abbiamo dunque pensato di dedicargli alcune pagine nella rivista «Archeologia e Calcolatori», per ricordare, attraverso gli scritti, alcuni tratti originali e innovativi delle sue ricerche e per proseguire quel dialogo quotidiano che nella nostra amichevole consuetudine egli ha saputo arricchire con arguzia e generosità rare.

1. L'INFORMATICA E IL TRATTAMENTO AUTOMATICO DEI TESTI

I lavori avviati già dagli anni Ottanta nell'ambito delle attività promosse in seno al Consiglio Nazionale delle Ricerche dal Centro di Studio, poi Istituto, per il Lessico Intellettuale Europeo, diretto da Tullio Gregory (ADAMO, VENEZIANI 1980, 1985) e all'Università La Sapienza di Roma dal Gruppo di ricerca interdisciplinare Informatica e Discipline Umanistiche fondato da Tito Orlandi (ADAMO 1987, 1989a), hanno consentito a Giovanni Adamo di soffermarsi criticamente sulla questione dell'edizione e dell'analisi informatica dei testi con la piena consapevolezza che «la loro rappresentazione in formato elettronico acquista non solo una valenza *dinamica* – in quanto svincola il testo dalla staticità della riproduzione a stampa – ma anche *multidimensionale*»

(ADAMO 1996a, 722). Lo strumento informatico, infatti, offre l'opportunità di elaborare ingenti quantitativi di dati, catalogare e comparare le informazioni in modo automatico, accedere rapidamente alle risorse, produrre indici e concordanze e presentare simultaneamente al lettore tutti i luoghi del testo in cui ricorre una determinata parola.

Come rilevato dallo studioso nell'intervento al Convegno organizzato dall'Accademia Nazionale dei Lincei e dall'IBM nel 1992 su *Calcolatori e Scienze Umane*, il trattamento di testi attraverso il calcolatore è una delle prime e più fortunate applicazioni in ambito umanistico (ADAMO 1992, 2000b). Questo dato quantitativo emerge anche con evidenza dall'indice dei soggetti che costituisce la parte critica della poderosa *Bibliografia di Informatica Umanistica* (ADAMO 1994), pubblicata per i tipi dell'Editore Bulzoni nella collana Informatica e Discipline Umanistiche.

Nel trattamento informatizzato dei dati testuali, la riproduzione del testo in *machine readable form* (ADAMO 1989b) richiede particolare attenzione, tanto che, per assicurare una corrispondenza tra i dati testuali e la loro versione elettronica, si affacciano concetti nuovi come quelli di codifica, rappresentazione, marcatura, modello. Il momento della codifica, dunque, assume un'importanza fondamentale per rendere l'informazione oggetto di trasmissione e di comunicazione, in «una sfida antica quanto la scrittura» (ADAMO 1996a, 732). Del resto, proprio in quegli anni è da inquadrare la diffusione dello Standard Generalized Markup Language (SGML), un metalinguaggio definito come standard ISO nel 1986, e l'avvio della Text Encoding Initiative (TEI), le cui linee guida per la codifica di materiali linguistici e letterari avrebbero avuto tanta fortuna ai fini sia della descrizione della struttura fisica e logica dei dati testuali, sia del trattamento e dello scambio delle informazioni, indipendentemente dagli strumenti hardware e software utilizzati.

Altro aspetto rilevante della produzione scientifica di Adamo è l'importanza che assume, in una prospettiva interdisciplinare, l'integrazione tra funzioni logiche e strumenti informatici. Questo aspetto caratterizzante dell'informatica umanistica, che riguarda il lato teorico della ricerca in grado di «trascendere o meglio di assicurare un adeguato fondamento anche alle implicazioni pratiche», è di stretta pertinenza degli studiosi umanisti e, come Adamo stesso prefigurava, costituisce «la sfida degli anni Novanta, forse decisiva per il passaggio dall'era della stampa a quella delle telecomunicazioni» (ADAMO 1992, 365).

2. L'INFORMATICA E LA TERMINOLOGIA SPECIALISTICA

Anche il filone di studi sulla terminologia tecnico-scientifica in lingua italiana s'intreccia con l'informatica applicata e se ne giova praticamente. Si tratta di un filone che ha caratterizzato il percorso scientifico di Giovanni

Adamo, anche grazie al suo diretto impegno, sin dalla fondazione nel 1991, nell’Associazione Italiana per la Terminologia (Ass.I.Term) di cui è stato presidente dal 1999 al 2004.

Nel 1996, in occasione del seminario *Réflexions méthodologiques sur le travail en terminologie et en terminotique dans les langues latines*, organizzato dalla Rete panlatina di terminologia (Realiter), Giovanni Adamo ha dedicato il suo intervento a *La terminologia tecnico-scientifica in lingua italiana. Alcune osservazioni sulla terminologia dell’informatica* (ADAMO 1996b), con il seguente incipit: «I termini, come i concetti e gli oggetti che essi designano, contengono spesso richiami, allusioni, rinvii ad altri termini, poiché esprimono e rappresentano il flusso del sapere e la continua conquista della scienza».

In un mondo caratterizzato dall’ampio e vorticoso processo di globalizzazione, che, oltre al sapere scientifico, coinvolge l’informazione e ogni forma di comunicazione, egli sceglie proprio il settore scientifico dell’informatica, in costante espansione, per delineare un quadro di riferimento dei problemi con i quali la terminologia italiana era chiamata a confrontarsi. In questo settore, in cui in quegli anni si riscontrava un rapporto particolarmente difficile fra la terminologia ufficiale, attestata nelle pubblicazioni scientifiche o nei manuali specialistici, e il gergo parlato nei centri di sviluppo del software e di elaborazione dei dati, la terminologia in lingua italiana risultava spesso guardinga, tendendo a preferire il prestito più che il conio di nuovi termini.

Tra gli esempi citati da Adamo ricordiamo: *hacker* (“pirata informatico”, da cui deriva anche la formazione di *hackeraggio*, “pirateria informatica”), *firmware* (“software residente nel sistema”) e *provider* (anche *service provider* o *Internet provider*, “fornitore di connessione Internet”). In altri casi, invece, si registrava l’adozione dell’equivalente letterale: *window*, *call* e *network*, resi rispettivamente con *finestra*, *chiamata* e *rete*, sembravano rispondere al favore generale, forse proprio come elemento di distinzione dalla loro presenza in specifici sistemi operativi e in molti programmi applicativi. Come caso singolare, invece, Adamo citava il termine *directory*, che nonostante i possibili equivalenti in *catalogo*, *guida* e *indice*, si era imposto nell’uso come prestito integrale di genere femminile. Fino agli inizi degli anni Ottanta, inoltre, i prestiti conservavano la marca del plurale (*bits*, *files*, *drives*, *floppy disks*), per poi eliminarla gradualmente nel volgere di poco tempo.

Come fenomeno generale, la terminologia inglese dell’informatica veniva “italianizzata”, soprattutto nel linguaggio parlato, attraverso il meccanismo della suffissazione e con una sorta di “eclettismo” che aveva generato casi di disordine linguistico da non sottovalutare. Le forme più diffuse risultavano costruite con i suffissi di uso più frequente nella lingua italiana: *-are* e *-izzare* per le forme verbali (*clickare*, *settare*, *resettare*, *digitalizzare*, *scannerizzare*); *-aggio* e *-izzazione* per quelle nominali (*settaggio*, *inizializzazione*); *-abile* e *-izzabile* per le forme aggettivali (*formattabile*, *randomizzabile*).

Questi sono solo alcuni spunti di un'attività terminologica più ampia che, secondo Adamo, doveva considerare un termine come l'espressione del patrimonio genetico di quelli che l'avevano preceduto e, insieme, la rappresentazione *in nuce* di innumerevoli designazioni che da esso avrebbero potuto avere origine, fino a costituire un disegno complesso nel quale «ogni punto raccoglie l'eredità culturale del passato e assume funzione prodromica nei confronti dei tratti successivi» (ADAMO 1996b, 59).

3. L'INFORMATICA E I NEOLOGISMI

Giovanni Adamo ha dedicato la sua vita di ricerca allo studio del lessico e della terminologia, concentrandosi sull'interazione tra l'informatica e i vari settori delle discipline umanistiche, con particolare riguardo ai principi e ai metodi di applicazione. Proprio la lunga familiarità con questo tipo di ricerca gli aveva fatto sentire la necessità di un'estensione delle sue analisi allo studio delle formazioni neologiche, ma sempre privilegiando la documentazione informatica. Dopo il 2000 Giovanni Adamo, oltre alla pubblicazione di numerosi saggi e articoli sulle questioni teoriche, aveva realizzato quattro dizionari di neologismi raccolti e documentati traendoli dalla stampa quotidiana (ADAMO, DELLA VALLE 2003a, 2005, 2008, 2018), e soprattutto aveva allestito e diretto una banca dati, l'Onli (Osservatorio neologico della lingua italiana), oggi consultabile online (<https://www.iliesi.cnr.it/ONLI/>). In questo ambito aveva continuato a tenere sotto costante osservazione gli elementi formanti più produttivi nella creazione di termini legati all'informatica e all'informazione in generale (ADAMO, DELLA VALLE 2019).

Questa sua costante attenzione per la formazione della terminologia dei nuovi saperi è documentata attraverso molti esempi registrati nei dizionari da lui diretti. A cominciare dal prefisso *archo-*, per il quale notava, nel 2008, che «al valore originario di “antico, primordiale, primitivo” si aggiunge quello di “archeologico, dell'archeologia” (*archocondono, archeometallurgia, archo-parco*)». La stessa attenzione veniva riservata a *net-*, altro prefisso in ascesa, per il quale notava «dall'inglese *net* (“rete”), costituisce il secondo elemento del nome proprio Internet, la rete telematica per eccellenza; sembra avviato ad assumere la funzione di un vero e proprio confisso con il valore di “relativo a Internet, alla rete telematica” (*net-artista, netazienda, netdipendente*). La continuità del monitoraggio su questi elementi formanti è testimoniata fin dal 2003 a proposito del prefisso più recente *web* «per certi aspetti meno consueto e semanticamente più opaco per il parlante italiano. Si potrebbe quasi ipotizzare che *web* assuma la funzione di un prefissoide o, come preferisce Tullio De Mauro nel Gradit, di un “confisso”, del quale sembra perdersi l'autonoma funzione sintattica, rimanendo un generico significato connesso con Internet» (ADAMO, DELLA VALLE 2003b, 92-93).

Nel 2019 Giovanni Adamo pubblicò il volumetto *Parole nuove*, il suo ultimo lavoro, nel quale raccolse e divulgò l’esperienza ventennale di studio e ricerca fatta sui neologismi e sulla loro formazione. Anche in quest’opera Adamo si soffermava sui prefissi più produttivi nel campo dell’informazione, segnalando «le serie di parole nuove modellate su elementi compositivi ricorrenti»: tra queste Adamo citava i nuovi confissi *e-*, *cyber-* e *web-* (ADAMO 2019, 116-117).

Vale la pena di riportare una sua considerazione proprio a proposito dei cambiamenti registrati: «Fino ad anni recenti si aveva l’impressione che i forestierismi introdotti e veicolati dai giornali risultassero più appariscenti e numerosi rispetto alla loro reale circolazione nella lingua di uso quotidiano e questo costituiva un elemento rassicurante relativamente ai timori di un’invasione massiccia e deformante sia del lessico italiano, sia delle strutture proprie della lingua. Oggi, occorre prendere atto dell’amplificazione dei canali attraverso cui circola l’informazione. [...] Al punto che si può sostenere che questa molteplicità di canali informativi che si rispecchiano reciprocamente abbia finito per dar vita a una vera e propria “informazione sociale”, con ricadute rilevanti nella diffusione di forestierismi anche nella lingua parlata da strati sociali sempre più ampi».

Osservazioni lungimiranti, preziose per i linguisti, per i lessicografi e per tutti gli studiosi impegnati sul fronte dei linguaggi dell’informatica applicata alle varie discipline, tanto da poter assistere, senza stupore, alla diffusione nel corso dell’ultimo decennio di una nuova denominazione della stessa disciplina di riferimento, che da informatica umanistica si è oggi affermata, anche in ambito accademico, come umanistica digitale.

VALERIA DELLA VALLE

Sapienza Università di Roma

valeria.dellavalle@fondazione.uniroma1.it

PAOLA MOSCATI

Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR

paola.moscatti@cnr.it

BIBLIOGRAFIA

- ADAMO G., VENEZIANI M. 1980, *Progetto di lemmario automatico latino per il Lessico del linguaggio filosofico dei secoli XVII e XVIII*, in *Convegno Nazionale sui lessici tecnici del Sei e Settecento. Contributi. I*, Pisa, Scuola Normale Superiore, 183-194.
- ADAMO G., VENEZIANI M. 1985, *Il calcolatore nella redazione del Lessico filosofico dei secoli XVII e XVIII*, in *Lexicon philosophicum*. Quaderni di terminologia filosofica e storia delle idee, 1, Roma, Edizioni dell’Ateneo, 1-6.
- ADAMO G. 1985, *Machine readable representation of philosophical texts*, in *International Workshop on the Creation, Linkage and Usage of Large-Scale Interdisciplinary Sourcebanks in the Historical Disciplines. Material*, Göttingen, Max-Planck-Institut für Geschichte, 125-138.

- ADAMO G. 1987, *La codifica come rappresentazione. Trasmissione e trattamento dell'informazione nell'elaborazione automatica di dati in ambito umanistico*, in G. GIGLIOZZI (ed.), *Studi di codifica e trattamento automatico di testi*, Roma, Bulzoni Editore, 39-63.
- ADAMO G. (ed.) 1989a, *Trattamento, edizione e stampa di testi con il calcolatore*, Roma, Bulzoni Editore.
- ADAMO G. 1989b, *Machine readable representation of philosophical texts*, in M. THALLER, A. MÜLLER (eds.), *Computer in den Geisteswissenschaften*, Frankfurt-New York, 81-85.
- ADAMO G. 1992, *Analisi informatica di testi: problemi e prospettive*, in Fondazione IBM Italia, *Calcolatori e Scienze Umane. Archeologia e Arte, Storia e Scienze Giuridiche e Sociali, Linguistica, Letteratura*, Milano, Etas Libri, 350-365.
- ADAMO G. 1993, *Considerazioni sulla terminologia informatica*, in A. LAMARRA, L. PROCESI (eds.), *Lexicon philosophicum. Quaderni di terminologia filosofica e storia delle idee*, 6, Firenze, Leo S. Olschki, 1-5.
- ADAMO G. 1996a, *Edizione e analisi informatica di testi: standard internazionali per la codifica di dati testuali*, in P. MOSCATI (ed.), *III Convegno Internazionale di Archeologia e Informatica. III International Symposium on Computing and Archaeology (Roma 1996)*, «Archeologia e Calcolatori», 7, 721-734 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF7/57_Adamo.pdf).
- ADAMO G. 1996b, *La terminologia tecnico-scientifica in lingua italiana. Alcune osservazioni sulla terminologia dell'informatica*, in H. ZINGLÉ (ed.), *Réflexions méthodologiques sur le travail en terminologie et en terminotique dans les langues latines. Séminaire Realiter (Nice 1996)*, Nice, Université Nice-Sophia Antipolis, 59-68.
- ADAMO G. 1999, *Tra lessicologia e terminologia*, in A. LAMARRA, R. PALAIA (eds.), *Lexicon philosophicum. Quaderni di terminologia filosofica e storia delle idee*, 10, Firenze, Leo S. Olschki, 1-17.
- ADAMO G. 2000a, *Informatica umanistica*, in *Enciclopedia italiana di scienze, lettere ed arti. Appendice 2000*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, vol. I, 917-919 (https://www.treccani.it/enciclopedia/informatica-umanistica_%28Enciclopedia-Italiana%29/).
- ADAMO G. 2000b, *Busa, Roberto*, in *Enciclopedia italiana di scienze, lettere ed arti. Appendice 2000*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, vol. I, 260 (https://www.treccani.it/enciclopedia/roberto-busa_%28Enciclopedia-Italiana%29/).
- ADAMO G., DELLA VALLE V. 2003a, *L'Osservatorio neologico della lingua italiana: linee di tendenza nell'innovazione lessicale dell'italiano contemporaneo*, in G. ADAMO, V. DELLA VALLE (eds.), *Innovazione lessicale e terminologie specialistiche*, Roma, Leo S. Olschki, 92-93.
- ADAMO G., DELLA VALLE V. 2003b, *Neologismi quotidiani. Un dizionario a cavallo del millennio (1998-2003)*, Lessico Intellettuale Europeo, 95, Firenze, Leo S. Olschki Editore.
- ADAMO G., DELLA VALLE V. 2005, *2006 parole nuove. Un dizionario di neologismi dai giornali*, Milano, Sperling & Kupfer.
- ADAMO G., DELLA VALLE V. (eds.) 2008, *Il Vocabolario Treccani. Neologismi. Parole nuove dai giornali*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana.
- ADAMO G., DELLA VALLE V. (eds.) 2018, *Il Vocabolario Treccani. Neologismi. Parole nuove dai giornali 2008-2018*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana.
- ADAMO G., DELLA VALLE V. 2019, *Osservatorio Neologico della Lingua Italiana. Lessico e parole nuove dell'italiano*, ILIESI digitale. Temi e strumenti, 1 (<https://doi.org/10.26335/iliesi-ts.01>).
- ADAMO G. 2019, *Parole nuove*, Le parole dell'italiano, 5, Milano, Corriere della Sera.

EXPERIMENTING GENERALIZED PROCRUSTES ANALYSIS ON A CORPUS OF SCENES CARVED ON MESOPOTAMIAN CYLINDER SEALS AND ENCODED IN A TEXTUAL DATA SET

1. INTRODUCTION

In a recent paper, the Procrustes Analysis was carried out on the results of Correspondence Analyses (CA) applied on presentation scenes carved on late third and early second millennium BCE cylinder seals. In particular, the influence of rare lexical forms to the extracted factors (DI LUDOVICO, CAMIZ 2020) was investigated, by progressively withdrawing them and comparing the resulting CAs. This was a further attempt to improve the study of the iconographical structure of images through a formalized textual coding (CAMIZ, ROVA 1996, 2001; CAMIZ 2004). The idea of using textual coding in iconographic studies is relevant, since a text may describe an image in a much better detail than the usual coding of iconographic elements and their attributes: this, on condition that all coding ambiguities be avoided.

Indeed, the classical coding may not take into account the relations among elements, unless explicitly coded aside. The method has advantages with respect to the pattern recognition too, because uncontrolled differences due only to the drawing/carving style are prevented. In addition, from this coding the presence/absence of selected items may be easily identified, by simply extracting the corresponding keywords: e.g., a different animal, the different positions of an individual's arms, or a kind of seat, as well as extended to include recurring iconographic substructures, such as *goddess sitting on a bench with her right arm held forward and her left one kept at her waist*. It is our opinion that textual coding, with its ability to easily be transformed, might be taken as a reference for the coding of archaeological findings (CAMIZ 2004).

Still very current and helpful are the pioneering methodological observations and critical thoughts developed by GARDIN (1958, 1966, 1967; see also DI LUDOVICO, CAMIZ 2015a, 29-30) about the textual coding for the quantitative investigation of archaeological artefacts. Yet, the method's use is difficult, mainly depending on the very high number of forms that usually are arranged in a sparse contingency table: this gets critical the statistical tests for significance, hence the correct dimensions to take into account: moreover, the interpretation of the extracted factors may be difficult, sometimes only outlining groups of forms and corresponding groups of items where such forms appear. Indeed, as the method belongs to the exploratory multidimensional analysis framework, it must be considered an investigation tool rather than a statistical method to identify once and for all a data table characteristics: therefore, these drawbacks are not so

relevant. Nevertheless, new interpretation aids may ease the researcher's work. It is with this purpose that we present here the results of an exploration carried out on the same corpus and the same methods of DI LUDOVICO and CAMIZ (2020). This time, instead of the forms, Generalized Procrustes Analysis (GPA) is used to select the *repeated segments* extracted from the corpus.

2. TEXTUAL CORRESPONDENCE ANALYSIS AND PROCRUSTES ANALYSIS

Textual Correspondence Analysis (TCA: LEBART, SALEM 1994) is the basic exploratory tool for textual analysis, since it may show the pattern of the studied objects, corresponding to the texts, pattern based on the structure of association of the textual forms, as revealed in hierarchical order of relevance. Associated to TCA is often a classification of the objects, based either directly on the texts or on the factors deemed relevant by the study. The interpretation of the classes thus formed is subsequently developed, usually by identifying the *characteristic forms* of the classes, i.e., the lexical forms whose frequencies in a class are significantly higher or lower with respect to those in the whole corpus. Indeed, they may address to particular features common to the majority of the objects of the class. Therefore, such a procedure – also called *tandem analysis* – is not particularly different from the same applied to other kind of data, unless for the statistics involved for the characteristic forms.

On the opposite, it is relevant the availability of computer programs able to build the basic data table, necessary to deal with all the manipulations needed prior the analysis, which require specific tools to be handled properly. Among them, the possibility of collecting the so-called *repeated segments* raised our interest, given the connection with some iconographic structures, that are repeated within the corpus at hand. Indeed, to describe them properly, a formal sentence, i.e., a sequence of forms, is needed, which is supposed to repeat identically throughout the corpus. This might correspond to some repeated segments, which are built automatically by a computer program by aggregating progressively adjacent forms, until the resulting segments are repeated or – if so instructed – a punctuation sign occurs. This process issues a very large number of repeated segments, only some of them having a complete meaning – i.e., fully describing an iconographic substructure – whereas most may suggest some kind of common substructure developing toward progressively enlarging ones.

While the exploration of a text through the forms is cumbersome, given the high number of forms involved in a corpus, even worse is its study through repeated segments: first, because they are much more and fill quickly the graphical space of representation; second, because one must follow the progressive extension with new forms sometimes in different directions; third, because the contingency table built on them is even more sparse than that built on the forms and may not carry statistically relevant information. The use of repeated

segments in archaeology was already attempted on a different corpus of seals images (CAMIZ, ROVA 2001) and the interpretation problems rose quickly. Eventually an attempt to deal with *quasi-segments* (carried out with Monique Bécue, unpublished), i.e., repeated segments with one or two different inner forms, did not succeed: in fact, a too high number of items resulted to deal with a very scarce significance of the built table. Therefore, we believe that a study addressing the selection of both the forms and the repeated segments to submit to TCA, once solved, could ease studies otherwise too difficult to face.

The Procrustes Analysis (PA: GOWER 1975; GOWER, DIJKSTERHUIS 2004) aims to identify the best linear transformation of a data set into another, based on the same units, minimizing the sum of squared distances between the units in the two representations. Associated statistics measure the quality of the adjustment. Applied to analyses of factor kind, it allows a direct comparison of the clouds of points represented in the corresponding factor spaces. The GPA extends the quest to a multiple data set, providing a *compromise* representation of the different clouds in a common representation space.

Thus, our idea is to use PA to ascertain how the withdrawal of some percentage of rare elements – which usually highly affect the identification of the factors, let them be either form or repeated segments – influences the analysis. In other words, we are trying to understand to what extent the table may be reduced without losing relevant information and consequently changing the interpretation of the factors. For this task, we took into account the contingency tables crossing the seals geographic origin with either forms or repeated segments. Then, we withdrew progressively some percentage of rare items and applied the same TCA. Eventually, through PA, we examined the change that occurs on the factors' significance and possible interpretation and the reciprocal position of the considered items while the tables were reduced.

3. THE STUDIED CORPUS

Preliminary to this work are the important experiences in the quantitative study of Mesopotamian glyptics carried out by Sergio Camiz and Elena Rova (CAMIZ, ROVA 1991). As far as presentation scenes are concerned, the first actual quantitative experiment has been carried out on a relatively large corpus with the use of algorithms referable to the category of Artificial Neural Networks (DI LUDOVICO, RAMAZZOTTI 2008). The corpus at hand here corresponds to that used in the previous paper (DI LUDOVICO, CAMIZ 2020): it is made up of 354 specimens, attested on both original impressions and seals, which belong to the category of *presentations*. This is a general subject – not always clearly defined – attested in lower Mesopotamian glyptic from the late Early Dynastic period (DI LUDOVICO 2005, 60-61). A presentation may be shortly defined as a scene showing a receiving anthropomorphic

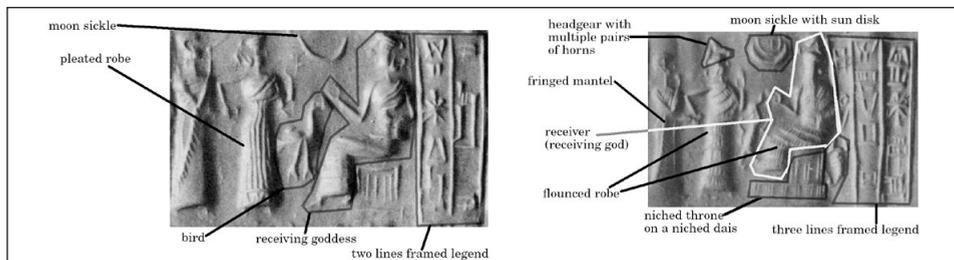


Fig. 1 – Two presentation scenes engraved on Third Dynasty (Ur III) seals, with indication of the most relevant features.

figure, facing one or several characters: within this period, the former is usually a deity, a royal, or another human figure of authority, whereas the characters have either human or divine nature. A seemingly neutral space on the cylinder's surface often hosts a short inscription, usually called *legend* in literature, while in other free parts of the surface various symbols, animals, objects, and other elements, called *integrating motifs* (DI LUDOVICO 2005, 60-68), can find place. In Fig. 1 are represented two presentation scenes from seals kept at the British Museum (COLLON 1982, n. 92, 137), showing two figures presenting to a sitting receiver, with integrating motifs and a legend on the right, together with the indication of some typical features.

The presentation scenes considered in this paper date back to a historical age largely corresponding to the Third Dynasty (usually called Ur III) period, which followed the late Early Dynastic for few centuries. In that period, this theme tended to become homogeneous and to follow stable compositional schemes. Strong clues (COLLON 1982, 129) suggest that it became the main theme of official glyptic and acquired an increasing importance for the state administration and its officials, because of the symbolic implications of its iconographies and compositions (WINTER 1986, 1987). Then, after the end of Ur III period, the presentation scenes became progressively scarce (HAUSSPERGER 1991).

The textual corpus has been created by describing in full detail the images, starting from the area of the field which is most distant from the *receiving* figure, namely the figure that is always clearly recognizable in the scene, and ending with the neutral part of the field which usually hosts the legend (in former works this area was called *origin of the scene*). This was done through a formalized text composed of minimal entities called *forms*, each one representing an element (such as a *man*, a *deity*, a *lion*, a *bench*), an element attribute (*with_long_hair*, *with_open_arms*, *holding_a_cup*), a feature of the body posture (*holding_a_hand_at_waist*, *standing*, *kneeling*) or a relation with another element (*on*, as in *sitting_on_a_bench*, *placing_the_right_foot_on_a_dais*).

Such a code may be easily used for several purposes: i) identify either the presence/absence or the frequency of a selection of elements, attributes, relations, to analyse through classical methods, such as Multiple Correspondence Analysis; ii) use the text as it is and study it through TCA of forms, this way giving relevance to all forms composing the text, unless previously selected; iii) extract the repeated segments/quasi-segments and apply TCA to them, a way to broaden the study to the substructures; and iv) the restriction to the connections between forms/segments, as resulting from the text *skeleton*, obtained by synthesizing all the elements of the same kind (*main person standing, secondary person on object, man in front of a deity*) to study the kind of relations between elements, substructures, and attributes (CAMIZ, ROVA, TULLI 1998).

An essential feature of textual coding is the strict rule to follow to describe an image (top to bottom, left to right, etc.) and its unambiguity: only one term is allowed, neither conjugated nor declined, to mean a given item, attribute, action, or relation. This results in a 1-1 correspondence between iconographic elements and describing forms. The repeated segments have been created automatically by a program, in two ways: i) only limiting their increase to 20 forms, and ii) stopping their increase should a punctuation mark occur.

The quoted previous work on this corpus (DI LUDOVICO, CAMIZ 2020) focused on the search for the most suitable reduction of the least frequent forms that did not affect excessively the factors' interpretation and avoided their disproportionate influence on the results. It resulted that the corpus of scenes under analysis is too much homogeneous to avoid, after the first cuts, a huge loss of data that are of basic importance to distinguish the groups of scenes. A 5% reduction of the tokens (from 100% to 95%, cutting the less frequent relevant forms) involves already a meaningful loss of features which allowed distinguishing classes and sub-classes of scenes. Further reductions of the data-set imply a too huge loss of information. Now the same experimentation is applied to the repeated segments of the same corpus: once again, to simplify the study, we focused on the sites of origin of the seals, although also their relative chronological frame was taken into account, this time crossed with the segments. The reason for this choice derives from the results of the quoted experiment on the forms, which showed a very weak factor in relation to the chronological sub-periods and their very limited explaining role (DI LUDOVICO, CAMIZ 2020, 29). Within this frame, in order to have more explicit results, the interpretation of the analyses focused mainly on the scenes having a known geographic origin. Thus, the total amount of scenes on which the attention has been specifically focused is 212. Of them, 75 come from Umma, 45 from Ur, 43 from Telloh, 27 from Susa, 11 from North-Bab, 6 from South and 5 from North-East.

The textual analyses have been carried out through SPAD.T program (LEBART, SALEM 1994); the Procrustes analysis through the FactoMineR package (LÊ, JOSSE, HUSSON 2008) of R environment (R CORE TEAM 2017).

4. TABLES ORGANIZATION

The quantitative experiments carried out in the past on this corpus of presentation scenes gave results which stressed the contribution that the gender of the characters acquires in the scene, affecting deeply its interpretation. Male and female characters and their typical attributes were clearly opposed to each other, when they play similar roles in the scene, since they were basically opposed toward the two ends of the first factor (DI LUDOVICO, CAMIZ, PIERI 2013, 497; DI LUDOVICO, CAMIZ 2014, 15-29; 2015b, 490-491). Another remarkable opposition which emerged along both first two factors is that between the features typical of scenes subject to secondary work interventions and the traits related to the presence of a male human (royal or similar) receiver. The elements more easily detectable on the original seal impressions (i.e., belonging to seals still clearly active in the administration) were placed in the resulting graphics in a position similar to that of the latter (that is, related to the male human receiver).

In the previous analyses, as in the case of the forms, the results concerning the repeated segments presented many low-frequency features that could bias the interpretation. Therefore, we progressively reduced the corpus of segments, removing the least frequent, this way obtaining a series of contingency tables, all crossing the set of sites of origin with a progressively reduced number of the lowest frequency segments. The PA was then applied both pairwise to the adjacent tables of the sequence, to examine their similarity and globally to get a general image of the variation. Indeed, the main target was to identify which table could provide most of the interpretable information with the minimum number of segments, that is try to identify which segments could be considered as informative and which simply noise.

The original segments contained in the data table – 934 – were reduced to 875, once the 59 hapax forms had been withdrawn. Then, eight subsequent tables have been built progressively: the first by reducing 5% of occurrences each, and the last two by withdrawing 10%. These last larger reductions were done to cope with the small number of remaining segments: indeed, a 5% reduction would have changed too little the table structure. To choose among encapsulated segments – that is, one a prolongation of the other – we preferred the longest if it carried actual further information, otherwise the most frequent. As a consequence, starting from the complete table, while the progressive reduction of the total occurrences of the segments was regular, in each reduced table a small, irregular, amount of segments was withdrawn too. To these tables, a tenth was added, where only segments especially expressive of meaningful iconographic parts of the scenes and/or related to specific toponyms were selected. This table contains a relatively high number of segments, corresponding to around 93.5% of the total occurrences. In Tab. 1, the percentage of occurrences and the number of different segments of each table are reported.

5. RESULTS

Just like in the quoted analysis on the forms, here a great change is observed passing from 100% to 95% analysis. Comparing the figures corresponding to those of that analysis, the relative differences in the number of remaining segments are smaller. Following the 80% cut, the relative tendency of the number of persisting segments parallels that of the forms. This seems to confirm the strong inner homogeneity and consistency of the whole data set, since a (comparatively) large number of segments is an evidence of the homogeneous compositional structure of the records. Indeed, the number and significance of the dimensions – represented by the axes of the graphics – reduces dramatically after the first reductions (Tab. 1). The manual selection, essentially based on qualitative features, has been conceived as a compromise between the representativeness of the retained segments and the table expressiveness: the analysis results showed the information more spread through the factors, but one may wonder to what extent this dispersion may depend on the high number of zeros in the table.

Indeed, looking at the pattern of the segments on the factorial planes, one may notice that while the number of involved segments decreases, their spreading reduces to a more compact representation. This might depend on the progressive reduction of rare segments typical of only one site that spread according to the sites positions.

Table	Percentage of occurrences	Number of occurrences	Number of different segments	Number of meaningful axes	Main contribution to the formation of the first axis (first two toponyms)
1	100%	24727	875	4	Umma (57.8%), Telloh (9.2%)
2	95%	23492	338	3	Umma (58.5%), Telloh (9.4%)
3	90%	22441	231	2	Umma (58.2%), Telloh (9.2%)
4	85%	21067	159	2	Umma (57.8%), Telloh (8%)
5	80%	19795	169	1	Umma (53.1%), Telloh (11.3%)
6	75%	18562	98	1	Umma (54.8%), Telloh (6.8%)
7	70%	17489	82	1	Umma (56.4%), Telloh (6.8%)
8	60%	16107	58	1 (weak)	Umma (51.2%), Telloh (7.5%)
9	50%	13540	43	1 (very weak)	Umma (44.7%), Telloh (9.7%)
10	~93.5% (manual selection)	23109	509	5	Umma (49.9%), Telloh (25.6%)

Tab. 1 – Percentage, number of occurrences and number of different segments for each of the contingency tables crossing site origin with repeated segments built from the first through progressive reduction.

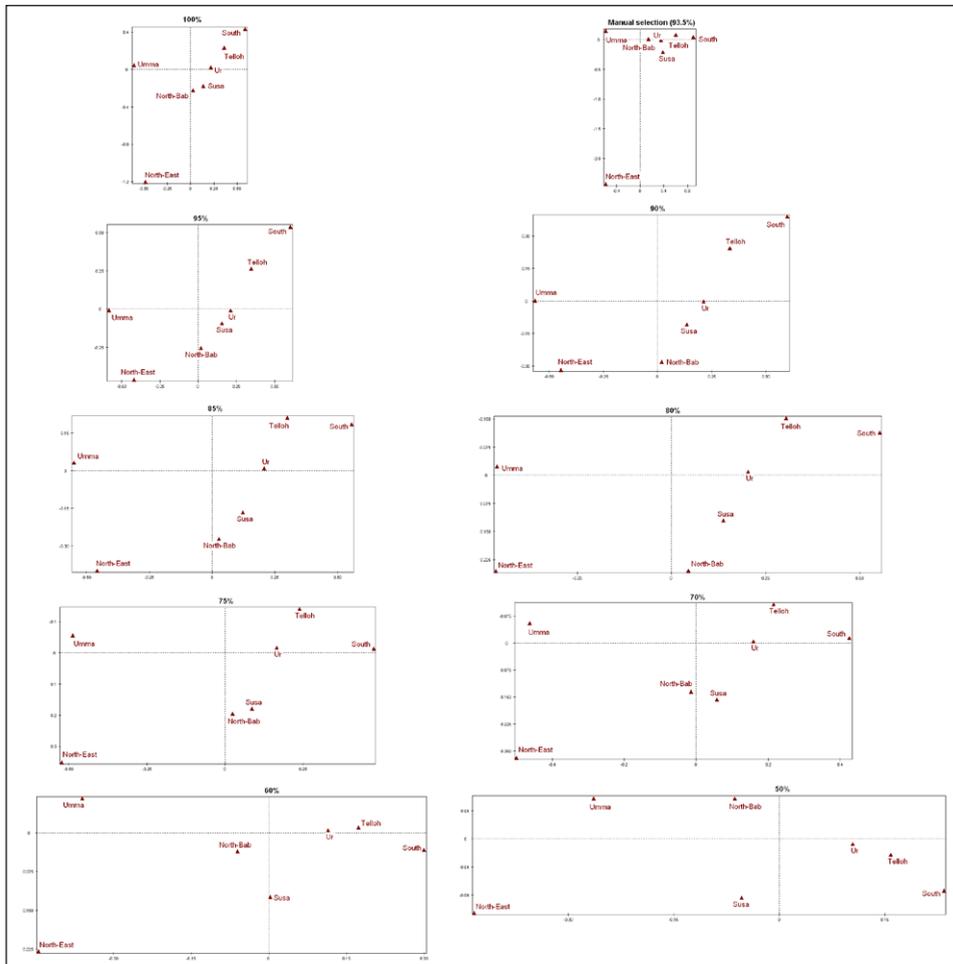


Fig. 2 – Representation of the geographic origins on the first factor planes issued from the TCA of the progressively reduced data sets.

In Fig. 2 the sites of origin are represented on the planes spanned by the first two factors issued by the ten TCAs carried out on the progressively reduced data sets. Considering the first axes, the opposition of both toponyms, Umma and Telloh, along them keeps about the same in all analyses, albeit much more evident in that of the full table, progressively decreasing its evidence as the data set is reduced. Therefore, the meaning of this axis keeps the same in all analyses, with minor changes, like the position of other toponyms associated to the quoted, respectively: North-East close to Umma and South and Ur,

close to Telloh. Note the higher contribution of North-East to the second axis (90.2%) together with some segments nearly exclusive, like those referring to specific *male receivers with niched throne* or to a *goddess*. The position and the weight of Umma in the graphics is remarkable, especially with reference to the first axis: this toponym, placed at its negative extreme, mainly opposed to Telloh, South and Ur, gives a crucial contribution to the formation of the axis. Analogous results are issued by the analysis of the manually selected corpus: here, on the first axis Umma – its main contributor – is opposed to Telloh and South. North-East is very close to Umma on the first axis, but it seems better explained by the second one, almost exclusively (90.2%) based on this toponym and on some segments, distributed in analogous position and less related to the other toponyms: e.g., segments referring to specific *male receivers with niched throne* or to a *goddess* represented in particularly small size. The latter, visible in few presentation scenes, is difficult to interpret: it may either represent a *tiny goddess* – whose meaning is unknown – or result of a further inclusion in a composition, where the little space had been a constraint.

Considering the manual selection analysis, the same opposition occurs on the first axis, but with a larger contribution of Telloh too: this is the only analysis where both Telloh and its associated segments play a more relevant role. Note also the high number of significant dimensions, 5, compared to the 4 of the full table and the 3 and less of the reduced ones: this may mean that a *reasoned selection* implied an *a priori* identification of both forms and segments discriminating among toponyms, hence better associated to dimensions that become more relevant. On the opposite, the reduction of segments consequently reduces the relevance of the dimensions following the first: indeed a sign of loss of information, once ascertained their importance in the larger tables. As for the position of the segments in this analysis, main contributions come from segments referring to the presence of a *female divine receiver with a double-curl hairstyle and a headgear showing a single pair of horns*, on the positive side, as Telloh is, and to a *bearded male god as receiver*, on the negative side where Umma is situated. Indeed, other segments give an important contribution to the axis, still expression of the presence of female deities and further attributes of the male receiver, respectively. Such opposition had been already observed in other analyses and experiments (DI LUDOVICO, CAMIZ 2014, 14-18; DI LUDOVICO 2018, 99-104), not mainly related to the gender, but rather referred to certain types of presentation scenes. So, these with female divine receivers are the standard and earlier scenes opposed to those with male god: these were probably developed later and had a longer official administrative use, because they are especially attested from original seal impressions on administrative documents. This is further confirmed by the coordinates on the same axis of other segments: on the negative side, describing either the goddess with the headgear with multiple pairs of horns

or the male receiver with royal attributes; and on the positive side describing a goddess or a woman with the plain robe.

The second axis of this analysis is mainly structured by North-East and its main features, which are typical of the more recent – or very late – official scenes depicting male receivers. What emerges from the first two axes is also that the scenes corresponding to a stable official use include integrating motives, albeit in low quantity, and mostly composed of animals like *lion* or *long legged bird*. The third axis appears defined by the opposition between Susa on the positive side and Telloh on the negative one: both are related to many features typical of the earlier phases, albeit Susa shows some peculiarities, like presence of *characters wearing plain garments*, *men having the simple hairstyle*, or *men and goddesses wearing skirts*, that may have a regional origin. On the fourth axis, a similar opposition between Susa on the positive side and both North-East and Ur on the negative one results: this seems due to the opposition between *original impressions* and *presentations before a male figure*. Note also that North-East seems related to features appearing in later scenes, like the presence of a *little monkey* in the field. This is further evident in the structure of the fifth axis, where Ur and North-East are clearly opposed because of the opposition between original impressions and presentations before a male figure, both contributing meaningfully to the formation of the axis.

The analysis carried out on 95% of the forms gives the same results for the first three axes – the only truly meaningful here – of the manual selection: here, the prevailing segments are shorter, thus not as rich in information as the others. Moreover, the weight of North-East is not as evident in the formation of an axis. The analyses on the further reduced corpora produced results that may be interpreted the same way, but this thanks to the comparison with

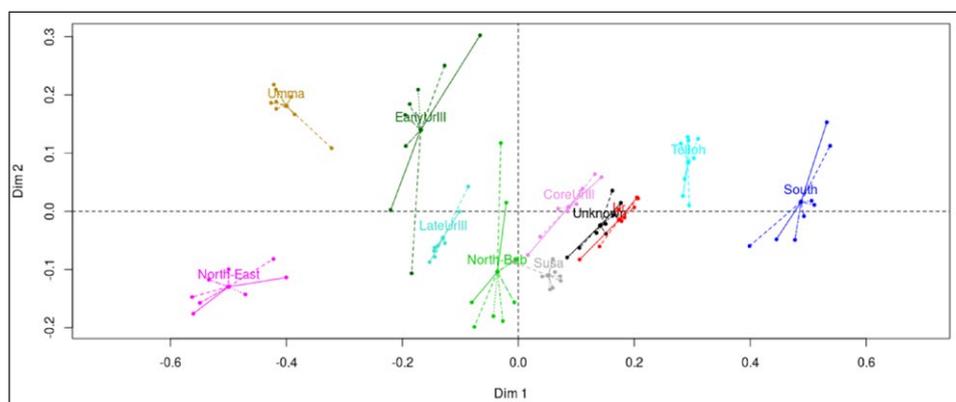


Fig. 3 – Generalized Procrustes Analysis results. Positions of the sites on the first factorial planes, as resulting from the original TCAs, on the plane of issued common representation.

those already interpreted of both the whole and the manually reduced tables. Without them, the analyses would be most difficult to interpret, since the segments most contributing to the meaningful axes tend to become shorter while reducing the table, thus less informative. As an example, in the case of the tables with less than 70% the main contributions to the axes come from very general segments only indicating that the figures in the scene have some personal attributes. In these cases it is also difficult to recognize features opposed to each other along the axes.

In Fig. 3 the sites positions on the first factorial planes of each TCA are represented on a common plane around their compromise position, as issued by GPA. It is evident the major importance of the first dimension, given that the second one shows a minimum variation.

6. CHARACTERISTIC SEGMENTS OF THE SITES

In order to identify the *characteristic segments* associated to each toponym, a first session of analyses has been carried out by selecting the segments corresponding to complete substructures only. This was done by keeping in the coding the brackets isolating them, since the segments may not exceed the brackets. A second session followed, this time without brackets, thus allowing substructures incomplete. The latter results proved clearer and better interpretable. Therefore, it seems that longer segments spanning beyond substructures limits may result more informative: indeed, an unexpected result.

In Tab. 2 the amount of characteristic segments, both significantly present and absent in a site, are reported for the nine progressively reducing corpora. The figures show the progressive reduction in their number, while reducing the tables. This becomes dramatic in the last three reductions. Indeed, considering the quality and the degree of expressiveness of the characteristic segments, two meaningful reduction steps emerge: one corresponding to the reduction from 90% to 85% and one from 75% to 70%: actually, the latter cut withdraws too many segments with elements that may discriminate the specimens according to their places of origin. The reduction to 85% could seem quite reasonable, since it keeps enough segments to suggest sufficiently well the types of scenes and the general features characterizing the site; nevertheless, compared to the 90% data set, too many elements – especially the integrating ones – as well as their position in the scene, are lost, leaving uncertain the characterization of some toponyms. This drives the attention to the 90% cut, although it highly reduces the characterization of Susa with respect to the 95% one.

The amount of segments typically associated with the toponyms is huge for Ur, Telloh, Susa, and Umma, both on the positively and negatively, but a thorough interpretation seems crystal clear only in the analysis carried out on the full corpus.

Toponyms	100%		95%		90%		85%		80%		75%		70%		60%		50%	
	pos	neg	pos	neg	pos	neg	pos	neg	pos	neg	pos	neg	pos	neg	pos	neg	pos	neg
Unknown	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	26	30	9	30	9
Ur	30	30	30	30	29	30	25	30	25	30	20	26	8	16	3	7	3	7
North-Bab	12	2	12	2	12	2	10	2	6	2	5	2	1	1	1	0	1	0
South	19	2	19	2	19	2	13	2	10	2	10	2	4	2	2	2	2	2
Telloh	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	28	30	25	27	22	7	22	7
North-East	30	15	28	13	23	13	14	13	14	12	11	12	6	11	3	10	3	10
Susa	30	26	22	23	15	23	9	23	6	23	5	23	2	13	1	3	1	3
Umma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	13	30	13	30

Tab. 2 – Number of characteristic segments for all toponyms, according to the nine progressively reduced table, subdivided in positive (significantly abundant in the site with respect to the whole corpus) and negative (significantly poor). In the heading, the percentage of kept segments in the table.

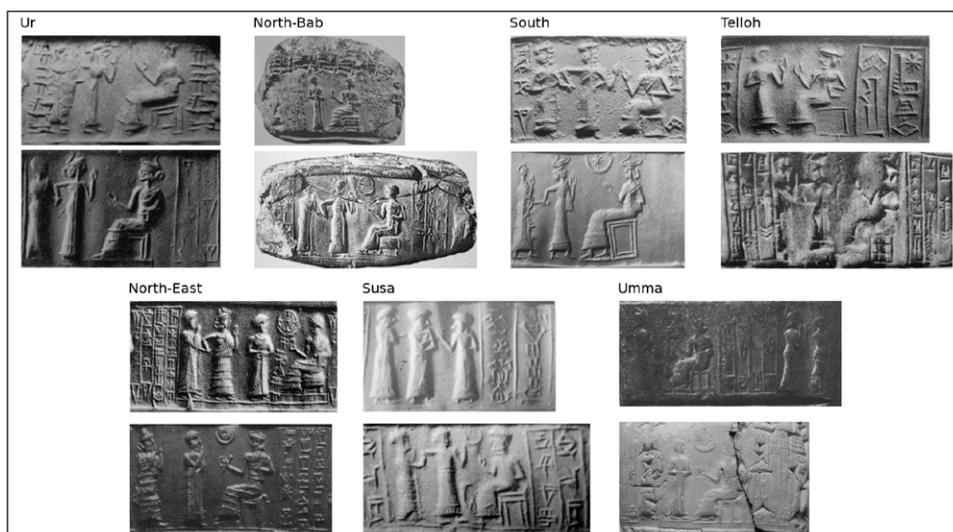


Fig. 4 – The two most typical scenes of each seals' site of origin.

In Fig. 4 two most *typical* scenes of every origin are represented. We mean as typical those scenes with minimum distances from the centroid of the group of seals with the same origin. As in TCA the centroids of the classes are defined based on the weighed (chi-square) distance between the segments, it is expected that such scenes present a similar balance of the most relevant features characterizing the origins.

In the figure, the scenes from Ur show earlier features, like those from Telloh, which have primarily female characters. Those representative of North-Bab are the two most relevant compositions of presentation before

a royal receiver, both coming from original impressions. Those from South have basic compositions and characters with plain robes, with a tendency to an earlier style, while those from North-East have rather late features. The scenes from Susa show own arrangements of characters and their attributes, with the most representative one having a standing receiver. Lastly, scenes from Umma are known from original impressions and are the only ones, among all most typical scenes, showing a bearded god in the role of receiver.

In the following, the sites are characterized according to a selection of distinctive segments – built without brackets, considering the most frequent and most absent, respectively. Indeed, some segments resulting typical for a toponym may resemble very much to each other, sometimes one being an extension of another, or varying in length or clarity. Therefore, in the lists below, the clearest and most expressive segments have been selected, whereas those too similar to them and forming incomplete structures have been withdrawn. This way, repetitions have been avoided and a clear picture of typical sub-structures could be recognized. Those most present are represented in the accompanying figures prior each list.

Ur (Fig. 5)



Fig. 5 – Most characteristic sub-images of seals from Ur.

Present:

1) Goddess with flounced robe and hairstyle with double curl, with headgear having a single pair of horns looking left with her left hand at waist and right hand brought forward sitting on a square seat with a frame standing on a simple dais; 2) goddess with hairstyle with double curl looking left with her left hand at waist and right hand brought forward sitting on a square seat with a frame standing on a simple dais; 3) goddess with flounced robe and a lock of hair on the top-back of the head; 4) moon sickle with sun disk above, before a seated goddess; 5) goddess with a lock of hair on the top-back of the head stands before a seated goddess with flounced robe and a lock of hair on the top-back of the head with her left hand at waist and right hand brought forward; 6) a bird in the field placed above with a scorpion thereunder.

Absent:

left hand before the face with bracelets; male figure; male receiving figure on a padded stool; man in fringed mantle; receiving bearded god in flounced robe, having a headgear with multiple pairs of horns, hair-lock behind his head, left hand by the waist, right hand brought forward; goddess with hairstyle with double curl turned right and holding hand by hand a man; simple dais by the receiver and three lines legend in a frame with content of the like “x, profession, son of y”.

North-Bab (Fig. 6)

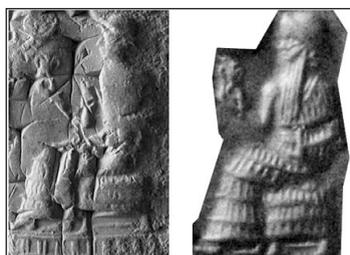


Fig. 6 – Most characteristic sub-images of seals from North-Bab.

Present:

1) *royal receiving figure with skull-cap, a bracelet, and possibly holding a little amphora*; 2) *royal receiving figure with skull-cap, flounced robe and attributes*.

South (Fig. 7)

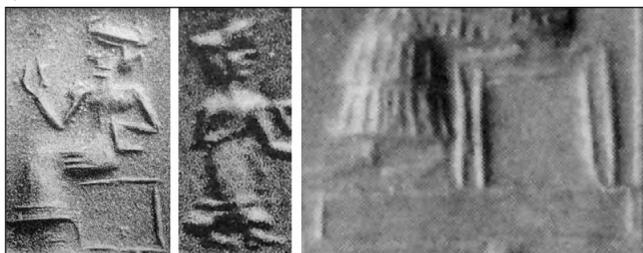


Fig. 7 – Most characteristic sub-images of seals from South.

Present:

1) *goddess with plain robe, double curl behind her neck, and headgear with single pair of horns*; 2) *woman with plain robe and a lock of hair on the top-back of her head*; 3) *square throne with a frame, simple dais, and a footstool*.

Telloh (Fig. 8)



Fig. 8 – Most characteristic sub-images of seals from Telloh.

Present:

1) goddess in plain robe with headgear with a single pair of horns and double curl behind the neck, having her left hand before her face; 2) goddess in plain robe and lock of hair on the top-back of her head; 3) goddess in fringed robe with headgear with a single pair of horns; 4) receiving goddess in flounced robe with headgear with a single pair of horns, double curl behind the neck, left hand at her waist, right hand forward, and multiple necklace; 5) received man with fringed mantle and simple hairstyle.

Absent:

receiving man with fringed mantle, skull-cap, with left hand at the waist and right hand forward, and having some attributes; goddess in flounced robe with headgear with multiple pair of horns and double curl behind the neck; character with both hands before the face; bearded receiving character with left hand at the waist, right hand forward and some attributes.

North-East (Fig. 9)



Fig. 9 – Most characteristic sub-images of seals from North-East.

Present:

1) both hands before the face, multiple necklace and bracelets; 2) small goddess in flounced robe; 3) man with fringed mantle and striped headgear; 4) goddess in flounced robe wearing a headgear with multiple pairs of horns and having a double curl behind her neck; 5) man in fringed robe with shaved head and right hand before his face; 6) man in fringed mantle with shaved head and both hands at his waist; 7) royal padded stool with niched dais.

Absent:

goddess with headgear with single pair of horns and double curl behind her neck; received man in fringed mantle with shaved head and right hand before his face.

Susa (Fig. 10)

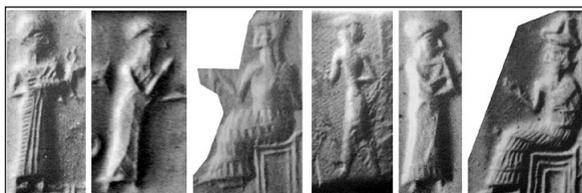


Fig. 10 – Most characteristic sub-images of seals from Susa.

Present:

1) *man in fringed robe*; 2) *man in fringed mantle and striped headgear with his right hand before his face*; 3) *male receiver with simple hairstyle, left hand at the waist and right hand forward, having beard and bracelets*; 4) *man in plain robe and simple hairstyle*; 5) *received man in fringed robe, with flat headgear, right hand before his face, left hand at his waist*; 6) *bearded god in flounced robe with headgear with multiple pairs of horns, hairlock behind his head, left hand at his waist, right hand forward*.

Absent:

goddess in flounced robe with headgear with multiple pairs of horns, double curl behind her neck, multiple necklace and left hand before her face; god receiver, bearded, with left hand at his waist and right hand forward.

Umma (Fig. 11)

Present:



Fig. 11 – Most characteristic sub-images of seals from Umma.

1) *goddess in flounced robe, headgear with multiple pairs of horns, double curl behind her neck and left hand before her face, bracelets and multiple necklace*; 2) *goddess in pleated robe, headgear with multiple pairs of horns,*

double curl behind her neck and both hands before her face; 3) bearded god in flounced robe with hair lock behind his head, headgear with multiple pairs of horns, left hand at his waist and right hand forward; 4) three-lines framed legend with content type “xxx, profession, son of yyy”.

Absent:

goddess in pleated robe, headgear with single pair of horns, double curl behind her neck; goddess in flounced robe, headgear with single pair of horns, double curl behind her neck, her left hand at her waist, her right hand forward; two-lines framed legend with content type “xxx, son of yyy”.

The segments typically present in the specimens from Ur are related to types of presentation scenes that are still quite various and show some comparatively old motifs. Their compositional structure is not really uniform. The segments typically absent are usually related with more standardized scenes and presentations before a seated male figure. These features place Ur quite close to South and in clear opposition to North-Bab, in which particularly present are the segments of the presentations before a royal figure. The typically present and absent segments of Telloh place it in a seemingly isolated position, but rather in affinity with Ur and South. Similarly, North-East segments are generally quite close to those of North-Bab, but in a peculiar position. The typical and non-typical segments of Susa show a picture very close to that of North-East, but with a much higher differentiation of features. In the case of Umma the situation is quite peculiar as well, since scenes of standardized composition are found, which are more bound to their administrative use, in opposition to older features.

7. CONCLUSION

Considering the general structure of the presentation scenes of the Ur III glyptic, the analysis on the repeated segments seems especially recommended, because it reveals, more explicitly than the analysis on the forms, the relative affinities and differences among compositional structures and substructures. Actually, the deep interpretation of these scenes heavily depends on the spatial relations of the iconographic elements in the field. Both peculiarities and relevance of the scenes known from original impressions emerge clearly in the graphics and especially influence the relative position of the toponym *Umma*. In particular, the opposition of *Umma* to both *Telloh* and *Ur* shows a specific development, in the Ur III period, of the way seals were conceived in the state administration after the reforms of the first two kings of the Dynasty. On the other hand, the regional features typical of the scenes from northern *Babylonia*, as well as those from *Susa*, may be considered slight variations of the themes officially adopted in the core of the kingdom.

Compared to its use on the forms, the PA on the repeated segments allowed a better fine-tuning of the processed data, based on both their frequency

and iconographical meaning. This way, the quality of the outcomes improved significantly as well as the comparison between different selections. Indeed, this is due to the specific nature of the repeated segments and their intrinsic quality of being able to represent parts of the scenes of various size. In fact, a more nuanced selection becomes possible, aiming at keeping a larger variety of possible sub-structures of the scenes, while the analysis on the forms involved a more radical choice of keeping or excluding items. Such choice may not be subject to an *a priori* evaluation, since hypotheses about their values should be based rather on the outcomes of the analyses.

As far as it emerges from the investigation described here, the experiences with the use of PA on the repeated segments allow a clear definition of its possible limits and its global impact on TCA results. The exam of the outputs corresponding to regular reduction of the data sets, while decreasing the solutions' dimension, gets clearer the most relevant aspects of the differences among the seals origins. Indeed, the origins are well separated, but what eventually emerges as segments is a common core of features, whereas the most specific attributes – precisely because of their specificity – tend to be withdrawn. For this reason, when the data set has a considerable amount of inner unevenness – or a large quantity of zeros – then a *manual* selection of segments is advisable: this way, the automatic reduction based on the frequency may be smoothed, to keep some particularly descriptive and/or specific segments. On one hand, this should keep the basic information expressed by rare but meaningful segments, while on the other, it should exclude segments that – though frequent – replicate information provided by slightly more frequent and clearer ones. Differently from the forms, this cannot be done by adjusting the original coding, because segments are aggregation of already defined forms. Therefore, the proposed mixed strategy (automatic and manual) may lead to an ultimate improvement and a good compromise in terms of meaning and precision of the results.

The inspection of the graphics representing the scattering of the sites on the first factorial plane suggests a curvilinear pattern; this may be interpreted as a Guttman effect (CAMIZ 2005), indicating a seriation in the data. A specific study, aiming at identifying some kind of continuous variation of the scenes' features according to the sites of origin, might be the subject of a further paper. Indeed, this pattern corresponds to the linear one provided by the GPA.

ALESSANDRO DI LUDOVICO

Dipartimento di Scienze dell'Antichità
Sapienza Università di Roma
alediludo@gmail.com

SERGIO CAMIZ

Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
sergio@camiz.net

REFERENCES

- CAMIZ S. 2004, *On the coding of archaeological data*, «Archeologia e Calcolatori», 15, 201-218 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF15/12_Camiz.pdf).
- CAMIZ S. 2005, *The Guttman effect: Its interpretation and a new redressing method*, «Τετραδιά Ανάλυσης Δεδομένων» («Data Analysis Bulletin»), 5, 7-34.
- CAMIZ S., ROVA E. 1991, *Analysis of ancient Near-Eastern cylinder seals (Late Fourth Millennium B.C.)*, in E. DIDAY, Y. LECHEVALLIER (eds.), *Symbolic-Numeric Data Analysis and Learning*, New York, Nova Science, 131-142.
- CAMIZ S., ROVA E. 1996, *Metodi di analisi per lo studio di un gruppo di sigilli cilindrici vicino-orientali e di altre immagini strutturate*, «Archeologia e Calcolatori», 7, 647-659 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF7/51_Camiz_Rova.pdf).
- CAMIZ S., ROVA E. 2001, *Exploratory analyses of structured images: A test on different coding procedures and analysis methods*, «Archeologia e Calcolatori», 12, 7-46 (<http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF12/01Camiz-Rova.pdf>).
- CAMIZ S., ROVA E., TULLI V. 1998, *Exploratory analysis of images engraved on ancient Near-Eastern seals based on a distance among strings*, «Statistica», 58, 4, 669-689 (<https://doi.org/10.6092/issn.1973-2201/1114>).
- COLLON D. 1982, *Catalogue of the Western Asiatic Seals in the British Museum. Cylinder Seals 2, Akkadian – Post-Akkadian – Ur III Periods*, London, Trustees of The British Museum.
- DI LUDOVICO A. 2005, *Scene-in-frammenti: una proposta di analisi delle “scene di presentazione” dei sigilli a cilindro mesopotamici orientata all’elaborazione statistica ed informatica dei dati*, in A. DI LUDOVICO, D. NADALI (eds.), *Studi in onore di Paolo Matthiae presentati in occasione del suo sessantacinquesimo compleanno*, Contributi e Materiali di Archeologia Orientale, 10, Roma, Università La Sapienza, 57-95.
- DI LUDOVICO A. 2018, *Data description and the integrated study of ancient Near Eastern works of art: The potential of cylinder seals*, in V. BIGOT JULOUX, A.R. GANSELL, A. DI LUDOVICO (eds.), *CyberResearch on the Ancient Near East and Neighboring Regions: Case Studies Archaeological Data, Objects, Texts, and Digital Archiving*, Digital Biblical Studies, 2, Leiden-Boston, Brill, 85-110 (https://doi.org/10.1163/9789004375086_005).
- DI LUDOVICO A., CAMIZ S. 2014, *A quantitative approach to Ur III Mesopotamian figurative languages: Reflections, results, and new proposals*, «Archeologia e Calcolatori», 25, 7-32 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF25/01_Camiz_Di_Ludovico.pdf).
- DI LUDOVICO A., CAMIZ S. 2015a, *Art history of the ancient Near East and mathematical models. An overview*, in F. GILIGNY, F. DJINDJIAN, L. COSTA, P. MOSCATI, S. ROBERT (eds.), *21st Century Archaeology. Concepts, Methods and Tools. Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Paris 2014)*, Oxford, Archaeopress, 29-34 (<https://www.archaeopress.com/ArchaeopressShop/Public/download.asp?id={998F1DEA-319D-4D61-B3F9-13F278B5ADF2}>).
- DI LUDOVICO A., CAMIZ S. 2015b, *Ancient Mesopotamian glyptic products, statistics and data mining: A research proposal*, in F. GILIGNY, F. DJINDJIAN, L. COSTA, P. MOSCATI, S. ROBERT (eds.), *21st century Archaeology. Concepts, Methods and Tools. Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Paris 2014)*, Oxford, Archaeopress, 489-496 (<https://www.archaeopress.com/ArchaeopressShop/Public/download.asp?id={998F1DEA-319D-4D61-B3F9-13F278B5ADF2}>).
- DI LUDOVICO A., CAMIZ S. 2020, *Image study of Mesopotamian cylinder seals through texts: The Procrustes transformation applied to Correspondence Analysis results*, «Archeologia e Calcolatori», 31.1, 7-32 (<https://doi.org/10.19282/ac.31.1.2020.01>).
- DI LUDOVICO A., CAMIZ S., PIERI G. 2013, *Comparative use of mathematical models in an investigation on Mesopotamian cylinder seals*, in F. CONTRERAS, M. FARJAS, F.J. MELERO (eds.), *Fusion of Cultures. Proceedings of the 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Granada 2010)*, BAR International Series 2494, Oxford, Archaeopress, 495-498.

- DI LUDOVICO A., RAMAZZOTTI M. 2008, *Reconstructing lexicography in glyptic art: Structural relations between the Akkadian Age and the Ur III Period*, in R.D. BIGGS, J. MYERS, M. ROTH (eds.), *Proceedings of the 51st Rencontre Assyriologique Internationale, Held at the Oriental Institute of the University of Chicago (Chicago 2005)*, Studies in Ancient Oriental Civilization, 62, Chicago, Oriental Institute, 283-288.
- GARDIN J.-C. 1958, *Four codes for the description of artifacts: An essay in archeological technique and theory*, «American Anthropologist», 60, 2, 335-357 (<https://doi.org/10.1525/aa.1958.60.2.02a00090>).
- GARDIN J.-C. 1966, *Éléments d'un modèle pour la description des lexiques documentaires*, «Bulletin des bibliothèques de France», 5, 171-182 (<https://bbf.enssib.fr/consulter/bbf-1966-05-0171-001>).
- GARDIN J.-C. 1967, *Methods for the descriptive analysis of archaeological material*, «American Antiquity», 32, 13-30 (<https://doi.org/10.2307/278775>).
- GOWER J.C. 1975, *Generalized Procrustes Analysis*, «Psychometrika», 40, 1, 33-51 (<https://doi.org/10.1007/BF02291478>).
- GOWER J.C., DIJKSTERHUIS G.B. 2004, *Procrustes Problems*, Statistical Science Series, 30, Oxford, Oxford University Press.
- HAUSSPERGER M. 1991, *Die Einführungsszene. Entwicklung eines mesopotamischen Motivs von der altakkadischen bis zum Ende der altbabylonischen Zeit*, Münchener Vorderasiatische Studien, 11, München-Wien, Profil.
- LÊ S., JOSSE J., HUSSON F. 2008, *FactoMineR: An R package for Multivariate Analysis*, «Journal of Statistical Software», 25, 1, 1-18 (<https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>).
- LEBART L., MORINEAU A., BÉCUE M., HAEUSLER L. 1994, *Spad.T – Version 1.5 – Manuel de référence*, Paris, Cisia.
- LEBART L., SALEM A. 1988, *Analyse statistique des données textuelles*, Paris, Dunod.
- LEBART L., SALEM A. 1994, *Statistique textuelle*, Paris, Dunod.
- R CORE TEAM 2017, *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (<https://www.R-project.org/>).
- WINTER I.J. 1986, *The King and the cup: Iconography of the royal presentation scene on Ur III seals*, in M. KELLY-BUCCELLATI, P. MATTHIAE, M.N. VAN LOON (eds.), *Insight through Images. Studies in Honor of Edith Porada*, Bibliotheca Mesopotamica, 21, Malibu, Undena, 253-268.
- WINTER I.J. 1987, *Legitimation of authority through image and legend: Seals belonging to officials in the administrative bureaucracy of the Ur III State*, in MCG. GIBSON, R.D. BIGGS (eds.), *The Organization of Power: Aspects of Bureaucracy in the Ancient Near East Studies*, Studies in Ancient Oriental Civilization, 46, Chicago, Oriental Institute, 69-116 (<https://oi.uchicago.edu/sites/oi.uchicago.edu/files/uploads/shared/docs/saoc46.pdf>).

ABSTRACT

In a recently published study, a textual dataset encoding a group of scenes depicted on Mesopotamian cylinder seals from the third millennium was submitted to Procrustes Analysis, considering Correspondence Analysis variations due to progressive reductions of the forms involved. The results seemed to indicate that a slight reduction in the number of forms used to describe the raw data would improve the Correspondence Analysis results. Indeed, the actual impact of each reduction on the outcome of the analyses could not be adequately identified if the forms were not considered as elements forming segments, i.e., sub-images of the scenes. In this paper, the results of the same methodology are presented, this time applied to repeated segments within the same dataset, i.e., sequences of textual forms that may describe sub-images of the described scenes. The comparison between the progressive reductions of repeated segments showed relevant differences between small (around 10% of the rarest segments) and large reductions. Indeed, the latter may undermine a consistent interpretation of the different finding sites, yet well represented keeping 90% of segments. Moreover, a reduction performed by hand and not on the frequency of occurrences provided better results.

DIMENSIONALITY REDUCTION FOR DATA VISUALIZATION AND EXPLORATORY ANALYSIS OF CERAMIC ASSEMBLAGES

1. INTRODUCTION

One of the most common problems in archaeological studies is organising and interpreting multivariate datasets. Within a dataset, as in most common spreadsheets, each archaeological record is connected to a wide range of variables, both quantitative and qualitative, such as provenance, size, typological classification, petrographic composition – if we are talking about ceramics – but also altitude above sea level, presence of certain structures, chronology and other characteristics related to architecture or to the different classes of materials – if we are dealing with sites.

In order to address this problem, it is necessary to organize these variables to facilitate, if not obtain, a possible interpretation of the archaeological data under consideration. Reducing the size of the dataset is particularly useful for the following reasons (HARRINGTON 2012, 270-271):

- Reduce data storage space.
- Fewer dimensions require a shorter computation time.
- Some algorithms do not perform well with large dimensions.
- Remove redundant features.
- Data visualization.

Dataset dimension reduction can be performed mainly in two ways (JAMES *et al.* 2013, 204): i) by keeping the most relevant variables from the original dataset (Subset or Attribute Selection) (SAMMUT, WEBB 2010, 332), and ii) by creating new variables reworking input variables (Dimensionality Reduction) (SAMMUT, WEBB 2010, 326)

To handle quantitative data, Principal Component Analysis (PCA) is often used, especially for the analysis of archaeometric or petrographic pottery composition (BAXTER 1994; MARENGO *et al.* 2005; ERDEM *et al.* 2008). In addition to ceramics, PCA is also useful when dealing with other archaeological problems, such as lithic analysis (PRENTISS 1998; SCERRI *et al.* 2016), spatial analysis and landscape archaeology (ŠMEJDA 2007; KLINGER *et al.* 2011; JANOVSÝ, HORÁK 2018; PIÑA-TORRES *et al.* 2018). This method is also the most detailed in several handbooks, thus building a bridge between archaeology and statistics (SHENNAN 1997; DRENNAN 2009, 299-303; VAN-POOL, LEONARD 2011, 285-303).

PCA is not the only one of its kind. Other methods with different characteristics and purposes can also be employed. A selection of *unsupervised*

dimensionality reduction algorithms (§ 3) (VANDERPLAS 2016, 333-334) will be applied to a quantitative multivariate archaeological dataset (§ 2). The idea is to assess the strength of these algorithms for exploratory analysis (TUKEY 1997) and data visualization. As mentioned earlier, one of the purposes of these techniques is to aid data visualization by reducing the data size. The relationships between variables, such as the height and width of a group of vessels, can be visualized and more easily understood through a scatter plot (DRENNAN 2009, 200-201). In this way, three variables at most can be displayed simultaneously on the same graph. Consequently, tools for dimensional reduction and for the complex visualization of multivariate datasets must be introduced, one of which will be described below. This dataset includes about 1500 vessels from the protohistoric necropolis of Osteria dell'Osa, 20 km East of Rome. The site was chosen as it was systematically investigated and the materials are comprehensively and exhaustively published (BIETTI SESTIERI 1992).

The application of dimensionality reduction methods to a multivariate dataset allows us to formulate new interpretations through a visualisation of the overall data structure. Reduction algorithms can be a tool as valuable in data interpretation as more traditional approaches to the study of ceramic, e.g. the creation of typologies or classifications. Displaying a large amount of data on a single graph allows us to identify structures and distributions based on ceramic characteristics. In the case of Osteria dell'Osa, the application of this methodology confirms that the Functional Classes (§ 2), archaeologically defined, correspond to effective clusters characterised by morphological similarities.

Therefore, the aims of this work are to:

- 1) Apply and evaluate a range of dimensionality reduction methods on a dataset of vessel profiles.
- 2) Identify the most efficient algorithm based on the ability to identify correspondences between archaeological interpretations and profile morphology.
- 3) Proceed with some exploratory analyses and evaluate the results according to the specificity of the applied algorithm.
- 4) Relating the method to 'more traditional' approaches.

2. THE DATASET

The necropolis of Osteria dell'Osa, in chronological terms, covers the Latial Periods II, III and IV (9th-6th century BC) (BIETTI SESTIERI 1992, 276). The extensive excavation of this cemetery makes it one of the best-documented contexts of the period. For this reason, it is one of the best-known sites that offers the possibility of carrying out analysis on numerous materials, especially for the Early Iron Age.

Every Early Iron Age 1 vessel (Fig. 1) that is complete or can be entirely reconstructed from the excavation catalogue (BIETTI SESTIERI 1992, 536-537,

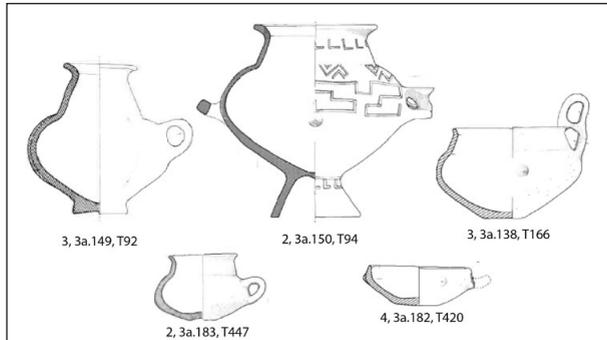


Fig. 1 – A selection of the drawings of the original vessels from the catalogue. Bibliographic references (figure, table and tomb number) are indicated for each vessel.

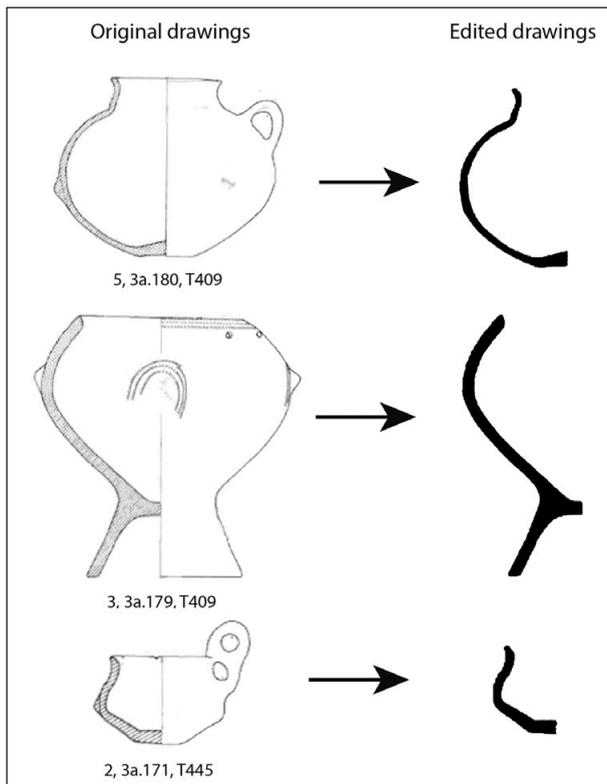


Fig. 2 – Editing process representation. For bibliographic references see Fig. 1.

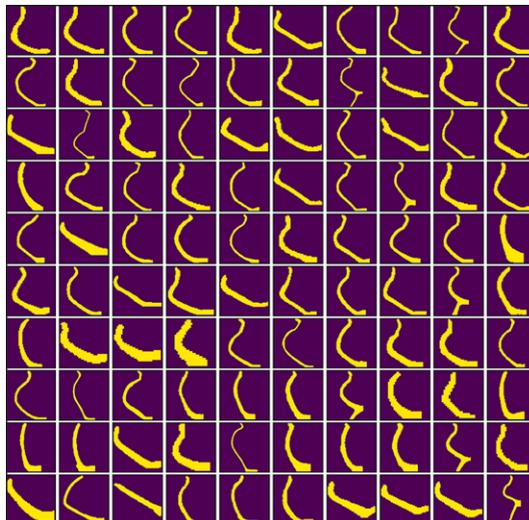


Fig. 3 – A selection of the vessels in the dataset, represented by binary matrices.

Osteria dell’Osa phases IIA-IIB; 900-770 BC) was included in the dataset (for a total of 1576 vessels). All the vessels’ drawings are edited using a photo-editing program (Fig. 2), and the drawing sections are extrapolated, rescaled, and standardized in resolution (0,125 px/cm). A Python code¹ is used to create binary images on which the analysis is carried out. Subsequently, the vessel profiles are transformed into a two-dimensional array where the presence of the profile (yellow) is identified with the value number 1, while the absence of the latter (purple) corresponds to the value number 0 (Fig. 3).

Finally, all binary images are scaled within a 256×256 pixel frame, to obtain a coherent and standardized database.

The following information, of an archaeological-interpretative nature, is associated with each of the images:

– Functional Class: each vessel has been distributed into functional categories, according to the following criteria:

Class 1: open vessel with a horizontal handle and non-articulate profile (*bowls*).

Class 2: open vessel with an articulated profile or one or two vertical handles (*cups, mugs, goblets*).

¹ This Python script is part of Lorenzo Cardarelli’s PhD project and it will be made available at the end of the PhD period.

Class 3: closed vessel with horizontal handle (*jars* and *necked jars*).

Class 4: closed vessel with one or two vertical handles (*jugs* and *amphoras*).

– Morphology: Class 1 and 2 are combined in Open forms, Class 3 and 4 in Closed forms.

Summing up, the multivariate dataset consists of archaeological information and the profile image of the vessel itself, described by a binary array of 256×256 values. This profile is translated into a very high number of dimensions: if a common spreadsheet is used, 65,536 columns are connected to each record (row). The best approach to explore this type of dataset is using dimensional reduction tools. Taken individually, variables defining the image are meaningless, therefore it is not possible to select more relevant ones (feature selection), but they must be created to represent the characteristics of the dataset using dimensionality reduction algorithms.

3. THE ALGORITHMS

From the highest level, dimensionality reduction algorithms can be divided into *supervised*, which consider one or more attributes when reducing the dimensions, and *unsupervised*, which consider only the data structure. An example of a supervised size reduction algorithm is the Linear Discriminant Analysis (LDA) (FISHER 1936; SAMMUT, WEBB 2010, 745-747). All the algorithms used in this paper, as mentioned above, are unsupervised. Dimensionality reduction algorithms can further be roughly divided into linear/non-linear and parametric/non-parametric methods. In linear methods, the projection in the lower dimension is a linear operation, a condition not met in non-linear methods (Fig. 4). Parametric methods require the construction of an explicit function for dimensionality reduction, unlike non-parametric methods. Both non-linear and non-parametric techniques include *Manifold learning* methods (VANDERPLAS 2016, 445). The lower dimensions in linear dimension reduction are easily interpretable because of their linear combinations of the input variable. Thus, they do not perform well when the data present non-linear relationships (VANDERPLAS 2016, 445-446). Non-linear algorithms and especially Manifold learning methods can highlight complex non-linear relationships between data, but only some properties of the original data are preserved, making the meaning of these features difficult to understand. Consequently, they are mainly used for data visualization (DAS, PAL 2022, 1).

VANPOOL and LEONARD (2012, 287) stated that archaeologists are generally not interested in algebra or mathematical structures defining and characterising these methods, therefore only a brief empirical introduction to the algorithm is proposed here. For those who are interested in more mathematical or technical aspects, details are however provided in the bibliography/web bibliography section of this paper.

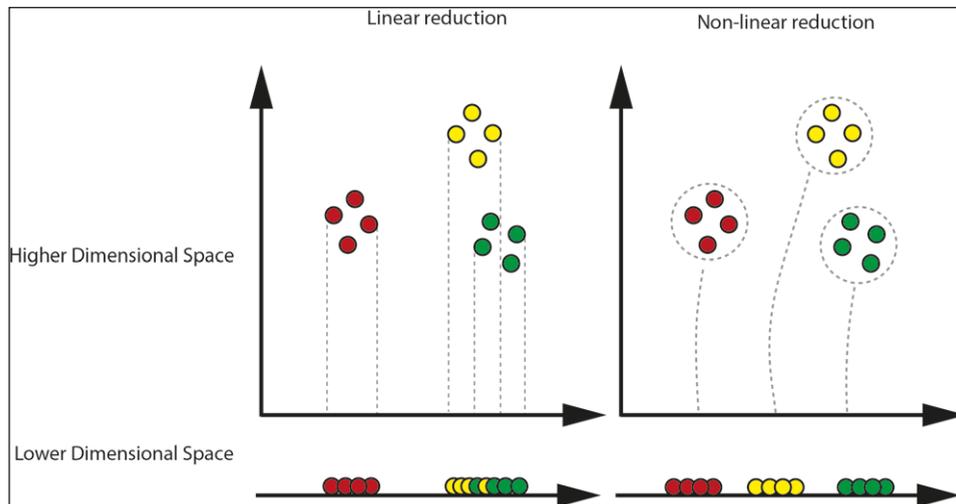


Fig. 4 – A simple representation of how linear and non-linear techniques for dimension reduction works.

This paper compares results from ten dimensionality reduction algorithms. The linear and parametric algorithms used here are: Principal Component Analysis and some of its implementations (Sparse PCA, Incremental PCA) and Truncated singular value decomposition (TruncSVD). The non-linear and non-parametric algorithms used are: Multidimensional scaling, Locally Linear embedding, ISOMAP, t-SNE, UMAP. Lastly, Kernel PCA is a non-linear but parametric method. Except the UMAP, all the other algorithms are part of the Scikit-learn library (<https://scikit-learn.org/stable/>), an open-source Python library for data analysis. Since UMAP is not included in this library, the official repository was used.

3.1 *Principal Components Analysis (PCA)*²

PCA is one of the oldest and best-known multivariate technique (PEARSON 1901; HOTELLING 1933). Its goal is to reduce the dataset dimension preserving as much variability as possible. Subsequently PCA finds new variables, called Components, that are linear combinations of variables from the original dataset. These linear variables maximize the variance and are uncorrelated with each other (SHLENS 2014; NANGA *et al.* 2021, 192). The biggest variance is always represented by the first component, the second one by the second component and so on. The second axis is also orthogonal to the first one and to the

² <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.decomposition.PCA.html>.

direction of the largest variance. The total number of components is equal to the original size of the dataset (HARRINGTON 2012, 270). A significant amount of information is extracted using this analysis: PCA can give insight into the data structure using the correlation between component scores and variables. These correlations are known as Component Loadings, and their purpose is to improve the interpretation of each component (GUERRA-URZOLA *et al.* 2021).

This method has some limitations: since the new components are linear combinations, the PCA fails if the analysed dataset is characterized by non-linear relationships (NANGA *et al.* 2021, 192) and it is sensitive to outliers. This method is widely used and known in archaeology. For further information on this technique, see JOLLIFFE's monographic work (2002).

3.2 *Sparse PCA*³

It is an implementation of PCA. While PCA components are usually linear combinations of all input variables, Sparse PCA finds linear combination that contains a small subset of original variables (ZOU *et al.* 2006; CHEN, ROHE 2021, 2; GUERRA-URZOLA *et al.* 2021). It often has applications in anthropology (ZHAO *et al.* 2017).

3.3 *Incremental PCA*⁴

This PCA implementation finds similar projections while processing only a few samples per time. This process has the advantage of using less memory with similar result (ROSS *et al.* 2008).

3.4 *Truncated singular value decomposition*⁵

This method (TruncSVD) is closely related with PCA but works better on sparse data (sparse data refers to the data with many zero values – https://en.wikipedia.org/wiki/Sparse_matrix). The differences with PCA are found from a computational point of view: it shares all the pros and cons (SHLENS 2014, 7). This method is applied in electromagnetic prospection, in connection with landscape archaeology (CATAPANO *et al.* 2014).

3.5 *Kernel PCA*⁶

This method is a non-linear implementation of PCA. The non-linearity is achieved using the so-called *kernel trick* to divide the input variables (VANDERPLAS 2016, 413; NANGA *et al.* 2021, 200-201). It has applications in

³ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.decomposition.SparsePCA.html>

⁴ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.decomposition.IncrementalPCA.html>

⁵ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.decomposition.TruncatedSVD.html>

⁶ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.decomposition.KernelPCA.html>

ceramics studies, with the comparative use of Kernel PCA and PCA methods in archaeometric analysis (HE *et al.* 2019).

3.6 *Multidimensional scaling (MDS)*⁷

This non-linear method performs a visual representation of distance or dissimilarities between pairs of data points (KRUSKAL, WISH 1978). Records that have shorter distances are more similar and are close in the graph; conversely, records that are less similar have longer distances in the graph preserving the global structure of the data (SAAED *et al.* 2018; NANGA *et al.* 2021, 201-202; WANG *et al.* 2021, 5). For instance, this method is used in zooarchaeology to identify regional and functional variability in the exploitation of some species in different sites (ORCHARD, CLARK 2005). Another application of the method concerns the use of non-Euclidean distances in point pattern analysis (PÉREZ 2015).

3.7 *Locally Linear Embedding (LLE)*⁸

LLE is a non-linear dimension reduction that can preserve only the local properties of data (ROWEIS, SAUL 2000). This method learns the global structure to recreate it in a local linear reconstruction (NANGA *et al.* 2021, 202-204).

3.8 *ISOMAP*⁹

This algorithm combines some characteristics of PCA and MDS. Isomap seeks a lower-dimensional embedding, which maintains geodesic distances (<https://en.wikipedia.org/wiki/Geodesic>) between all points (TENENBAUM *et al.* 200; NANGA *et al.* 2021, 202). Isomap can be seen as an extension of Multi-dimensional Scaling (MDS) or Kernel PCA.

3.9 *t-distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE)*¹⁰

t-SNE Embedding (VAN DER MAATEN, HINTON 2008) converts affinities of data points to probabilities (NANGA *et al.* 2021, 206-205). If two points are close to each other in the high dimensional space, they have a high probability of being close to each other in the low dimensional embedding space. Unlike the other non-linear methods mentioned above, t-SNE reveals structure at many different scales, translating into better data visualization. This local structure is well preserved, but the algorithm fails to preserve the

⁷ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.manifold.MDS.html>.

⁸ https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.manifold.locally_linear_embedding.html.

⁹ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.manifold.Isomap.html>.

¹⁰ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.manifold.TSNE.html>.

global structure of the data (WANG *et al.* 2021, 7). The method is used in flint study (ELLIOT *et al.* 2021)

3.10 *Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction (UMAP)*¹¹

UMAP is a dimensionality reduction technique introduced in 2018 (MCINNES *et al.* 2018). This algorithm projects high-dimensional data in a lower space. UMAP is similar to t-SNE, but it is considered by the authors more performing, specifically in relation to computational time (MCINNES *et al.* 2018, 28-30) and with a better ability to preserve the global structure of the data (MCINNES *et al.* 2018, 36-38). This method is applied for the study of archaeological pottery (NAVARRO *et al.* 2021).

4. CLUSTERING METRICS

Some clustering metrics will be calculated to quantify the results of the dimensionality reduction: it is assumed that the Functional Class, previously defined, corresponds to a homogeneous set of vessels identifiable through the binary matrices. The following metrics are used.

4.1 *Silhouette score*

This score relates to a reduction with better defined clusters. The result is defined between -1 (incorrect clustering) and +1 (correct clustering). Scores around 0 indicate overlapping clusters (https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.silhouette_score.html).

4.2 *Calinski-Harabasz Index*

This score is defined as the ratio of the sum of between-clusters dispersion and of within-cluster dispersion for all clusters (where dispersion is defined as the sum of squared distances): a higher Calinski-Harabasz score relates to a model with better-defined clusters (<https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html#calinski-harabasz-index>).

4.3 *Davies-Bouldin Index*

This index indicates the average ‘similarity’ between clusters, where the similarity is a measure that compares the distance between clusters with the size of the clusters themselves. 0 is the lowest possible score and a lower Davies-Bouldin index relates to a model with better separation between the clusters (<https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html#davies-bouldin-index>).

¹¹ <https://umap-learn.readthedocs.io/en/latest/>.

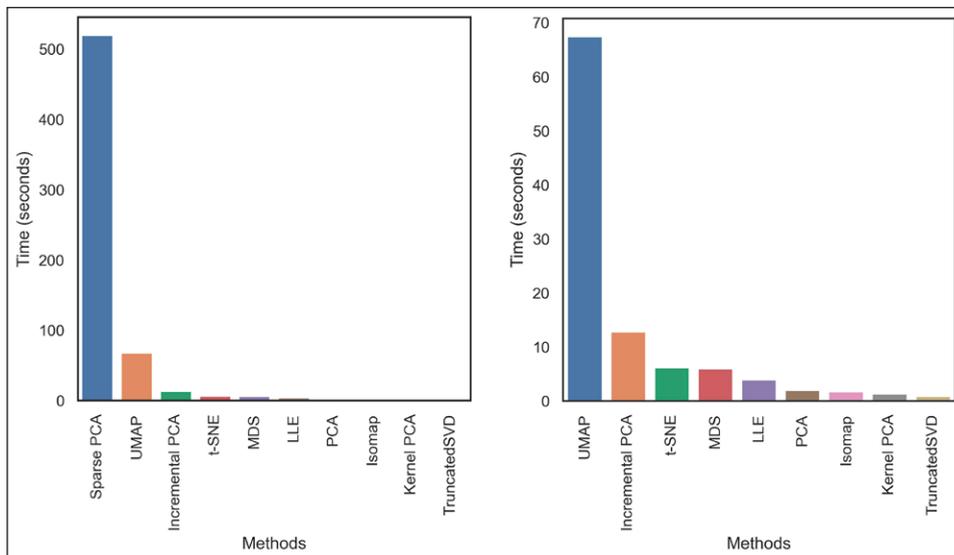


Fig. 5 – Barplots showing the execution time of each algorithm on the dataset.

5. RESULTS

The dataset was pre-processed by using Scikit-learn *MinMaxScaler* (<https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.MinMaxScaler.html>), to scale all values in a range between 0 and 1, and algorithms are tested on the dataset. Two dimensions are used, so the results could be seen on a simple scatterplot (*embeddings*): every point, therefore, represents a vessel. This feature is very interesting, as it goes beyond simple visualization: it is possible to globally observe the characteristics of ceramic assemblages on a single graph such as macro or micro differences between the vessels, quantity of objects of a certain class, presence of outliers, etc.

Before discussing metrics and reductions’ shapes, let us have a brief look at the algorithms’ executions time¹².

The barplots show, in order, the highest to the lowest execution time (Fig. 5): the Sparse PCA algorithm was extremely slow when compared to other methods (nearly 10 minutes to run). Eliminating this outlier from the graph, the second most expensive algorithm is UMAP (67 seconds), followed by Incremental PCA (12 secs); t-SNE (6,1 secs); MDS (5,9 secs); LLE (3,8

¹² The script is run on Acer notebook, Windows 10, Intel Core i7-10750H, 2.60GHz; 16 GB DDR4 RAM; NVIDIA GeForce RTX 3060 6GB.

Method	Silhouette score	Davies Bouldin index	Calinski Harabasz index	Davies Bouldin index (<i>inversed</i>)
PCA	0,252	1,510	798,325	0,662
Sparse PCA	0,256	1,473	802,966	0,679
Kernel PCA	0,258	1,478	817,184	0,677
Incremental PCA	0,252	1,510	798,325	0,662
TruncatedSVD	0,180	1,600	654,367	0,625
MDS	0,112	3,614	229,309	0,277
LLE	0,034	1,811	422,399	0,552
Isomap	0,262	1,290	871,737	0,775
t-SNE	0,298	1,187	759,926	0,842
UMAP	0,330	1,072	903,297	0,933

Tab. 1 – Clustering metrics.

secs); PCA (1,9 secs); Isomap (1,6 secs); Kernel PCA (1,2 secs); TruncSVD (0,8 secs). The result is surprising: UMAP is believed to be extremely faster than t-SNE (<https://umap-learn.readthedocs.io/en/latest/performance.html>). However, this can be explained by the performance of linear size reduction algorithms such as PCA and specifically TruncSVG, which is built for sparse matrices.

Besides execution time, these algorithms produced different results and they can be useful to visualize or explore this type of data (Fig. 6). LLE algorithm did not seem to perform correctly (VANDERPLAS 2016, 456), providing a result that is not easily interpretable by archaeologists. The other methods, unlike LLE, seem to place the vessels correctly: these are closer to each other within the Functional Class. Implementations of PCA, on a global level, seem to provide a reduction with a different rotation from classical PCA. The algorithms offering more visually interesting results are t-SNE and UMAP. The structure of the data, and therefore of a generic ceramic assemblage, is characterized by non-linearity relationships.

Regarding the metrics, a higher value of the Silhouette score and Calinski Harabasz index also corresponds to a better result in clustering similar objects. As for the Davies Bouldin index, it is the opposite: when it tends to zero, it corresponds to a better result. To make the three indices comparable, the inverse of the Davies Bouldin index is calculated. In this case, higher values also correspond to better performances. The three indices are then standardized¹³ on the same scale (Tab. 1).

¹³ The standardized measure (or Z-score) (DRENNAN 2009, 49; VANPOOL, LEONARD 2011, 139) is obtained by subtracting, for each value (X), the mean (μ) and dividing the result by the standard deviation (σ).

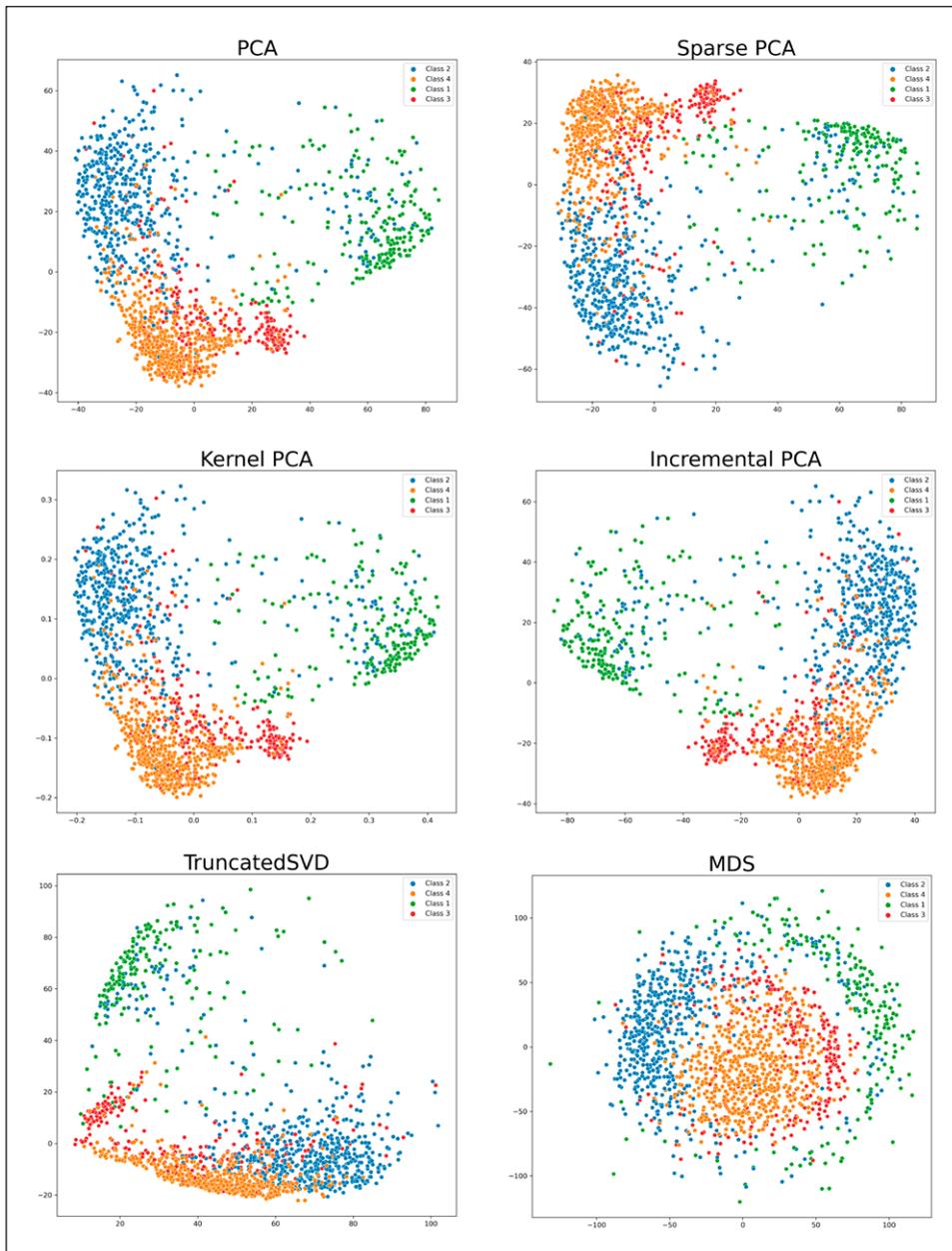


Fig. 6.1 – Dimensionality reduction algorithm embeddings output.

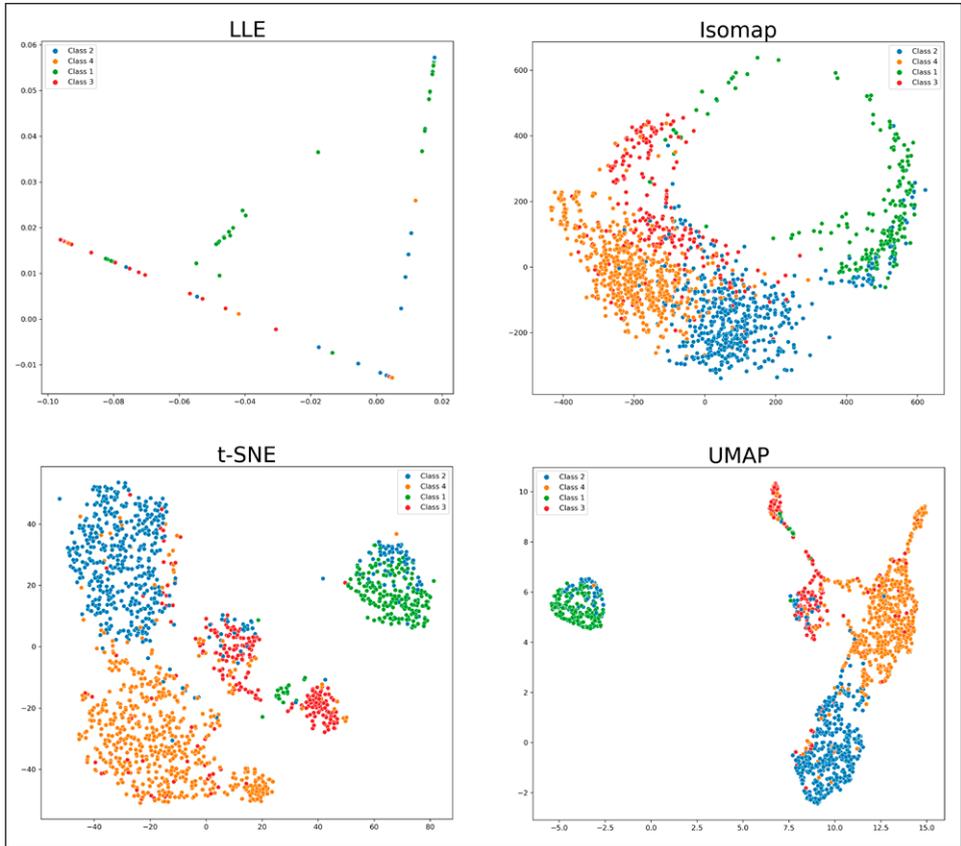


Fig. 6.2 – Dimensionality reduction algorithm embeddings output.

Method	Mean
UMAP	1,265
t-SNE	0,727
Isomap	0,634
Kernel PCA	0,333
Sparse PCA	0,307
PCA	0,250
Incremental PCA	0,250
TruncatedSVD	-0,340
LLE	-1,435
MDS	-1,992

Tab. 2 – Average metrics scores.

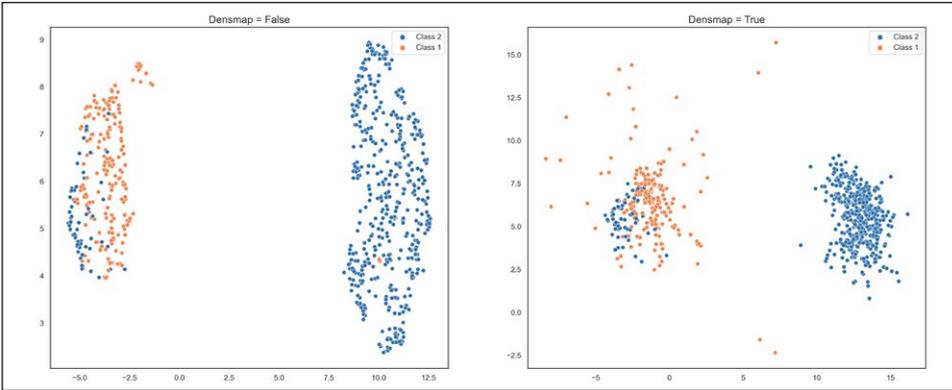


Fig. 7 – Scatterplot showing UMAP reduction on Open shapes, comparison between activated and deactivated *densmap* is proposed.

Once the measures have been standardized, the average is calculated for each algorithm (Tab. 2). Relying on this process, the methods that can best represent the data are UMAP, followed by t-SNE and ISOMAP.

Based on the score obtained, UMAP is the preferred algorithm for displaying and exploring this type of data. It is a very powerful tool, which preserves the local structure and the global one to a greater extent than the t-SNE (McINNES *et al.* 2018, 28-30). The uses of UMAP are therefore not limited to data visualization: it can be applied to other applications, such as clustering tasks (McINNES *et al.* 2018, 39; ALLAOUY *et al.* 2020; <https://umap-learn.readthedocs.io/en/latest/clustering.html>). These features make UMAP a very powerful tool, but like all algorithms for dimensionality reduction, it has some weaknesses: such as the interpretability of methods like PCA. The PCA components, as previously mentioned, represent the directions of the greatest variance. In the case of UMAP, these dimensions are meaningless. There are some key points to remember when reading and interpreting a UMAP result: although it is true that the global structure is better preserved, the distances between the clusters could be not significant (<https://towardsdatascience.com/tsne-vs-umap-global-structure-4d8045acba17>).

Therefore, it is dangerous to quantify the distance between clusters because UMAP and t-SNE use local notions of space to proceed with dimensionality reduction. Furthermore, using the default settings of UMAP, the size of the clusters is meaningless, because the density is not preserved (NARAYAN *et al.* 2021). For better preservation of the density in the reduction, the *densmap* function from the UMAP library can be used (NARAYAN *et al.* 2021, https://umap-learn.readthedocs.io/en/latest/densmap_demo.html#better-preserving-local-density-with-densmap).

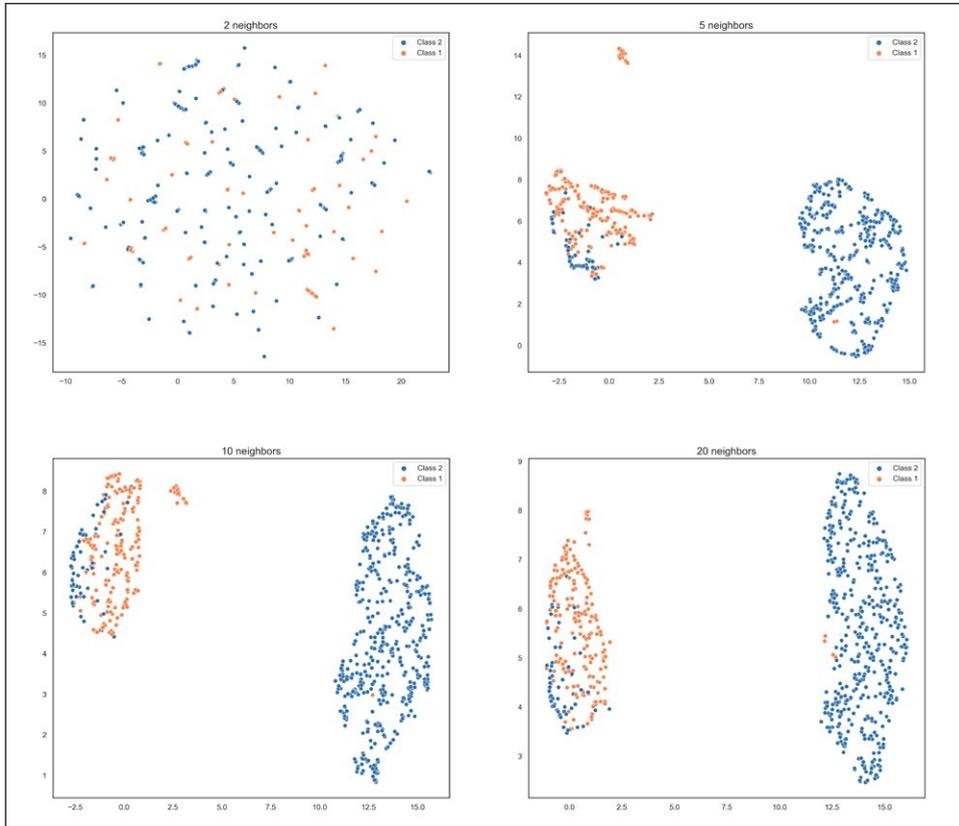


Fig. 8 – Comparison between different number of *neighbors* during UMAP dimensionality reduction.

We propose here another example using Open shapes from the dataset, presented in two scatterplots: one with UMAP without density preservation and one with density preservation active (Fig. 7).

By these embeddings and their comparison, some interesting information on vessels is obtained: first, Open shaped vessels can be divided into two groups, which would seem to roughly correspond to Functional classes. Specifically, in the cluster on the left, there are some cups (and therefore with a vertical handle), but morphologically they are very similar to bowls (Class 1). In the second scatterplot, the Class 1 (*bowls*) shows a greater dispersion, or at most a greater number of outliers, if compared to the cluster on the right. This class is clearly characterized by greater morphological heterogeneity. This type of investigation offers a lot of possibilities for the morphometric study of ceramics, such as variability and standardization. If variability is defined as

the relative degree of heterogeneity in a class of manufacts (KOTSONAS 2014, 8), and the standardization is a reduction in variability within the same class (RICE 1991, 268), by calculating metrics on these clusters, their variability is easily defined.

Particularly useful for archaeologists is the possibility, in UMAP (but also in other Manifold learning algorithms), to control the balance between local and global structures. In UMAP, this can be controlled through a parameter called *n_neighbors*: if this parameter has low values, UMAP will highlight the local data structure. Higher values instead will emphasize the global data structure. A low value of this parameter leads to a combination of small clusters, containing extremely similar vessels but without memory of the global structure, as it results in the macro-division between Class 1 and Class 2 highlighted by using a higher value of the parameter (Fig. 8). This parameter can be very useful in the study of ceramics. In its classification, especially in protohistoric contexts, a hierarchical approach is often used PERONI 1994, 26.

For other details on UMAP and on the parameters that can be used, please refer to the algorithm's website: <https://umap-learn.readthedocs.io/en/latest/index.html#umap-uniform-manifold-approximation-and-projection-for-dimension-reduction>.

Summing up, there are several algorithms for size reduction with different characteristics and purposes: to visualize the data, t-SNE and UMAP are the best choices. To explore the data structure, focusing on the local and global structure, UMAP is the best algorithm. To create clusters, UMAP is also the best choice. However, this type of consideration does not mean that methods such as PCA should always be discarded. The main purpose of PCA is dimension reduction and using it as a data visualization tool is allowed, at the cost of performance, as shown above. PCA is a great and useful tool in the hands of archaeologists. If non-linear reduction methods (specifically UMAP) performed better in exploring and displaying this type of data, it is also necessary to highlight some criticalities. With Manifold learning methods, there is no possibility to manage missing data, unlike PCA. The presence of noise in the data can lead the Manifold learning algorithms to be mistaken, leading to an incorrect dimension reduction. The PCA filters out the most important components by choosing the greatest variance. The result of a reduction through Manifold learning strictly depends on the number of neighbours chosen, and there are no criteria for defining this choice. The number of optimal dimensions for the Manifold methods is difficult to determine, while in the case of PCA this is defined by the variance. If attributing a meaning to dimensions in Manifold methods is cryptic and often unclear, the main components of PCA have a very clear meaning (VANDERPLAS 2016, 455-456).

6. CONCLUSIONS

Using dimension reductions algorithms on a multivariate dataset has undoubted benefits: in this example, their use simplifies the understanding of a high-dimensionality dataset, ranging from 65,536 dimensions to 2. The quantification of the pot profile is also a rather interesting feature, and it can be insightful for the study of pottery. Using these methods, it is possible to explore large quantities of material in a short time (1500 vessels processed in just over a minute in the case of UMAP, e.g.). Manifold learning methods (especially t-SNE and UMAP) are successful in identifying the structure of the data, creating clusters of vessels that are similar in shape and function. By performing a quick analysis on the data, some cups have a shape more similar to the bowls and the latter group is characterized by a greater morphological heterogeneity. The analysis also fits a hierarchical approach widely used in the study of ceramics.

In conclusion, the approach proposed in this work is particularly useful because it allows the use of statistical-mathematical tools for the morphological study of ceramic profiles. This method can be used independently or in integration with a traditional approach. In this perspective, the correspondence between archaeological and statistical data, defined by the correspondence between functional forms and vessel profiles, is particularly relevant.

LORENZO CARDARELLI

Dipartimento di Ricerca e Innovazione Umanistica
Università di Bari Aldo Moro
lorenzocardarelli2@gmail.com

ANNALISA LAPADULA

Dipartimento di Scienze dell'Antichità
Sapienza Università di Roma
annalisalapadula@outlook.it

REFERENCES

- ALLAOUI M., KHERFI M.L., CHERIET A. 2020, *Considerably improving clustering algorithms using UMAP dimensionality reduction technique: A comparative study*, in A. EL MOATAZ, D. MAMMASS, A. MANSOURI, F. NOUBOUD (eds.), *Image and Signal Processing, Lecture Notes in Computer Science*, Cham, Springer International Publishing, 317-325 (https://doi.org/10.1007/978-3-030-51935-3_34).
- BAXTER M.J. 1994, *Principal Component Analysis in archaeometry*, «Archeologia e Calcolatori», 5, 23-38.
- BIETTI SESTIERI A. (ed.) 1992, *La necropoli laziale di Osteria dell'Osa*, Roma, Quasar.
- CATAPANO I., AFFINITO A., GENNARELLI G., DI MAIO F., LOPERTE A., SOLDOVIER. F. 2014, *Full three-dimensional imaging via ground penetrating radar: Assessment in controlled conditions and on field for archaeological prospecting*, «Applied Physics A», 115, 1415-1422 (<https://doi.org/10.1007/s00339-013-8053-0>).

- CHEN F., ROHE K. 2021, *A new basis for sparse Principal Component Analysis*, arXiv:2007.00596, 1-46 (<https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.00596>).
- DAS S., PAL N.R. 2022, *Nonlinear dimensionality reduction for data visualization: An unsupervised fuzzy rule-based approach*, «IEEE Transactions on Fuzzy Systems», 1-13 (<https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2021.3076583>).
- DRENNAN R.D. 2009, *Statistics for Archaeologists: A Common Sense Approach*, New York Springer, 2nd ed.
- ELLIOT T., MORSE R., SMYTHE D., NORRIS A. 2021, *Evaluating machine learning techniques for archaeological lithic sourcing: A case study of flint in Britain*, «Scientific Reports», 11, 10197 (<https://doi.org/10.1038/s41598-021-87834-3>).
- ERDEM A., ÇILINGIROĞLU A., GIAKOU MAKI A., CASTANYS M., KARTSONAKI E., FOTAKIS C., ANGLÓS D. 2008, *Characterization of Iron Age pottery from eastern Turkey by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)*, «Journal of Archaeological Science», 35, 9, 2486-2494.
- FISHER R.A. 1936, *The use of multiple measurements in taxonomic problems*, «Annals of Eugenics», 7, 179-188 (<https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x>).
- GUERRA-URZOLA R., VAN DEUN K., VERA J.C., SIJTSMA K. 2021, *A guide for sparse PCA: Model comparison and applications*, «Psychometrika», 86, 893-919 (<https://doi.org/10.1007/s11336-021-09773-2>).
- HARRINGTON P. 2012, *Machine Learning in Action*, Shelter Island, N.Y., Manning Publications Co.
- HE J., LIU Y., PAN C., DU X. 2019, *Identifying ancient ceramics using laser-induced breakdown spectroscopy combined with a back propagation neural network*, «Applied Spectroscopy», 73, 10, 1201-1207 (<https://doi.org/10.1177/0003702819861576>).
- HOTELLING H. 1933, *Analysis of a complex of statistical variables into principal components*, «Journal of Educational Psychology», 24, 498-520 (<https://doi.org/10.1037/h0070888>).
- JAMES G., WITTEN D., HASTIE T., TIBSHIRANI R. 2013, *An Introduction to Statistical Learning*, New York, NY, Springer (<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>).
- JANOVSKÝ M., HORÁK J. 2018, *Large scale geochemical signatures enable to determine landscape use in the deserted medieval villages*, «Interdisciplinaria archaeologica», 9, 71-80 (<http://dx.doi.org/10.24916/iansa.2018.1.5>).
- JOLLIFFE I.T. 2002, *Principal Component Analysis*, New York, Springer, 2nd ed.
- KLINGER R., SCHWANGHART W., SCHÜTT B. 2011, *Landscape classification using Principal Component Analysis and fuzzy classification: Archaeological sites and their natural surroundings in Central Mongolia*, «DIE ERDE – Journal of the Geographical Society of Berlin», 142, 3, 213-233.
- KOTSONAS A. 2014, *Understanding standardization and variation in Mediterranean ceramics*, in A. KOTSONAS (ed.), *Understanding Standardization and Variation in Mediterranean Ceramics: Mid 2nd to Late 1st Millennium BC*, BABESCH Suppl. 25, Leuven, Peeters, 7-23.
- KRUSKAL J., WISH M. 1978, *Multidimensional Scaling*, Newbury Park, Inc., California, SAGE Publications (<https://doi.org/10.4135/9781412985130>).
- MARENGO E., ACETO M., ROBOTTI E., LIPAROTA M.C., BOBBA M., PANTÒ G. 2005, *Archaeometric characterisation of ancient pottery belonging to the archaeological site of Novalesa Abbey (Piedmont, Italy) by ICP-MS and spectroscopic techniques coupled to multivariate statistical tools*, «Analytica Chimica Acta», 537, 1-2, 359-375.
- MCINNIS L., HEALY J., MELVILLE J. 2018, *UMAP: Uniform Manifold approximation and Projection for dimension reduction*, arXiv:1802.03426, 1-63 (<https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.03426>).
- NANGA S., BAWAH A.T., ACQUAYE B.A., BILLA M.-I., BAETA F.D., ODAI N.A., OBENG S.K., NSIAH A.D. 2021, *Review of dimension reduction methods*, «Journal of Data Analysis and Information Processing», 9, 189-231.

- NARAYAN A., BERGER B., CHO H. 2021, *Assessing single-cell transcriptomic variability through density-preserving data visualization*, «Nature Biotechnology», 39, 765-774 (<https://doi.org/10.1038/s41587-020-00801-7>).
- NAVARRO P., CINTAS C., LUCENA M., FUERTES J.M., DELRIEUX C., MOLINOS M. 2021, *Learning feature representation of Iberian ceramics with automatic classification models*, «Journal of Cultural Heritage», 48, 65-73 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.01.003>).
- ORCHARD T.J., CLARK T. 2005, *Multidimensional scaling of northwest coast faunal assemblages: A case study from Southern Haida Gwaii, British Columbia*, «Canadian Journal of Archaeology/Journal Canadien d'Archéologie», 29, 1, 88-112 (<http://www.jstor.org/stable/41103518>).
- PEARSON K. 1901, *LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space*, «The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science», 2, 559-572 (<https://doi.org/10.1080/14786440109462720>).
- PEREZ J.N. 2015, *Non-Euclidean distance in Point Pattern Analysis: Anisotropic measures for the study of settlements networks in heterogeneous regions*, in J.A. BARCELÓ, I. BOGDANOVIC (eds.), *Mathematics and Archaeology*, Boca Raton, CRC Press, 369-382.
- PERONI R. 1994, *Introduzione alla protostoria italiana*, Roma, Laterza.
- PIÑA-TORRES C., LUCERO-GÓMEZ P., NIETO S., VÁZQUEZ A., BUCIO L., BELIO I., VEGA R., MATHE C., VIEILLESACAZES C. 2018, *An analytical strategy based on Fourier transform infrared spectroscopy, Principal Component Analysis and linear Discriminant Analysis to suggest the botanical origin of resins from Bursera. Application to archaeological Aztec Samples*, «Journal of Cultural Heritage», 33, 48-59.
- PRENTISS W. 1998, *The reliability and validity of a lithic debitage typology: Implications for archaeological interpretation*, «American Antiquity», 63, 4, 635-650.
- RICE P.M. 1991, *Specialization, standardization and diversity: A retrospective*, in R.L. BISHOP, F.W. LANGE (eds.), *The Legacy of Anna O. Shepard*, Boulder, The University Press of Colorado, 257-279.
- ROSS D.A., LIM J., LIN R.-S., YANG M.-H. 2008, *Incremental learning for robust visual tracking*, «International Journal of Computer Vision», 77, 125-141 (<https://doi.org/10.1007/s11263-007-0075-7>).
- ROWEIS S.T., SAUL L.K. 2000, *Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding*, «Science», 290, 2323-2326 (<https://doi.org/10.1126/science.290.5500.2323>).
- SAEED N., NAM H., HAQ M.I.U., MUHAMMAD SAQIB D.B. 2018, *A survey on multidimensional scaling*, «ACM Computing Survey», 51, 1-25 (<https://doi.org/10.1145/3178155>).
- SAMMUT C., WEBB G.I. (eds.) 2010, *Encyclopedia of Machine Learning*, Boston MA, Springer US (<https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8>).
- SCERRI E.M.L., GRAVINA B., BLINKHORN J., DELAGNES A. 2016, *Can lithic attribute analyses identify discrete reduction trajectories? A quantitative study using refitted lithic sets*, «Journal of Archaeological Method and Theory», 23, 669-691 (<https://doi.org/10.1007/s10816-015-9255-x>).
- SHENNAN S. 1997, *Quantifying Archaeology*, Saint Louis, Elsevier Science.
- SHELENS J. 2014, *A tutorial on Principal Component Analysis*, arXiv:1404.1100, 1-12 (<https://doi.org/10.48550/arXiv.1404.1100>).
- ŠMEJDA L. 2007, *Time as a hidden dimension in archaeological information systems: Spatial analysis within and without the geographic framework*, «Archaeology», 26, 517-540 (http://archive.caaconference.org/2009/articles/Smejda_Contribution316_c.pdf).
- TENENBAUM J.B., SILVA V. DE, LANGFORD J.C. 2000, *A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction*, «Science», 290, 2319-2322 (<https://doi.org/10.1126/science.290.5500.2319>).
- TUKEY J.W. 1977, *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley Series in Behavioural Science, Reading, Mass., Addison-Wesley Pub. Co.
- VAN DER MAATEN L., HINTON G. 2008, *Visualizing data using t-SNE*, «Journal of Machine Learning Research», 9, 2579-2605.

- VANDERPLAS J.T. 2016, *Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data*, Sebastopol, CA., O'Reilly Media, Inc.
- VANPOOL T.L., LEONARD R.D. 2011, *Quantitative Analysis in Archaeology*, Malden, MA., Chichester, West Sussex, U.K., Wiley-Blackwell.
- WANG Y., HUANG H., RUDIN C., SHAPOSHNIK Y., *Understanding how dimension reduction tools work: An empirical approach to deciphering t-SNE, UMAP, TriMAP, and PaCMAP for data visualization*, arXiv:2012.04456 [cs, stat] (<http://arxiv.org/abs/2012.04456>).
- ZHAO J., DUAN F., PAN Z., WU Z., LI J., DENG Q., LI X., ZHOU M. 2017, *Craniofacial similarity analysis through sparse Principal Component Analysis*, «PLoS ONE», 12, 6, e0179671 (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179671>).
- ZOU H., HASTIE T., TIBSHIRANI R. 2006, *Sparse Principal Component Analysis*, «Journal of Computational and Graphical Statistics», 15, 265-286.

ABSTRACT

Size reduction algorithms are essential in the study of multivariate datasets. Many variables make it difficult to visualize data. In Archaeology, this problem often concerns the study of some variables, which can be quantitative or qualitative. In this article, several methods for dimension reduction are applied to a pottery dataset from the protohistoric necropolis Osteria dell'Osa, located 20 km East of Rome. These methods offer the possibility of visualising and analysing large amount of data in a very short time. Our results show that non-linear and non-parametric algorithms such as t-SNE and UMAP are the best choice for visualising and exploring this type of data.

CLUSTER ANALYSIS, CLASSIFICAZIONE NUMERICA E REMOTE SENSING. METODI DI ANALISI INTEGRATI APPLICATI ALLA SURVEY PRESSO SAN BASILIO DI ARIANO NEL POLESINE (RO)

1. INTRODUZIONE

Il presente contributo illustra le potenzialità informative di una metodologia multidisciplinare adottata nella fase di post-processing dei dati di una survey intensiva effettuata nel 2018 a San Basilio di Ariano nel Polesine (RO). Il centro di San Basilio, oggetto di indagini condotte fra la fine degli anni Settanta del Novecento e i primi anni Duemila, risulta frequentato come approdo costiero internazionale dall'inizio del VI al V sec. a.C. (DE MIN, IACOPOZZI 1986; DE MIN 1988; SALZANI, VITALI 2002); successivamente viene rioccupato in epoca romana, fra il I e il IV sec. d.C., con una continuità di vita fino al tardoantico e al Medioevo (DALLEMULLE 1977, 1978, 1986; BONOMI *et al.* 1982; D'ABRUZZO 1983; TONIOLO 1984, 1987; GORINI, PEPE 2009; NEGRELLI *et al.* 2013; GAMBACURTA 2014, 308-309).

Il comprensorio deltizio-polesano – in cui si attivò, probabilmente già all'inizio del VI sec. a.C., il sito di San Basilio – presentava nel corso dell'età del Ferro una complessa rete di vie d'acqua (PIOVAN *et al.* 2012; PERETTO, BEDETTI 2013; GARATTI, PALTINERI 2021). Oltre al Po di Adria, che scorreva a metà strada tra il Po attuale e l'Adige, numerosi rami secondari costituivano una fitta maglia fluviale che, grazie a un regime costante delle acque, era navigabile in entrambe le direzioni, come suggerisce un passo di Strabone (*Geogr.*, V, 1, 8): pertanto, le idrovie da un lato rappresentavano il naturale prolungamento delle rotte adriatiche, frequentate dai Greci, verso l'entroterra, dall'altro favorivano le relazioni fra le comunità stanziati nel Delta e i territori occupati rispettivamente dagli Etruschi di area padana (a S) e dai Veneti (a N).

Nonostante la sua posizione di frontiera fra due diversi comprensori culturali dell'Italia settentrionale, quello etrusco e quello veneto, va ricordato che l'ambito deltizio presentava, a partire dal VI sec. a.C., una connotazione culturale marcatamente etrusca. Le evidenze materiali, unitamente a quelle epigrafiche (GAUCCI 2021), hanno portato negli ultimi decenni al riconoscimento di tale presenza, prevalente rispetto a quella veneta e a quella greca. Nella fascia settentrionale del Delta, facente capo al centro di Adria e da riconoscere quale sua *chora* agraria (HARARI 2004, 41-49), scavi regolari e ricognizioni di superficie hanno permesso di accertare l'esistenza di numerose unità insediative, per lo più concentrate tra il V e gli inizi del IV sec. a.C.: fra le più note, il complesso etrusco di San Cassiano di Crespino e la

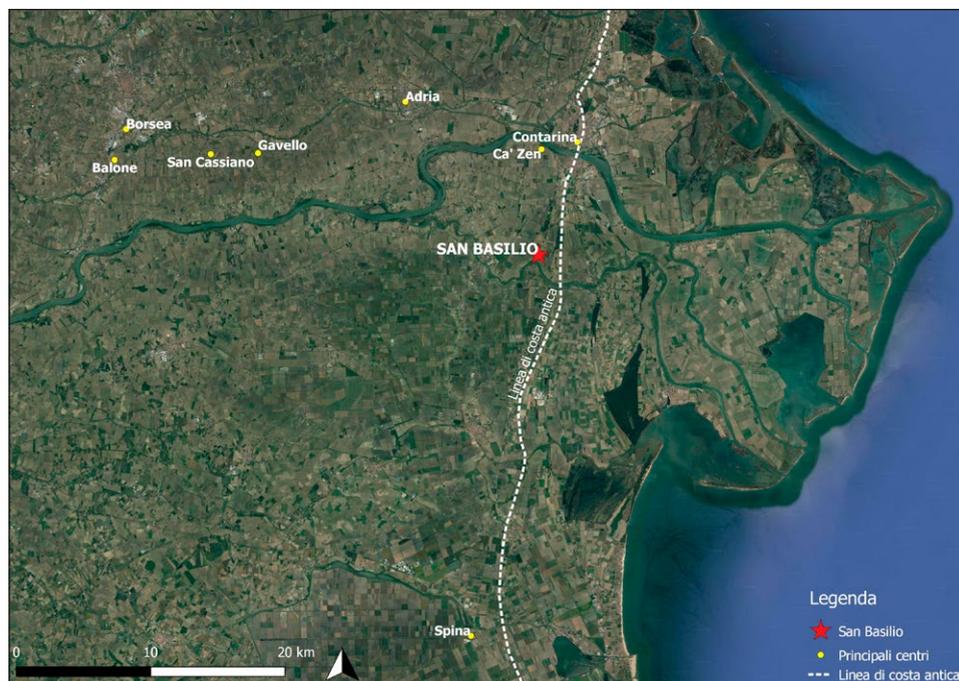


Fig. 1 – Localizzazione del sito di San Basilio in relazione all'antica linea di costa (VI-V sec. a.C.) e agli altri principali centri del comprensorio deltizio-polesano (elaborazione da Google Earth).

necropoli delle Balone (PERETTO 1994; PERETTO *et al.* 2002; PALTINERI, ROBINO 2016; PALTINERI *et al.* 2018). Nella fascia meridionale del Delta, la fioritura di Spina (BERTI, GUZZO 1993; ZAMBONI 2016; CORNELIO CASSAI *et al.* 2017), in collegamento diretto con Felsina e l'Etruria padana, ma straordinariamente aperta alla grecità, esemplifica quel momento di trasformazione degli assetti socio-politici di buona parte dell'Italia settentrionale fra VI e V sec. a.C., quando si assiste a un generalizzato fenomeno di fondazioni, rifondazioni e ristrutturazioni di centri pianificati secondo una maglia ortogonale, costantemente rivolti a un orizzonte mediterraneo (SASSATELLI 2017, 199-201).

In questo quadro, il centro di San Basilio risulta di particolare interesse sia per la sua posizione (Fig. 1) – a ridosso dell'antica linea di costa e a metà strada fra Spina e Adria – sia per la sua precoce attivazione, indiziata da materiali degli inizi del VI sec. a.C. Le ricerche sul campo condotte negli anni '80 (Fig. 2, n. 2) avevano già messo in luce alcuni aspetti: sul piano delle produzioni attestate (buccheri, ceramica depurata) la presenza prevalente della componente etrusca, che si accompagna a una significativa presenza di



importazioni greche – corinzie, ioniche e attiche – e a un’esigua componente veneta, indiziata dalla caratteristica ceramica zonata. Numerosi problemi restavano però aperti, dall’assetto urbanistico dell’insediamento al suo rapporto con il paesaggio costiero antico, dal rapporto con Adria e con Spina alle tecniche edilizie, fino alla questione, tutt’altro che secondaria, della datazione di una supposta disattivazione del sito alla fine del V sec. a.C.

Vi è poi la problematica della ripresa della frequentazione dell’area in epoca romana: si tratta di un lungo ciclo di occupazione – dal I sec. a.C. al V sec. d.C. – indiziata da una villa/*mansio* (Fig. 2, n. 1), da un *horreum* riferibile al II-III sec. d.C., da un tesoretto monetale e da strutture riferibili a un complesso paleocristiano attivato nel IV sec. d.C. (Fig. 2, n. 3).

A partire da questo *corpus* di conoscenze, la survey del 2018 ha pertanto rappresentato il punto di partenza di un progetto di ricerca che tuttora vede coinvolte l’Università di Padova, la cui direzione scientifica è affidata alla scrivente, e l’Università Ca’ Foscari di Venezia, sotto la direzione di G. Gambacurta: le équipes di entrambi gli Atenei hanno partecipato all’avvio

delle indagini attraverso la ricognizione di superficie, mentre dal 2019 sono iniziate le attività di scavo con due distinte concessioni ministeriali finalizzate all'individuazione e allo studio dell'insediamento di epoca preromana. La pubblicazione dei materiali rinvenuti nel corso della ricognizione sarà oggetto di una pubblicazione specifica, pianificata in forma congiunta da parte dei due gruppi di ricerca, mentre in questa sede si propone una riflessione metodologica sulla gestione, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati condotta dal gruppo di ricerca di Padova al termine dell'attività sul campo.

S.P.

2. LINEE-GUIDA DELLA RICERCA

Da un punto di vista metodologico, in prima battuta l'aerofotointerpretazione e il trattamento dei Modelli Digitali del Terreno (DTM) sono stati integrati, allo scopo di individuare possibili feature del paesaggio antico anche in rapporto ai dati geomorfologici. Su questo fondale, elaborato come guida per le indagini sul campo, ma poi ricalibrato in fase di post-processing, sono stati processati in ambiente GIS i dati emersi dalla ricognizione. I risultati della ricerca, oltre a offrire nuovi spunti di lettura sull'evoluzione storica e sul paesaggio dell'abitato preromano – ma anche sulla frequentazione di età romana – hanno permesso di effettuare una riflessione sui metodi di campionamento dei dati nell'ambito di una survey intensiva, anche in relazione alle elaborazioni a cui gli stessi dati possono essere sottoposti.

Tale riflessione si è sviluppata confrontando due possibili approcci di analisi dei dati: da un lato le analisi spaziali e dall'altro la classificazione numerica, applicate rispettivamente sfruttando la cluster analysis e la classificazione numerica univariata (WHEATLEY, GILLINGS 2002, 113-115; CONOLLY, LAKE 2006, 139-145, 162-164). Questo confronto vuole sia descrivere le potenzialità e i limiti delle due metodologie di analisi che sottolineare come questi approcci possano essere integrati.

G.I., D.V., S.P.

3. MATERIALI E METODI

3.1 *Remote sensing e DTM*

L'analisi dei dati da telerilevamento integrata alla lettura del DTM ha rappresentato il primo step della ricerca, finalizzato al riconoscimento di eventuali feature naturali e antropiche del paesaggio antico. Sotto l'aspetto operativo, grazie ai risultati dell'aerofotointerpretazione è stato possibile, prima delle indagini sul campo, meglio circoscrivere l'area da sottoporre a ricognizione intensiva e, in fase di post-processing, leggere i dati della survey anche in funzione del paesaggio antico.

Volo	Data	Quota (m s.l.m.)	Lungh. focale	Risoluzione (pixels)	Banda spettrale	Cod. fotogramma
SCAME	10/05/1983	2600	153,12	6120x5718 (foto 23x23 cm)	Luce Visibile (B/N)	Reven Padova-Rovigo; 11B-185
CGR	30/05/1990	3000	151,77	5708x5938 (foto 23x23 cm)	Luce Visibile (colori)	Reven 90; 32B-52
CGR	8/07/1999	2500	153,2	6138x5682 (foto 23x23 cm)	Luce Visibile (colori)	RE. VEN VENETO PROV.RO 99; 69-2162
HANSA LUFTBILD	21/08/2008	2200	153,88	6108x5568 (foto 23x23 cm)	Luce Visibile (colori)	Re.VEN. - Delta Po; 0252
HANSA LUFTBILD	21/08/2008	2200	153,88	5662x6077 (foto 23x23 cm)	Luce Visibile (colori)	Re.VEN. - Delta Po; 0795

Tab. 1 – Lista dei fotogrammi aerei utilizzati per l'aerofotointerpretazione.

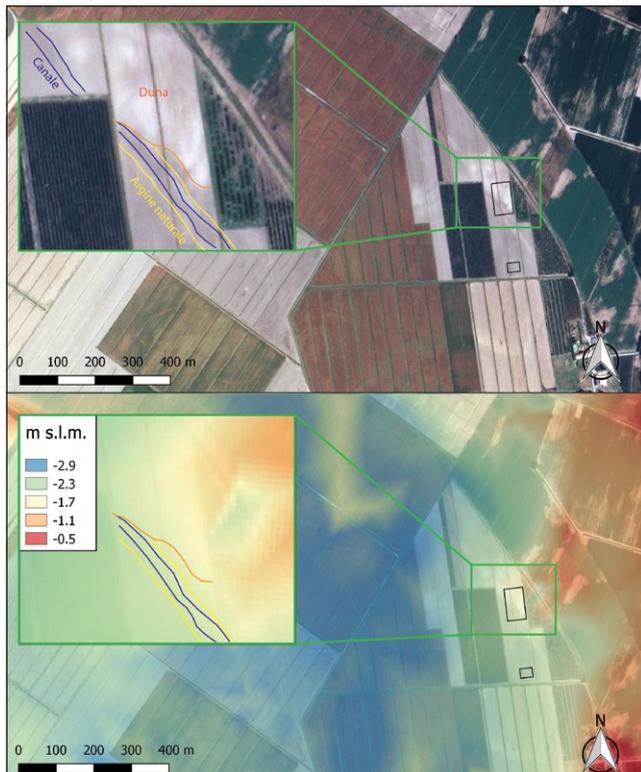


Fig. 3 – Aerofotointerpretazione in rapporto al DTM. In alto: fotogramma Re.VEN. - Delta Po 0795 del 2008 con le tracce interpretate; in basso: DTM sovrapposto allo stesso fotogramma; i poligoni neri indicano le aree soggette a survey intensiva.

In primo luogo, è stato recuperato un ampio set di foto aeree dell'area di San Basilio e della campagna immediatamente circostante; all'interno di questo set sono stati selezionati cinque fotogrammi (Tab. 1)¹, scattati, generalmente, in annate e periodi dell'anno differenti, allo scopo di cogliere le trasformazioni agrarie recenti e per meglio individuare, sia attraverso *soil marks* che *crop marks* (Lock 2003), possibili tracce del paesaggio antico (Fig. 3).

Considerando l'alta qualità dei fotogrammi aerei e la buona visibilità del paesaggio sepolto, il trattamento delle immagini, che si è limitato al loro miglioramento – sia in termini cromatici che di luce e contrasto – e alla classificazione manuale degli oggetti riconosciuti, non è stato effettuato con software dedicati, ma si è svolto integralmente all'interno di QGIS (release 2.18). Nello specifico, i diversi fotogrammi sono stati prima georeferenziati e trattati e solo successivamente sono state vettorializzate le feature identificate.

In un secondo momento, per meglio interpretare le tracce individuate, i dati sono stati letti considerando la morfologia attuale dei terreni: in particolare è stato sfruttato un DTM dell'area con una risoluzione di 5 m per cella², i cui valori sono stati classificati in modo da esaltare il range di quote in corrispondenza delle tracce (Fig. 3) anche in rapporto alla Carta Geomorfologica della Pianura Padana (CASTIGLIONI *et al.* 1997).

D.V.

3.2 Ricognizione e raccolta dei dati sul campo

Al fine di scegliere l'areale specifico nel quale effettuare la survey, è stata realizzata una prima ricognizione estensiva delle particelle, che ha permesso di riconoscere una zona in particolare che restituiva una maggiore quantità di materiale in affioramento, ovvero quella corrispondente ai mappali 33 e 60, che sembrava coincidere anche con le tracce più significative visibili da foto aerea. Si è quindi deciso di elaborare, all'interno dell'ambiente GIS, una quadrettatura con una maglia di 5×5 m, suddivisa in una “quadrettatura sud” e in una “quadrettatura nord” (Fig. 2, n. 4); essa è stata successivamente proiettata sull'area scelta tramite stazione totale. Le file della “quadrettatura sud” sono state denominate, da S verso N, mediante l'utilizzo di lettere maiuscole dalla A alla D, mentre ai singoli quadrati, da O verso E, sono stati assegnati i numeri da 7b a 13. I quadrati all'interno della “quadrettatura nord” sono stati invece definiti con doppie lettere maiuscole, dalla fila AM alla fila BF, e con i numeri da 1 a 13.

¹ <https://idt2.regione.veneto.it/portfolio/aereofototeca/> (ultimo accesso 15 dicembre 2021).

² Il DTM deriva dalle curve di livello e dai punti quotati della CTRN (<https://idt2.regione.veneto.it/>; ultimo accesso 20 dicembre 2021).

L'impostazione metodologica della ricognizione ha tenuto in considerazione più fattori ricavabili dall'osservazione sul campo, nonché la loro possibile associazione: aree distinte sulla base della tessitura e del colore dei sedimenti affioranti ("matrici"), dense concentrazioni di manufatti ("cluster") – anomale rispetto alla dispersione standard di materiale – e presenza di residui di strutture in affioramento ("strutture"). Sono state rilevate cinque diverse matrici, la cui posizione sembra rispondere ad una logica topografica da S verso N. Partendo da S, la prima matrice incontrata è stata definita M1, ovvero una matrice prevalentemente argillosa di colore bruno scuro (Munsell 10YR 4/2 "dark greyish brown") che tendeva a cementare il terreno in zolle indurite, alla quale era associata una scarsa quantità di materiale archeologico. La seconda matrice, M2, prevalentemente limosa e più friabile rispetto a M1, di colore bruno chiaro (Munsell 10YR 5/2, "greyish brown"), conteneva lenti di limi giallastri o lievemente ossidati, definiti M3 (Munsell 10YR 6/8, "brownish yellow"). M2 è stata localizzata più a N rispetto alla matrice precedente, dove è stato possibile osservare un aumento nella dispersione di materiale archeologico. La matrice più settentrionale, caratterizzata dall'emergere di molti materiali di diversa pezzatura, aveva una consistenza variabile da friabile a sciolta, sostanzialmente sabbiosa: coesistevano due tipi di sabbie diverse, ovvero sabbie gialle, M4 (Munsell 10YR 6/2, "light brownish grey"), e altre uguali per tessitura ma di un colore più scuro causato dall'ossidazione, M5 (Munsell 10YR 5/2, "greyish brown").

Considerate le significative differenze fra matrici, si è tenuto conto non solo dei materiali in affioramento e della loro distribuzione, ma anche della loro associazione con i diversi sedimenti. Questa scelta si fondava sul fatto che l'attuale morfologia isoplanare dell'area, dovuta a spianamenti agricoli, non corrispondesse a quella antica, caratterizzata da dune e cordoni costieri (CIABATTI 1966, 1968). La regolarizzazione, avvenuta in epoca moderna e contemporanea, dell'antico cordone litoraneo mediante troncature e riporti aveva senz'altro compromesso soprattutto la parte del deposito antico originariamente formatosi sulla parte alta della duna, preservando però le evidenze poste a una quota più bassa della pendenza dunare. Confortava questa impostazione la constatazione che i materiali portati in superficie dalle arature non fossero uniformemente distribuiti, nel classico pattern in dispersione, in tutta l'area oggetto di indagine; al contrario, apparivano concentrati soprattutto in associazione a determinate matrici e, in alcuni casi, anche a porzioni di elementi strutturali quali concotti in parziale assetto, lacerti di piani pavimentali e materiale edilizio pertinente agli alzati.

La raccolta dei materiali in superficie è avvenuta distinguendo materiali "non notevoli", vale a dire frammenti ceramici, in genere pareti, non diagnostici, da materiali "notevoli" (frammenti diagnostici di ceramica

vascolare e di recipienti d'importazione, materiale edilizio, manufatti in bronzo, monete, materiale vetroso, etc.), che sono stati posizionati mediante stazione totale. Inoltre, allo scopo di registrare la posizione di tutti i reperti identificati, sono state compilate sul campo le "schede-quadrato" nelle quali sono stati rappresentati, mediante un disegno esplicativo, sia strutture che cluster e sono stati segnati e numerati tutti i materiali individuati, compresi quelli non raccolti.

Come già anticipato, la pubblicazione analitica di tutti i materiali della survey sarà affidata a un contributo attualmente in preparazione da parte delle due équipes dell'Università di Padova e dell'Università Ca' Foscari. Nel lavoro presentato in questa sede si tiene esclusivamente conto dell'inquadramento tipologico e cronologico dei dati a disposizione dell'Università di Padova in relazione ai quadrati indagati sul campo e successivamente oggetto di uno studio tipo-cronologico condotto in forma autonoma: per quanto riguarda la "quadrettatura sud", si tratta delle file di quadrati C, D ed E, mentre per la "quadrettatura nord" delle file AM, AN, AP (escluso AP13), AQ e i singoli quadrati AR12 e AR13 (Fig. 2).

Questa suddivisione, determinata dalla necessità di mantenere squadre distinte ma interattive fra i due atenei, ha offerto la possibilità ai due gruppi di lavoro di operare in entrambe le quadrettature; all'interno di ciascuna quadrettatura, inoltre, i quadrati assegnati a ogni équipe si presentano del tutto simili dal punto di vista della matrice e della dispersione dei materiali in superficie e omologhi dal punto di vista della collocazione topografica in relazione alla morfologia antica. Pertanto, rispetto a eventuali rischi di ricadute sull'attendibilità dei dati in fase di post-processing, la suddivisione effettuata ha assegnato a ciascun ateneo un campione di dati che si ritiene ugualmente attendibile.

S.P.

3.3 *Elaborazione dei dati raccolti sul campo*

Al fine di svolgere analisi spaziali e quantitative sui dati raccolti e per elaborare carte di distribuzione caratterizzate per cronologia e tipologia dei materiali, le informazioni registrate sul campo sono state prima organizzate nel database FileMaker Pro 17 Advanced, per essere poi elaborate all'interno di QGIS (release 2.18). Le "schede-quadrato" cartacee corrispondenti ai quadrati analizzati dall'Università di Padova e compilate sul campo sono state inserite nel database, con l'obiettivo di registrare e uniformare tutte le informazioni raccolte, qualitative e quantitative, organizzandole per ogni singolo quadrato (Fig. 4). I dati quantitativi per ogni singola classe di materiale sono stati successivamente esportati dal database in formato csv (comma-separated values) per essere poi integrati all'interno del GIS; questa operazione ha

rappresentato la base per le classificazioni numeriche univariate (CONOLLY, LAKE 2006, 139-145).

Come già accennato, i dati della survey sono stati processati sia allo scopo di effettuare analisi di concentrazione, sia per effettuare classificazioni numeriche. Questi due approcci sono qui definiti rispettivamente come “metodo 1” e “metodo 2” e verranno illustrati di seguito. Va sottolineato che le elaborazioni dei dati relative principalmente al “metodo 1” sono state funzionali anche al confronto con le informazioni desunte dalla fotointerpretazione e dall’analisi del DTM (cfr. § 4.1).

Il “metodo 1”, fondamentale per poter realizzare le cluster analysis (CONOLLY, LAKE 2006, 162-164) e svolto completamente all’interno del GIS, ha previsto la creazione di quattro shapefile, di punti – “materiali” – e di poligoni – “matrici”, “strutture” e “cluster” – e quindi la vettorializzazione all’interno di ciascun quadrato di ogni elemento individuato ed eventualmente raccolto. Va sottolineato che lo shapefile “cluster”, che individua le aree ad alta densità di materiali riconosciute sul campo, identifica esclusivamente possibili aree di concentrazione, senza influenzare la vettorializzazione dei singoli materiali; in sostanza, i materiali che ricadono all’interno dei poligoni

Scheda quadrato

ID_quadrato:

Data di ricognizione:

Ricognitore:

Presenza di materiali: Fitta Media Scarso Inesistente

S. Basillio 2018
Survey intensivo

Legenda

- Carbono
- ★ Ceramica
- Concotti
- ▲ Elementi metallici
- Materiale litico
- Tegole e laterizi
- Terran/malecoffiana
- Intonaco
- Moneta
- Altro
- Cluster
- Strutture

Figura quadrato:

Presenza di reperti notevoli: Sì No

Descrizione reperti notevoli

NOT. 127: Fondo ceramica grossolana. NOT. 137: Oro in ceramica (opuscula romana). NOT. 148: Oro in ceramica grossolana. NOT. 148: Agopoliore in ferro. NOT. 147: Fondo in ceramica etrusco-padana. NOT. 152: Frammento di ferro (moderno?) NOT. 161: Oro in ceramica etrusco-padana. NOT. 164: Oro in ceramica grossa romana. NOT. 165: Parole in vernice nera. NOT. 170: Oro in ceramica grossa romana. NOT. 248: Moneta. NOT. 293, 294, 295: Scarti di attività protoetnologica.

Categorie di materiale (effettivo e raccolto)		Classi ceramiche (raccolte)	
	n. effettivi	n. raccolti	n.
<input checked="" type="checkbox"/> Ceramica	48	41	<input checked="" type="checkbox"/> Etrusco-padana dep. 2
<input type="checkbox"/> Vetro			<input type="checkbox"/> Grigia
			<input type="checkbox"/> Atica
<input checked="" type="checkbox"/> Tegole e laterizi	1	1	<input type="checkbox"/> Greca altro
<input checked="" type="checkbox"/> Concotti	45	41	<input type="checkbox"/> Bucchero
<input checked="" type="checkbox"/> Intonaco	1	1	<input type="checkbox"/> Alto-adriatica
<input type="checkbox"/> Malta			<input type="checkbox"/> Veneta
<input type="checkbox"/> Tessere di mosaico			<input checked="" type="checkbox"/> Preromana grossolana 14
<input checked="" type="checkbox"/> Elementi metallici	2	2	<input type="checkbox"/> Daunia
<input checked="" type="checkbox"/> Monete	1	1	<input checked="" type="checkbox"/> Vernice nera 1
<input checked="" type="checkbox"/> Materiale litico	4	3	<input checked="" type="checkbox"/> Terra sigillata 2
<input type="checkbox"/> Avorio/osso			<input checked="" type="checkbox"/> Romana 19
<input checked="" type="checkbox"/> Fauna/malecoffiana	9	7	<input checked="" type="checkbox"/> Medioevale e post-medioevale 1
<input checked="" type="checkbox"/> Altro			<input type="checkbox"/> Anfore greche
			<input type="checkbox"/> Anfore etrusche
			<input checked="" type="checkbox"/> Anfore romane 2

Note

Tra i concotti raccolti sono presenti 26 bicchetti fitti e 1 aggregato d'argilla.

Affinità della Struttura 12 sono presenti 8 scarti di attività protoetnologica.

Cronologia

Ante VI VI-V IV-Romaniz. Età romana Età medioevale/post-medioevale n.d.

Fig. 4 – Esempio di scheda del quadrato AQ12 digitalizzata attraverso il programma FileMaker Pro Advanced.

“cluster” sono caratterizzati anche nella forma di punti nello shapefile “materiali”. La tabella degli attributi per ogni shapefile è stata progettata con liste valori tali da poter evidenziare sia categorie di informazione funzionali alle analisi di concentrazione (“materiali”, “classe ceramica”, “cronologia”), sia altre (“tipo matrice”) più utili al confronto con i dati della aerofotointerpretazione. Per quanto riguarda i manufatti, è stato così possibile visualizzare in maniera più chiara, nella forma di geometrie puntiformi, in quali parti dell’area indagata comparissero determinate categorie di materiali o classi ceramiche con una specifica cronologia e in associazione a quali altre, oltre che creare delle mappe di concentrazione. In un primo momento tali mappe sono state realizzate utilizzando l’algoritmo Kernel Density Estimation ma successivamente, per meglio visualizzare i dati anche rispetto agli altri layer – sia vector che raster – elaborati e/o inseriti nel GIS, si è preferito sfruttare le heatmap direttamente selezionabili e gestibili tra le proprietà dello shapefile.

La vettorializzazione delle matrici, che ha considerato i dati raccolti sul campo, ha previsto fin da subito un confronto con i dati provenienti da telerilevamento, allo scopo di verificare se il tipo di terreno documentato in emersione agraria potesse corrispondere, dal punto di vista cromatico, alle tracce individuate da foto aerea. In particolare, sia da foto aerea che autopicamente sul campo, è stata individuata una traccia più scura, di cui si parlerà in seguito (cfr. § 4.1), interpretata come un canale, alla quale è stata assegnata la matrice M2, affiancata da due tracce più chiare, corrispondenti invece alla matrice M3.

Il “metodo 2” ha posto invece al centro dell’attenzione le informazioni quantitative dei materiali per ogni singolo quadrato, permettendo la classificazione numerica. I dati di ogni quadrato, come già accennato, sono stati esportati in formato csv dal database, inseriti nel GIS e agganciati allo shapefile della quadrettatura tramite la funzione “join”; in questo modo ogni quadrato ha acquisito, come nuove liste valori, le informazioni quantitative presenti nel database. Grazie a questa operazione è stato quindi possibile effettuare una classificazione numerica univariata per ciascuna categoria di materiale sfruttando, a livello di visualizzazione, le scale cromatiche. La categorizzazione, effettuata secondo intervalli uguali (CONOLLY, LAKE 2006, 142), si è focalizzata in un secondo momento sulla ceramica totale, sui concotti semplici e sulle tegole e laterizi.

G.I.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 Risultati dell’aerofotointerpretazione in rapporto al DTM

Negli studi di aerofotointerpretazione che riguardano la bassa pianura padana, di norma le tracce di colore chiaro sono interpretate come feature in

elevato – almeno in origine – costituite da sedimenti drenanti, mentre quelle di colore scuro come zone impaludate, colmature di canali abbandonati e, più in generale, aree caratterizzate da uno scarso drenaggio (BALISTA *et al.* 1992, 111-115; DEIANA *et al.* 2020, 6-7).

Nella zona dei mappali 33 e 60 appare evidente un'ampia traccia chiara, interpretabile come parte del bordo occidentale di un lungo cordone litoraneo (Fig. 3). Tale cordone, la cui morfologia in elevato è complessivamente ben visibile dall'analisi del DTM sia a scala locale che regionale, è segnalato anche nella Carta Geomorfologica della Pianura Padana (CASTIGLIONI *et al.* 1997). La feature così isolata, che corrisponde quindi ad un residuo di duna, come in parte già noto dall'edito (CIABATTI 1966, 1968), è cinta a SO da una traccia scura lineare e continua, bordata su entrambi i lati da strisciate di colore chiaro (Fig. 3) e interpretabile come un canale delimitato da argini naturali. Dalla lettura del DTM è visibile come il canale ipotizzato ricalchi la rottura di pendenza che delimita la traccia della duna.

D.V.

4.2 *Carte di distribuzione e cluster analysis*

Attraverso l'applicazione del “metodo 1” e principalmente sulla base dell'interrogazione delle liste valori dello shapefile “materiali”, sono state realizzate carte cronologiche, tipologiche e di concentrazione sia per l'età preromana (VI-V sec. a.C.) sia per l'età romana, in modo da identificare la distribuzione spaziale del materiale o di una particolare tipologia nelle due diverse fasi e al fine di comprendere che rapporto intercorresse tra il materiale e la morfologia antica. Le carte riportano i dati raccolti ed elaborati per entrambe le quadrettature analizzate, “sud” e “nord”. A causa però della distanza che intercorre tra queste, si è deciso di avvicinarle nella resa grafica finale, denominandole rispettivamente A e B.

Per l'età preromana è stata realizzata una carta complessiva per l'intervallo che va dal VI al V secolo a.C. che comprende i frammenti ai quali è stata assegnata una precisa datazione in fase di studio dei materiali, ma anche i tipi ceramici definibili di lunga durata, comunque riferibili all'epoca preromana, tra cui la ceramica grossolana e la ceramica depurata etrusca di produzione padana. Sono stati aggiunti alla carta anche i cosiddetti “blocchetti” (ovvero fittili non vascolari: lastre di pochi centimetri, cotte, di colore rossastro-violaceo, che presentano un lato finito, generalmente con una solcatura, e uno non finito), attribuibili a materiale edilizio e molto numerosi in tutta l'area oggetto della survey. I blocchetti, già rinvenuti a San Basilio (DE MIN, IACOPOZZI 1986, 172; SALZANI, VITALI 1988, 37-40; 1991, 417), possono essere assegnati con sicurezza all'orizzonte preromano sulla base di confronti con i ritrovamenti di Adria e Spina (ZAMBONI 2016, 215-216; BONOMI, GAMBACURTA 2017, 72).

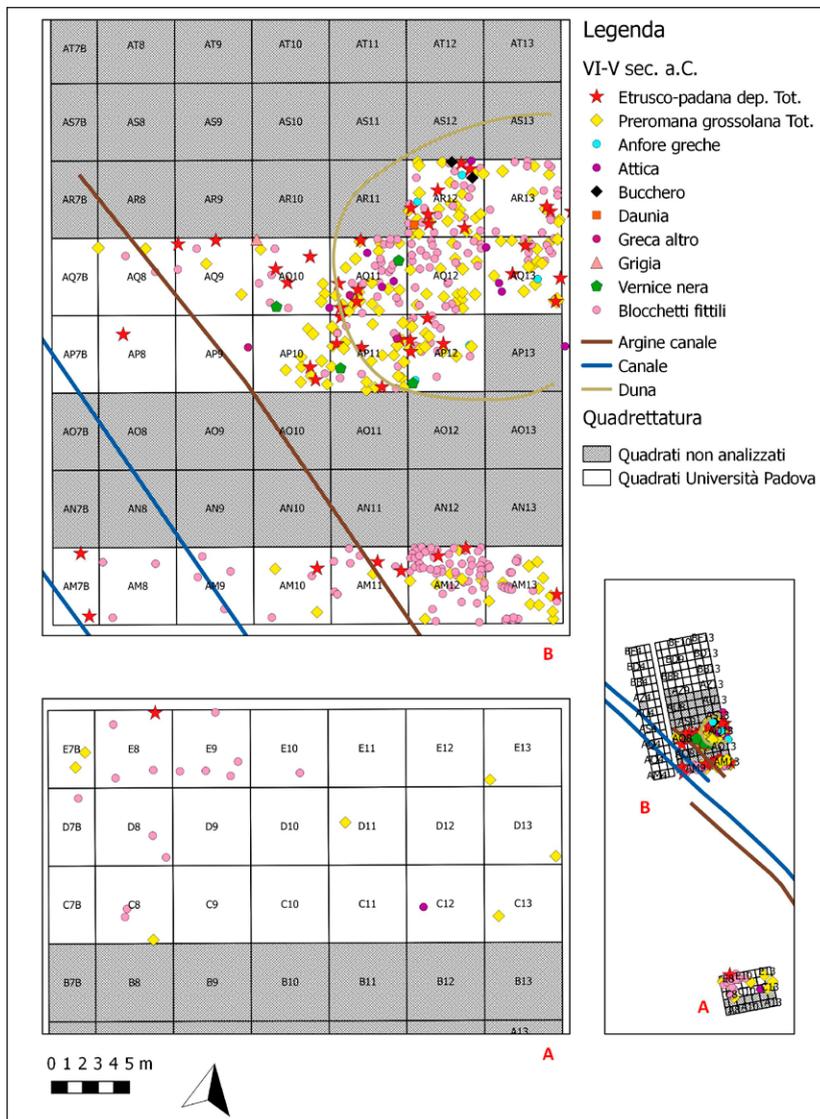


Fig. 5 – Distribuzione spaziale dei materiali del VI-V sec. a.C. per tipologia.

Osservando la carta (Fig. 5), è possibile notare come la ceramica che rientra in questo intervallo cronologico si concentri a NE della “quadrettatura nord”, nell’area delle sabbie, risulti rara nell’area più a O e nella fila AM, mentre la sua presenza sia praticamente inesistente nella “quadrettatura sud”. Rispetto

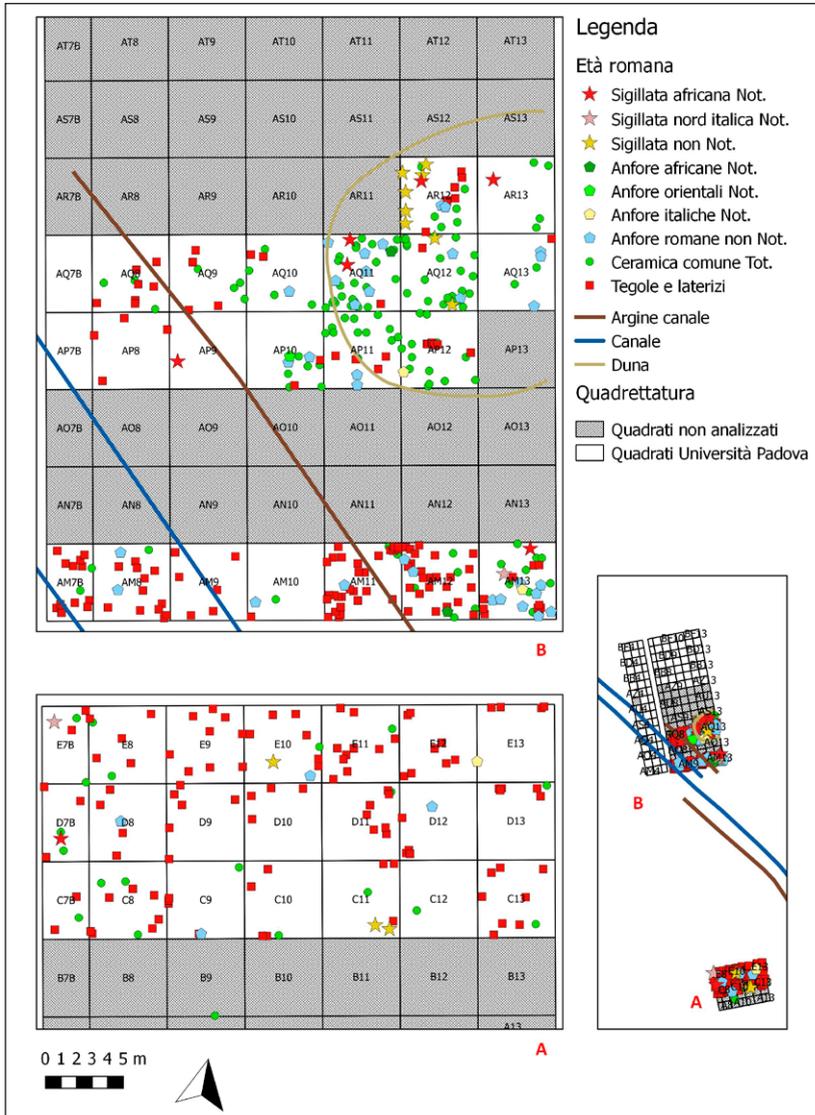


Fig. 6 – Distribuzione spaziale dei materiali di età romana per tipologia.

ai dati da telerilevamento, i materiali preromani si concentrerebbero nell'area della duna per rarefarsi in corrispondenza del canale e dei suoi argini naturali.

Lo stesso procedimento è stato applicato anche alla ceramica di età romana. Essendo i frammenti diagnostici numericamente inferiori rispetto

a quelli preromani, tale ceramica è stata assegnata a un unico intervallo cronologico, all'interno del quale sono stati inseriti sia i frammenti per i quali è stato possibile fornire un inquadramento più preciso, sia quelli generalmente definibili come romani. Anche in questo caso si è deciso di aggiungere alla carta il materiale edilizio, romano, ovvero tegole e laterizi.

Analizzando la carta relativa a questa fase (Fig. 6) è possibile affermare come tutta l'area dell'abitato preromano sia stata rioccupata in epoca romana: concentrazioni di materiale si trovano infatti nei quadrati AM, in questo caso in quantità maggiore rispetto a quello preromano, e anche nei quadrati corrispondenti alle sabbie, ovvero nell'area in cui sorgeva l'abitato preromano. Una novità è costituita dal visibile aumento di materiale nella "quadrettatura sud": anche se in questa parte della quadrettatura è stato raccolto in generale meno materiale rispetto alla "quadrettatura nord", questo risulta nella quasi totalità romano.

Infine, dall'analisi delle carte cronologiche si può facilmente osservare come l'area del canale che attraversa il campo indagato nei quadrati AM7B, AM8 e in parte di AM9, nonché quella subito a E di questo, corrispondente alla matrice M3 nei quadrati AM9, AM10, AP8, AP9, AQ8, AQ9, presentino



Fig. 7 – Confronto tra la carta relativa al VI-V sec. a.C. (a) e la carta relativa all'età romana (b) per la quantità di materiale presente in corrispondenza della traccia del canale (da fotogramma Re.VEN. - Delta Po 0795 del 2008).

rari frammenti inquadrabili tra il VI e il V secolo a.C. (Fig. 7a), mentre per la fase cronologica romana, risultino ricchi di materiale, soprattutto di tegole e laterizi (Fig. 7b).

G.I.

4.3 Classificazione numerica

Come già accennato, il “metodo 2” è stato applicato principalmente alla ceramica totale, ai concotti semplici e alle tegole e laterizi. Analizzando i risultati ottenuti mediante la classificazione numerica, per quanto riguarda la ceramica (Fig. 8a) risulta evidente come la maggiore presenza si attesti in corrispondenza dei quadrati più a E della fila AM e nella porzione NE della “quadrettatura nord”. Unendo questo dato alla traccia corrispondente all’antica duna sabbiosa visibile da foto aerea e riconosciuta anche sul campo (cfr. § 4.1), è possibile affermare che la maggior parte dei frammenti ceramici si trovi in corrispondenza delle sabbie, nelle matrici M3, M4 e M5.

Passando ai concotti semplici e al materiale edilizio preromano, ovvero i blocchetti, gli aggregati d’argilla – masse informi di colore grigio o beige, talvolta con impressioni di canne palustri – e i concotti decorati – particolari blocchetti, di forma subrettangolare, con una parte liscia e l’altra diteggiata (Fig. 8b) – i risultati della classificazione mostrano come questi, poco numerosi ma comunque presenti ed equamente distribuiti nella “quadrettatura sud”, si concentrino invece in quella “nord” nei quadrati AM11, AM12 e AM13 e nelle sabbie, mentre compaiano in numero assai inferiore in corrispondenza del canale e a E di questo.

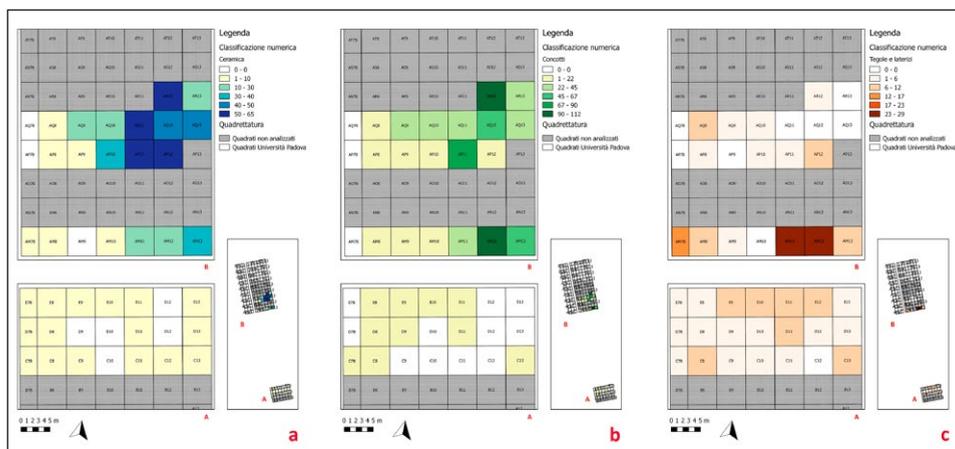


Fig. 8 – Metodo della classificazione numerica applicato alla ceramica (a), ai concotti (b) e a tegole e laterizi (c).

Infine, concentrandoci sulla classificazione delle tegole e dei laterizi di epoca romana (Fig. 8c), è possibile osservare che questi appaiono più numerosi rispetto ai concotti nella “quadrettatura sud”, anche se non in numero particolarmente elevato, così come sono abbondanti nei quadrati AM7B, AM8, AM12 e AM13, mentre risultino rari in prossimità delle sabbie. Dato interessante è il fatto che siano numerosi nei quadrati AM7B e AM8, ovvero quelli corrispondenti al canale.

G.I.

5. CONFRONTO TRA CLUSTER ANALYSIS E CLASSIFICAZIONE NUMERICA

Avendo effettuato sia analisi spaziali che quantitative, è stato possibile confrontare, all'interno del GIS, i risultati della cluster analysis e della classificazione numerica, con l'obiettivo di comprendere limiti e potenzialità dei due metodi nella lettura dei dati.

Le analisi di concentrazione, realizzate per concotti e tegole e laterizi a partire dallo shapefile “materiali”, sono state effettuate prima in modo automatizzato, ovvero sfruttando le heatmap a raggio 5 e 10 m, e successivamente in modo manuale; quest'ultimo approccio, basato sulla contemporanea lettura

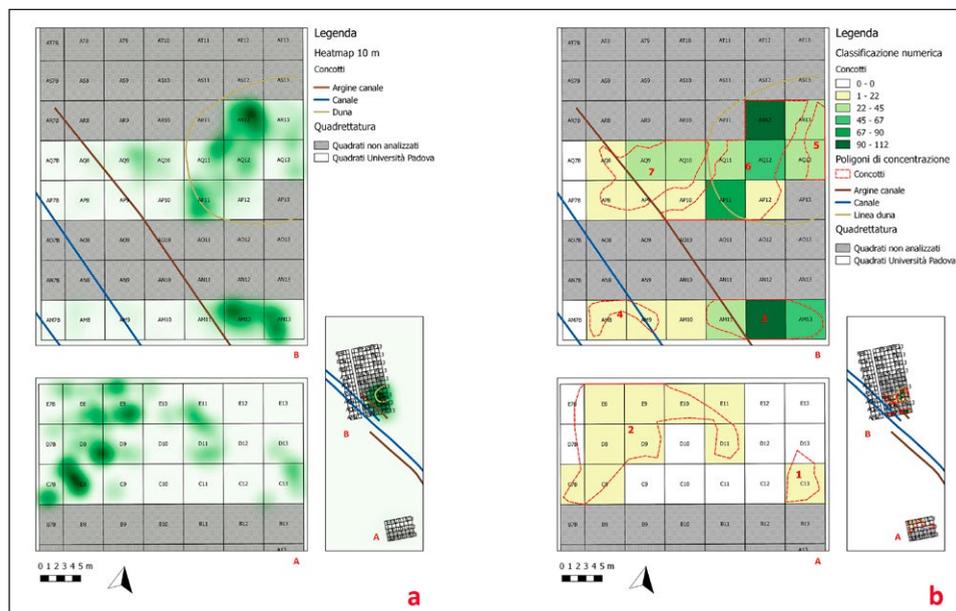


Fig. 9 – Confronto tra heatmap a 10 m (a) e classificazione numerica con i poligoni di concentrazione (b) per la categoria dei concotti.

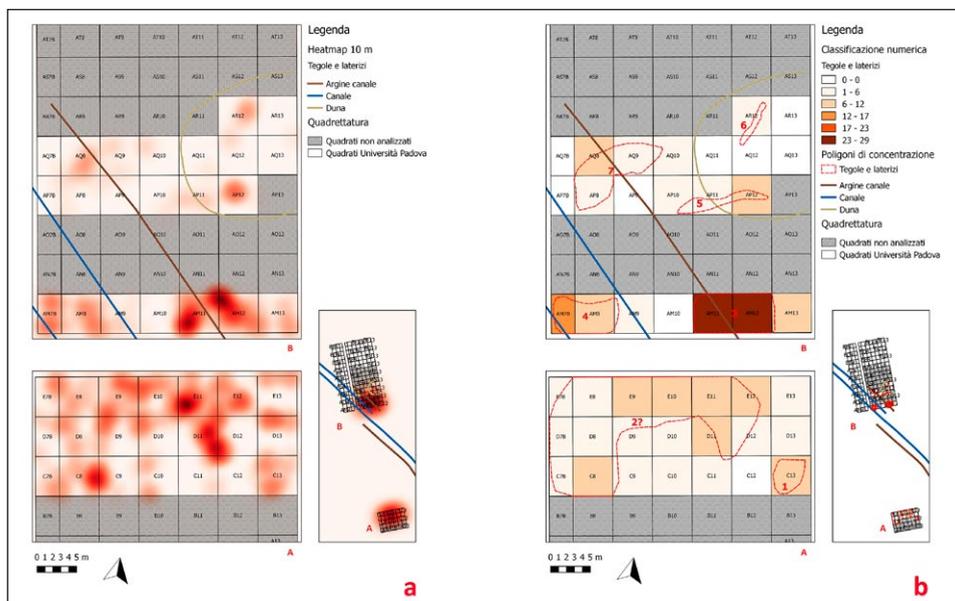


Fig. 10 – Confronto tra heatmap a 10 m (a) e classificazione numerica con i poligoni di concentrazione (b) per la categoria di tegole e laterizi.

delle heatmap e dei punti dello shapefile, ha permesso di selezionare e discretizzare le concentrazioni e di definire così, all’interno della quadrettatura, sette “poligoni di concentrazione” sia per la categoria dei concotti che per quella delle tegole e laterizi. Va sottolineato che questa operazione, funzionale alla formalizzazione e quindi alla precisa definizione spaziale dei cluster, si è rivelata fondamentale per il confronto con la classificazione numerica dei dati per ogni quadrato. Anche per questa metodologia sono stati considerati i dati quantitativi per la classe dei concotti e per quella delle tegole e laterizi e la categorizzazione è stata effettuata secondo intervalli uguali.

Il confronto tra i risultati dei due metodi è visibile, a livello grafico, nelle Figg. 9 e 10: alle carte con le heatmap sono state affiancate quelle dei quadrati classificati sulla base del numero di occorrenze, a cui sono stati inoltre sovrapposti i “poligoni di concentrazione” descritti poco sopra.

Prima di procedere con il confronto effettivo, va sottolineato che la comparazione è stata effettuata solo per le categorie dei concotti e delle tegole e laterizi poiché essi presentano un campione significativo di materiali a livello quantitativo e quindi meglio possono evidenziarsi le peculiarità dei due metodi di analisi.

G.I., D.V.

5.1 *Concotti*

Analizzando le heatmap realizzate per i “concotti” è possibile osservare come la “quadrettatura sud” presenti una distribuzione moderatamente sparsa dei materiali, con una maggiore densità nei quadrati C8 e D8 ma senza concentrazioni significative; in questa zona può essere identificata un’area circoscritta a bassa densità di materiali, definita dal “poligono di concentrazione” 2. Anche la classificazione numerica della “quadrettatura sud” restituisce un quadro abbastanza omogeneo, dove emerge, complessivamente, un basso numero di materiali per quadrato. Per quest’area, la classificazione numerica sembra dar conto anche della distribuzione dei materiali, per quanto non si colga pienamente la sua effettiva estensione (Fig. 9).

Nella “quadrettatura nord” la situazione è molto più articolata. Le cluster analysis – sia automatizzate che condotte “manualmente” (cfr. § 5) – permettono di definire cinque “poligoni di concentrazione” – 3, 4, 5, 6 e 7 – ognuno dei quali caratterizzato da diverse densità ed estensione. La classificazione numerica fornisce invece, in questo caso, un quadro molto più lineare, caratterizzato da un elevato numero di materiali nelle colonne di quadrati 11 e 12 che progressivamente va a sfumare in quelle adiacenti (Fig. 9). Risulta evidente quindi come, almeno utilizzando una maglia di quadrati 5x5 m e suddividendo i dati per intervalli uguali, la classificazione numerica, oltre a restituire un quadro semplificato della distribuzione dei materiali, non permetta di distinguere le aree a bassa densità di materiale e i vuoti effettivi.

Se si confrontano i risultati dei due approcci di analisi in rapporto ai dati da telerilevamento si nota come in corrispondenza della duna sabbiosa si registri un’alta densità di materiali, ravvisabile sia in termini quantitativi che di concentrazione. In corrispondenza del canale invece, se da un lato, con l’analisi di concentrazione, si individua un cluster di materiali, per quanto limitato, dall’altro la classificazione non rivela alcuna anomalia (Fig. 9).

G.I.

5.2 *Tegole e laterizi*

In corrispondenza della “quadrettatura sud”, le heatmap realizzate per “tegole e laterizi”, analogamente a quanto documentato per i concotti, riflettono una distribuzione moderatamente omogenea dei materiali; sebbene si riscontri un leggero aumento nella loro densità in corrispondenza dei quadrati D11 ed E11, l’omogeneità che si rileva in quest’area ha permesso di tracciare un solo “poligono di concentrazione”. Il quadro avanzato per questa parte di quadrettatura sembra essere confermato anche dalla classificazione numerica, ma in questo caso si riconoscono tre gruppi di quadrati con un numero più elevato di occorrenze rispetto alla norma (C8; E9-E12, D11; C13) (Fig. 10).

Anche in questo caso, in corrispondenza della “quadrettatura nord”, la situazione si presenta più complessa. A partire dallo shapefile “materiali” e dalle heatmap è stato possibile delineare i cinque “poligoni di concentrazione” 3, 4, 5, 6 e 7, due dei quali, il 5 e il 6, risultano di estensione inferiore rispetto agli altri, a conferma della minore distribuzione della categoria di materiale nei quadrati AP10, AP11, AP12 e AR12, dimostrata anche dal dato quantitativo della classificazione numerica (Fig. 10). Diverso si presenta invece il quadro nella fila AM, in cui i poligoni di maggiore estensione, corrispondenti ad aree caratterizzate da una più alta concentrazione di tegole e laterizi, riflettono le informazioni fornite dalla classificazione numerica la quale mostra, infatti, nei quadrati AM7B, AM11 e AM12 una quantità di materiali maggiore che decresce poi in quelli adiacenti (Fig. 10).

Per questa categoria di materiali quindi, con una maglia di 5×5 m e con una divisione in intervalli uguali, la classificazione numerica, pur semplificando il dato distributivo, consente di distinguere in maniera più chiara, a differenza di quanto visto per i concotti, le diverse densità di materiale.

Soffermandoci, infine, sulla possibilità di rapportare i due approcci con i dati da telerilevamento, in corrispondenza della duna sabbiosa non si evidenzia alcuna particolarità, mentre sul canale – ovvero nei quadrati AM7B e AM8 – si riscontra sia un aumento nella concentrazione dei materiali, ravvisabile dalla cluster analysis, sia un aumento del loro numero, testimoniato dalla classificazione numerica; una generale diminuzione delle occorrenze è documentata nei quadrati che cadono sulla traccia dell’argine naturale (Fig. 10).

G.I.

6. CONCLUSIONI

Le analisi condotte a partire dai dati raccolti sul campo hanno permesso non solo di confermare, ma anche di implementare le conoscenze storiche e paleoambientali della fase preromana del sito di San Basilio.

6.1 *Insedimento, paleoambiente e trasformazioni del paesaggio antico*

La presenza quasi esclusiva nell’area delle sabbie di materiale preromano avvalorerebbe infatti la localizzazione dell’abitato sull’alto morfologico costituito dalle antiche dune che caratterizzavano il territorio, come già affermato dalla letteratura (DE MIN, IACOPOZZI 1986; SALZANI, VITALI 1988, 2002). I risultati della ricognizione hanno inoltre permesso di evidenziare come il deposito archeologico preromano localizzato sulle dune, e quindi a una quota più alta, sia stato però intaccato dagli spianamenti e dai lavori agricoli di epoca moderna come testimonia il ritrovamento in superficie, nei quadrati

corrispondenti a una matrice sabbiosa, di materiale riconducibile alle fasi più antiche dell'abitato.

I reperti individuati nella fila più meridionale della “quadrettatura nord”, invece, permettono di ipotizzare che si tratti dell'area corrispondente alle pendici della duna che digradavano progressivamente avvicinandosi alla base. Di conseguenza, anche il deposito archeologico si collocherebbe ad una profondità maggiore, facendo presupporre l'occupazione preromana anche nell'area intradunare, dato già intuibile dagli scavi degli anni '80 (SALZANI, VITALI 1988, 2002). Una situazione analoga potrebbe riscontrarsi anche per la “quadrettatura sud”: qui, l'esigua quantità di materiale preromano potrebbe indicare un'assenza di stratificazione archeologica corrispondente a tale fase, ma non si può affatto escludere che anche in quest'area il deposito si conservi ad una maggiore profondità.

Per quanto riguarda infine la porzione di quadrettatura che intercetta il canale, la visibile differenza di densità di materiale tra epoca preromana e romana permette di ipotizzare che il canale sia stato colmato in epoca romana anche attraverso l'utilizzo di materiale edilizio. Tuttavia, non è possibile comprendere, in assenza di dati di scavo, se sia stato tracciato già in epoca preromana, probabilmente sfruttando un'area paludosa intradunare o se la sua realizzazione sia avvenuta solo in epoca romana.

6.2 *Potenzialità dei metodi di analisi integrati*

Da un punto di vista metodologico, il caso studio presentato sottolinea le potenzialità dell'integrazione tra le analisi dei pattern di distribuzione e i metodi statistici di classificazione dei dati, applicati sfruttando rispettivamente la cluster analysis e la classificazione numerica. Con le analisi di concentrazione tendenzialmente si identificano dei pattern che descrivono la configurazione spaziale dei dati, in questo caso i materiali; le diverse categorie di distribuzione spaziale che i dati possono assumere, che si riassumono in random, concentrata e regolare ma che spesso – almeno in ambito archeologico – sono in realtà formule intermedie o sfumate tra queste tre classi, non necessariamente vengono assegnate in modo oggettivo, ma derivano in molti casi dall'interpretazione dell'operatore. Ciò invece non può accadere nell'ambito della classificazione numerica, dove il dato quantitativo associato ad un elemento, in questo caso il quadrato, è attribuito a monte ed eventualmente può dipendere dal metodo di campionamento; la scelta dell'operatore quindi risiede nell'adottare, tra i metodi di classificazione noti, quelli che possono meglio descrivere, a livello statistico, i dati raccolti.

Delineati i presupposti alla base dei due approcci, è evidente come essi elaborino le informazioni in direzioni diverse, assolutamente non discordanti, ma che se utilizzati in modo non integrato descrivono solo un quadro

parziale. In questo senso, come si è visto nel caso di studio analizzato, da un lato la classificazione numerica dei quadrati ha permesso di distinguere la varietà nella densità di materiale all'interno delle concentrazioni identificate (cfr. § 5.2) e, dall'altro lato, gli stessi poligoni di concentrazione hanno tracciato un quadro più articolato della distribuzione dei materiali rispetto a quanto intuibile osservando le variazioni quantitative nell'ambito della classificazione (cfr. § 5.1).

Ovviamente, l'utilizzo di uno dei due metodi di processamento dei dati o, ancora meglio di entrambi, dipende dai modi di campionamento e di registrazione delle informazioni, che derivano dalla natura dell'indagine e quindi dalla "domanda archeologica" a monte. Nell'ambito di una survey intensiva come quella progettata a San Basilio, dove si è tentato di registrare sia in termini qualitativi che quantitativi le informazioni emerse, è stato possibile utilizzare entrambi i metodi in fase di post-processing anche in relazione alle tracce del paesaggio antico. Questo approccio, ovviamente perfezionabile, ma che ha permesso di definire un quadro spaziale e quantitativo approfondito dei materiali in emersione agraria, potrà essere utilizzato anche in futuro ma andrà necessariamente ricalibrato – nei modi di registrazione dei dati – in relazione alla tipologia di survey intrapresa.

Se una ricognizione ha anche l'obiettivo di individuare un'area promettente per uno scavo in open area, alla registrazione e allo studio dei materiali da superficie – e in questo caso anche delle matrici – vanno integrate le analisi dei dati da telerilevamento e DEM, a cui possono aggiungersi altri metodi non invasivi o debolmente invasivi come la geofisica o i sondaggi geognostici.

Il caso di San Basilio, dove l'aerofotointerpretazione ha permesso di distinguere delle feature del paesaggio antico, mostra come, sulla base della distribuzione e della quantità dei materiali da superficie, l'occupazione antropica sembra aver interessato maggiormente la zona della duna sabbiosa. Questa evidenza, anche sulla base della lettura delle matrici in emersione, potrebbe indicare, come già detto, che in quest'area il deposito sia stato maggiormente intaccato dall'impatto agrario e che quindi un saggio stratigrafico potrebbe non individuare lembi di deposito antropico ancora conservato. Tuttavia, dato che i metodi di analisi presentati in questo contributo possono restituire esclusivamente un quadro orizzontale delle informazioni, non si può escludere che sotto le sabbie in emersione, che potrebbero essere state in parte trascinate dagli spianamenti contemporanei, si nasconda una stratificazione antropica ancora conservata.

GIULIA IADICICCO, DAVID VICENZUTTO, SILVIA PALTINERI

Dipartimento dei Beni Culturali: archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica
Università degli Studi di Padova

giulia.iadicicco@studenti.unipd.it, david.vicenzutto@unipd.it, silvia.paltineri@unipd.it

BIBLIOGRAFIA

- BALISTA C., DE GUIO A., FERRI R., VANZETTI A. 1992, *Geoarcheologia delle Valli Grandi Veronesi e Bonifica Padana (Rovigo): uno scenario evolutivo*, in P. CASSOLA GUIDA, G. ROSADA (eds.), *Tipologia di insediamento e distribuzione antropica nell'area veneto-istriana dalla protostoria all'alto medioevo*, Mariano del Friuli, Edizioni della Laguna, 111-123.
- BERTI F., GUZZO P.G. 1993, *Spina. Storia di una città tra Greci ed Etruschi*, Catalogo della mostra, Ferrara, Ferrara arte.
- BONOMI S., D'ABRUZZO M., MENGOTTI C., TONIOLO A. 1982, *Testimonianze di traffici commerciali in età romana nel delta padano attraverso alcune classi di materiali dello scavo di San Basilio di Ariano Polesine (Rovigo) (anni 1979-1980)*, «Padusa», 18, 1-17.
- BONOMI S., GAMBACURTA G. 2017, *Adria. L'abitato etrusco*, in C. REUSSER (ed.), *Spina - Neue Perspektiven der archäologischen Erforschung. Tagung an der Universität Zürich vom 4.-5. Mai 2012*, Zürich, VMLVerlag Marie Leidorf, 69-74.
- CASTIGLIONI G.B., BONDESAN A., BONDESAN M., CAVALLIN A., GASPERI G. 1997, *Carta geomorfologica della Pianura Padana. 3 Fogli alla scala 1:250.000*, Firenze, S.EL.CA.
- CIABATTI M. 1966, *Ricerche sull'evoluzione del delta padano*, «Giornale di Geologia», 34, 2, 381-410.
- CIABATTI M. 1968, *Gli antichi delta del Po anteriori al 1600*, in *Atti del Convegno internazionale di studi sulle antichità di Classe (Ravenna 1967)*, Ravenna, A. Longo Editore, 23-33.
- CONOLLY J., LAKE M. 2006, *Geographical Information Systems in Archaeology*, New York, Cambridge University Press (<https://doi.org/10.1017/CBO9780511807459>).
- CORNELIO CASSAI C., GIANNINI S., MALNATI L. (eds.) 2017, *Spina. Scavi nell'abitato della città etrusca 2007-2009*, Quaderni di Archeologia dell'Emilia Romagna, 37.
- D'ABRUZZO M. 1983, *Sigillata nord-italica da San Basilio di Ariano nel Polesine (Rovigo)*, «Archeologia Veneta», 6, 93-106.
- DALLEMULLE U. 1977, *San Basilio (Ariano Polesine). Scavo nell'area di un insediamento romano. Luglio 1977*, «Padusa», 12, 154-160.
- DALLEMULLE U. 1978, *San Basilio (Ariano Polesine): seconda campagna di scavo. Agosto 1978*, «Padusa», 13, 113-124.
- DALLEMULLE U. 1986, *La villa rustica di San Basilio*, in M. DE MIN, R. PERETTO (eds.), *L'antico Polesine. Testimonianze archeologiche e paleoambientali*, Catalogo delle esposizioni, Padova, Antoniana, 185-188.
- DEIANA R., VICENZUTTO D., DEIDDA G.P., BOAGA J., CUPITÒ M. 2020, *Remote sensing, archaeological and geophysical data to study the terramare settlements: The case study of Fondo Paviani (Northern Italy)*, «Remote Sensing», 12, 2617, 1-21 (<https://doi.org/10.3390/rs12162617>).
- DE MIN M. 1988, *L'abitato arcaico di San Basilio*, in R. DE MARINIS (ed.), *Gli Etruschi a nord del Po*, II, Catalogo della mostra, Mantova, Campanotto Editore, 84-90.
- DE MIN M., IACOPOZZI E. 1986, *L'abitato arcaico di San Basilio*, in M. DE MIN, R. PERETTO (eds.), *L'antico Polesine. Testimonianze archeologiche e paleoambientali*, Catalogo delle esposizioni, Padova, Antoniana, 171-179.
- GAMBACURTA G. 2014, *L'insediamento antico di San Basilio di Ariano nel Polesine, in Dalla catalogazione alla promozione dei beni archeologici: i progetti europei come occasione di valorizzazione del patrimonio culturale veneto*, Venezia, Centrooffset Master, 305-308.

- GARATTI G., PALTINERI S. 2021, *L'Eridano, il Po e i suoi rami. Un paesaggio culturale e le sue trasformazioni tra fonti letterarie e testimonianze archeologiche*, «Archeologia Veneta», 44, 54-65.
- GAUCCI A. 2021, *Iscrizioni della città etrusca di Adria. Testi e contesti tra arcaismo ed ellenismo*, Bologna, Bononia University Press.
- GORINI G., PEPE M. 2009, *Il ripostiglio di San Basilio (Ariano Polesine-Rovigo): denari e quinari di età repubblicana*, «Rivista italiana di numismatica e scienze affini», 110, 43-88.
- HARARI M. 2004, *Una definizione di Spina*, in F. BERTI, M. HARARI (eds.), *Storia di Ferrara. Volume II. Spina tra archeologia e storia*, Ferrara, Corbo Editore, 37-50.
- LOCK G.R. 2003, *Using Computers in Archaeology. Towards Virtual Pasts*, New York, Taylor and Francis Ltd.
- NEGRELLI C., ABBÀ T., NINFO A., MOZZI P. 2013, *San Basilio di Ariano Polesine*, in *Archeologia e paesaggio nell'area costiera veneta: conoscenza, partecipazione e valorizzazione*, Cittadella, Biblos, 76-85.
- PALTINERI S., ROBINO M.T.A. 2016, *Le ultime fasi del sito di San Cassiano di Crespino e le trasformazioni nell'entroterra di Adria*, in E. GOVI (ed.), *Il mondo etrusco e il mondo italico di ambito settentrionale prima dell'impatto con Roma (IV-II sec. a.C.)*, *Atti del Convegno (Bologna 2013)*, Roma, Giorgio Bretschneider Editore, 275-301.
- PALTINERI S., ROBINO M.T.A., SMOQUINA E. 2018, *Il complesso di San Cassiano di Crespino (RO): aspetti culturali e rapporti con il territorio*, «Annali della Fondazione per il Museo "Claudio Faina"», 25, 707-749.
- PERETTO R. 1994, *Le Balone. Insediamento etrusco presso un ramo del Po*, Catalogo della mostra, Rovigo, Palazzo Roncale.
- PERETTO R., BEDETTI S. 2013, *Trasparenze di paesaggi. Atlante aerofotografico del Polesine*, Padova, Tipografia Arte Stampa.
- PERETTO R., VALLICELLI M.C., WIEL MARIN F. 2002, *L'entroterra di Adria: conoscenze archeologiche e paleoambientali*, «Padusa», 38, 91-114.
- PIOVAN S., MOZZI P., ZECCHIN M. 2012, *The interplay between adjacent Adige and Po alluvial system and deltas in the late Holocene*, «Géomorphologie: relief, processus, environnement», 18, 4, 427-440 (<https://doi.org/10.4000/geomorphologie.10034>).
- SALZANI L., VITALI D. 1988, *L'abitato arcaico di San Basilio di Ariano Polesine*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 4, 37-40.
- SALZANI L., VITALI D. 1991, *San Basilio (Comune di Ariano Polesine)*, «Studi Etruschi», 57, 415-419.
- SALZANI L., VITALI D. 2002, *Gli scavi archeologici nel podere Forzello a San Basilio di Ariano Polesine*, «Padusa», 38, 115-138.
- SASSATELLI G. 2017, *La città e il sacro in Etruria padana: riti di fondazione, culti e assetti urbanistico-istituzionali*, in E. GOVI (ed.), *La città etrusca e il sacro. Santuari e istituzioni politiche*, *Atti del Convegno (Bologna 2016)*, Bologna, Bologna University Press, 181-204.
- TONIOLO A. 1984, *Ceramica di uso comune da S. Basilio di Ariano nel Polesine (Rovigo)*, «Archeologia Veneta», 7, 199-211.
- TONIOLO A. 1987, *L'insediamento di S. Basilio di Ariano Polesine*, in E. BUCHI, G. CAVALIERI MANASSE (eds.), *Il Veneto nell'età romana. Note di urbanistica e di archeologia del territorio*, Verona, Banca Popolare di Verona, 302-308.
- WHEATLEY D., GILLINGS M. 2002, *Spatial Technology and Archaeology*, London, Taylor and Francis Ltd (<https://doi.org/10.1201/b12806>).
- ZAMBONI L. 2016, *Spina città liquida. Gli scavi 1977-1981 nell'abitato e i materiali tardo-arcaici e classici*, Leidorf, VMLVerlag Marie Leidorf.

ABSTRACT

This paper focuses on a multidisciplinary approach used mainly in the post-processing of the data collected in the intensive survey carried out in 2018 in San Basilio di Ariano nel Polesine (RO). At first, the interpretation of aerial photos and the DTM processing for the area of San Basilio have been used to identify features of the ancient landscape before the field survey, in order to better plan the investigations; the results of the analysis on remote sensing and DTM data have been also used during the post-processing phase. Then, the data collected in the field have been digitalized, organized and processed in a database and a GIS, using both cluster analysis and data classification. The research has allowed us not only to confirm and expand the context of the historical and environmental evolution of the area during pre-Roman and Roman period, but also to reflect on the methodology used for the data collection and processing within an intensive field survey. In particular, cluster analysis and numerical classification methods have been compared in order to better understand their potentialities and limits in the data analysis.

MODÉLISATION SPATIALE AU PROCHE-ORIENT PHÉNICIEN À L'ÉPOQUE HELLÉNISTIQUE (IV^E-I^{ER} S. AV. N. È.)

1. INTRODUCTION

L'étude du territoire des cités phéniciennes au Proche-Orient (Fig. 1) a longtemps été une gageure, d'abord parce qu'on a trop souvent insisté sur l'aspect maritime des mondes phéniciens et puniques (GUILLON 2020a, 43-47), ensuite parce qu'au Proche-Orient la définition même de la Phénicie pose encore problème (BONNET *et al.* 2020, 24-25). En outre, les traces de l'occupation et de la construction de leur territoire par les États phéniciens sont restées évanescentes jusqu'à récemment (ABOU DIWAN *et al.* 2006, 115-116; GUILLON 2020a, 41-42)¹. Ernest Renan, lors de sa mission de Phénicie, en 1860-1861 (RENAN 1864), se désolait déjà de la rareté des témoignages laissés par des cités dont la tradition littéraire classique a pourtant souligné la puissance et la richesse.

Face à ce vide documentaire, les quelques études qui se sont courageusement attaquées aux questions d'étendue, de délimitation et de fonctionnement des territoires ont dû faire feu de tout bois en utilisant l'ensemble – restreint – des sources disponibles: sources littéraires extérieures comme les récits des historiens d'Alexandre ou le Périple du Pseudo Scylax (104) qui décrit la succession des villes et découpe politiquement la côte, au IV^e ou III^e s. av. n. è.; les témoignages épigraphiques extérieurs, comme les listes assyro-babyloniennes qui font état des tributaires et de ce qu'ils versent au pouvoir central; les émissions monétaires, qui livrent des indices tant sur les autorités politiques assurant les frappes que les circuits économiques; et bien entendu les sources archéologiques.

C'est ainsi que la confédération de cités gravitant autour d'Arwad a pu être esquissée (SEYRIG 1964; REY-COQUAIS 1974; DUYRAT 2005), tout comme les territoires tyrien (LEMAIRE 1991) et sidonien (ELAYI 1989; APICELLA 2002) pour certaines époques. Des questions demeurent pourtant sur la place de certaines cités comme Tripoli et Beyrouth, avant qu'elles deviennent indépendantes, ou sur le fonctionnement de territoires morcelés, comme ceux de Sidon et de Tyr, qui comprennent des sites sur la côte palestinienne. En fait, ces études permettent d'avoir des instantanés, qui se meuvent selon les différentes phases de l'histoire phénicienne. La Phénicie, plus qu'un espace, est finalement un concept dont les limites varient également selon les événements historiques pour lesquels ce terme est mobilisé (BONNET *et al.* 2020, 15-40).

Pourtant, à partir des années 2000, la question du territoire des cités phéniciennes bénéficie d'un nouvel éclairage. Le renouveau conceptuel des

¹ Les raisons sont diverses: guerre du Liban et actuellement guerre de Syrie, avec leur lot de destructions et de pertes, sous-développement de la prospection, retard des publications, etc.

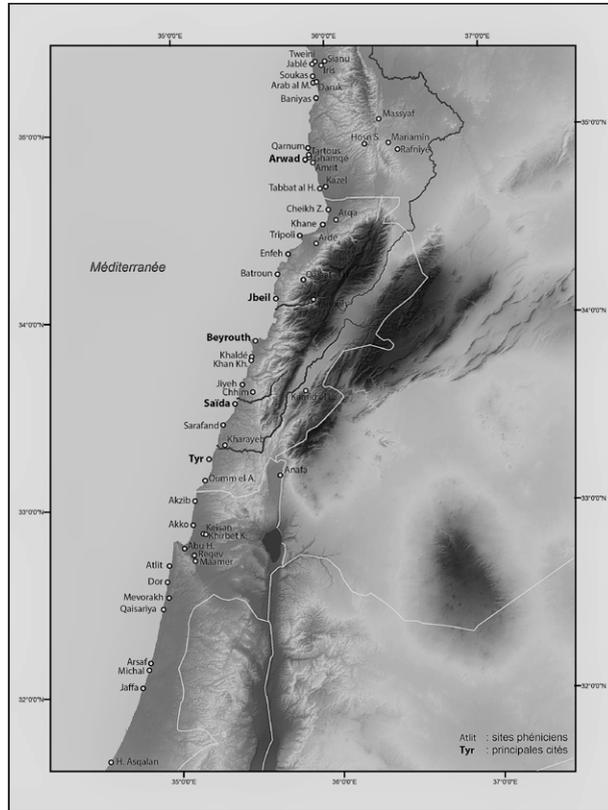


Fig. 1 – Carte des sites du corpus (É. Guillon).

études historiques méditerranéennes (HORDEN, PURCELL 2000 notamment) et l'introduction de l'espace comme une donnée à prendre en compte et non une toile de fond sur laquelle l'histoire se déroulerait (TOULZE 2003 ou WHITE 2010) permet de repenser à nouveaux frais le rapport des Phéniciens à leur environnement. Dans les territoires de l'expansion, où le thème de l'occupation du sol s'est imposé comme un thème majeur (VAN DOMMELEN, GÓMEZ BELLARD 2008), parfois depuis longtemps comme en Sardaigne (VAN DOMMELEN, FINOCCHI 2008, 162-164), d'intéressantes études montrent que les Phéniciens, à l'instar de leurs voisins méditerranéens, et en interaction avec les populations locales, développent des modèles d'occupation du sol et des interactions spatiales particuliers, permettant, par exemple, une gestion conjointe de zones définies (BOTTO *et al.* 2013). Dans ces modèles identifiés, les catégories typologiques traditionnelles des sites et des espaces (ville/campagne,

village/bourg/cité, etc.) sont par ailleurs largement remises en question face à la diversité des données et la répartition du mobilier (ROPPA 2013).

Dès lors, bénéficiant pleinement de ces avancées et de ces questionnements renouvelés, nous avons proposé pour la Phénicie, un peu en retrait de ce mouvement, une démarche similaire, sur une durée bien délimitée, la période hellénistique (IV^e-I^{er} s. av. n. è.): tenter de saisir les liens qu'entretenaient les cités avec leurs territoires qui, d'après la documentation archéologique, étaient plus complexes que ceux traditionnellement décrits entre une «banlieue» côtière (RENAN 1864, 836) fournissant quelques denrées et des villes «jetées à la mer» (HERM 1996, 77). L'enquête poursuit plusieurs ambitions, en particulier le regroupement et la mise en valeur de données anciennes; l'application à ces données de méthodologies d'étude de territoire et du monde rural pour sortir de l'image d'un espace trop souvent limité à un port de départ vers la Méditerranée; et enfin, compte tenu de la période définie, traditionnellement lue comme celle de grands bouleversements sur tous les plans, la tentative de saisir des évolutions spatiales, sans présupposé, à confronter avec les connaissances historiques que l'on possède par ailleurs.

Toutefois, contrairement à la Sardaigne ou d'autres territoires de l'expansion, les données concernant la Phénicie même sont bien plus modestes et disparates et souvent de qualité moindre (GUILLON 2020a, 91-94). L'ensemble de ces données est disponible sur la plateforme d'ArkeoGIS (ArkeoGIS - Partage et utilisation de données spatialisées sur le passé) et accessible sur simple demande auprès de ses administrateurs: <https://arkeogis.org/>.

Devant l'impossibilité de mener à bien une étude exhaustive d'un territoire donné, nous avons choisi une autre approche, inspirée de la géographie et déjà testée dans l'étude de plusieurs sociétés anciennes, protohistoriques ou antiques en particulier (GARMY *et al.* 2005a; NUNINGER *et al.* 2006; CAROZZA *et al.* 2008). Ainsi, s'est dessiné le contour d'une enquête interdisciplinaire², au départ de laquelle nous avons accepté le postulat raisonnable que les sites archéologiques dont provenait la documentation prise en compte avaient fonctionné ensemble, autrement dit qu'ils avaient formé un réseau d'interactions: échanges de biens, déplacements de personnes, pour des motifs politiques, religieux, commerciaux. En effet, cette approche par réseaux est bien adaptée à l'état très lacunaire du corpus de notre enquête, qui ne donne que peu ou pas d'informations sur les limites des cités ou les conceptions phéniciennes de l'espace.

Dans cette perspective, les questions portent non plus sur les limites, mais sur les dynamiques qui animent les territoires, sur les échanges, leur direction

² Celle-ci a été menée dans le cadre d'un doctorat, au sein de deux laboratoires de l'Université Toulouse Jean Jaurès: Patrimoine Littérature Histoire (PLH, dont l'équipe ERASME s'attache à l'étude de l'Antiquité et de ses réceptions) et GÉOgraphie De l'Environnement (GEODE), dont un axe porte sur l'étude des sociétés et des paysages anciens.

et leur nature, les circulations dans le territoire et les liens entre littoral, cœur urbain de la cité et arrière-pays. Les réseaux sont modélisés à partir des données disponibles et forment une image virtuelle qui n'est pas la réalité, mais qui est un outil, une aide pour l'appréhender dans toute sa complexité.

Plusieurs difficultés se posent d'emblée: la constitution du corpus des données, le plus large possible, le choix du modèle pour la phase de modélisation spatiale, la représentation du temps, car la période choisie couvre quasiment quatre siècles, et enfin le passage du cadre physique, archéologique, appréhendé par des observations ponctuelles (fouilles, prospections, etc.), à la représentation d'un réseau, conçu comme un outil d'analyse visuel, support d'une réflexion historique sur les territoires phéniciens. Ce sont principalement ces questions que nous abordons ensuite, avant d'en venir aux résultats.

2. L'ENREGISTREMENT DES DONNÉES

L'enregistrement des données constitue la première étape, le préalable au développement de l'enquête. La dimension exploratoire de notre enquête nous fait constituer un corpus de données historiques et archéologiques représentatif de l'état de la recherche des années 2000-2010, mais pas nécessairement exhaustif. La construction du corpus répond en outre à des critères simples, larges, mais appliqués systématiquement lors du dépouillement de la documentation: une implantation géographique dans les limites d'une grande Phénicie, s'étendant entre Jablé (ancienne Gabala), au Sud de Lattaquié, et Hirbet Asqalan (Ascalon) au Nord de Gaza et de la Méditerranée à l'Anti-liban; une phase d'occupation hellénistique reconnue sur le terrain ou dans les sources textuelles; des découvertes archéologiques publiées.

Le corpus comprend ainsi initialement 53 sites archéologiques, dont 51 ont pu être géolocalisés (Fig. 1) et ont donc pu intégrer la modélisation spatiale de réseaux. Chacun des sites a été enregistré dans une base de données relationnelle, reposant sur une architecture extrêmement simple comprenant quatre tables principales Sites, Infrastructures, Mobilier, Iconographie et Inscriptions. Chaque site peut contenir un ou plusieurs élément(s) d'infrastructure et/ou de mobilier qui eux-mêmes peuvent contenir un ou plusieurs élément(s) iconographique(s) et/ou une ou plusieurs inscription(s). Nous nous sommes affranchie d'une architecture plus contraignante, qui aurait inclus les secteurs de fouilles, les unités stratigraphiques etc., car la plupart du temps toutes ces précisions sont absentes des publications, dont beaucoup datent de la première moitié du XX^e siècle.

Nous avons enregistré l'ensemble des découvertes liées à chacun des sites, en soignant l'uniformisation et l'harmonisation de la saisie au moyen de listes déroulantes ou de règles de saisie clairement établies avant le début de l'enregistrement des données (pour la saisie des dates, par exemple). Ces données, bien que peu précises – les quantités sont souvent estimées (beaucoup, peu, rare,

abondant...) et, quant aux productions locales, notamment les céramiques, elles sont qualifiées dans toutes les fouilles anciennes de «fabrication locale», de «grossières», voire «de peu d'intérêt» – nous servent ensuite à définir le poids des sites, leur importance relative. La modélisation spatiale implique, en effet, de définir ce poids des sites, mais nous affranchit des catégories de sites définies *a priori*, de type habitat, nécropole, cité, ville, etc. En revanche, elle implique de remplir obligatoirement un champ de géolocalisation, pour travailler ensuite avec un SIG. Les données ont également été exportées sur la plateforme ArkeoGIS, une initiative institutionnelle qui permet de les rendre accessibles dans un environnement sécurisé et pérenne. La plateforme donne également la possibilité de les corriger et de les enrichir en cas de reprise de fouilles ou de nouvelles découvertes.

3. LA DÉMARCHE DE MODÉLISATION SPATIALE

La démarche de modélisation spatiale est déterminée en parallèle en tenant compte de plusieurs objectifs et contraintes.

3.1 *Le modèle gravitaire*

En premier lieu, cette démarche n'est pas destinée à obtenir une simple représentation cartographique, mais bien à soutenir une analyse spatiale. Autrement dit, la modélisation doit permettre de comprendre l'impact de l'environnement et de la distance, en tant que mesure d'éloignement, dans la répartition et l'interaction des sites considérés. Cet impact doit par ailleurs être quantifié. Pour ce faire, nous choisissons le modèle gravitaire. Ce modèle exprime mathématiquement le lien que l'on saisit intuitivement entre la propension des sites à interagir entre eux en fonction de leur importance et la distance qui les sépare grâce à sa fonction de frein de la distance: $I_{ij} = M_i \times M_j \times f(d_{ij})$, avec I_{ij} intensité d'interaction entre les lieux i et j , M_i et M_j masses respectives de i et de j , d_{ij} distance qui sépare i et j , et f fonction de frein de la distance, égale à $\exp(-\alpha d_{ij})$ (GARMY *et al.* 2005b, 6). Le modèle gravitaire a déjà largement été testé dans les sciences humaines et sociales et, dans un espace cohérent, il explique 60 à 80 % des interactions observées (PARROCHIA 2006, 1-2). Il présente également l'avantage d'être paramétrable, car le choix des coefficients peut être modulé, d'après les connaissances que nous avons du terrain. Enfin, si le modèle donne la direction des interactions (qui interagit avec qui), il n'en donne pas l'interprétation, qui reste le travail des spécialistes.

Le fait de choisir le modèle gravitaire implique cependant de résoudre plusieurs questions: le calcul des distances, la détermination des masses (ou poids) des sites et le paramétrage des coefficients. Chacune se résout grâce à des expérimentations impliquant des données de terrain mais aussi des choix à faire selon la connaissance du corpus et du contexte historique.

3.2 *Le calcul des distances*

La distance est comprise ici comme une mesure d'éloignement dont le franchissement nécessite un effort, une dépense d'énergie. Cette dépense est d'autant plus importante que l'espace phénicien est particulièrement hétérogène, avec ses plaines découpées et ses hauts reliefs tombant parfois à pic dans la mer ou ses passages limités entre la Méditerranée et les arrière-pays. En conséquence, le calcul de la distance s'est fait avec le logiciel ArcMAP, principal composant de la suite ArcGIS, et grâce à un modèle numérique de terrain (MNT) qui renseigne également l'altitude.

Le franchissement de la distance est calculé par un modèle de déplacement $V = A \times \exp(-B\alpha^2)$ qui prend en compte à son tour le relief, puisque α représente la pente, c'est-à-dire la différence d'altitude entre deux points, en degré. Bien évidemment, le modèle est réducteur, puisqu'il n'inclut pas d'autres facteurs qui peuvent intervenir sur le franchissement de la distance, comme le moyen de transport (à pied, à cheval, en bateau...), le désir de déplacement³, etc. Pourtant, en l'absence d'autres informations sur la façon dont les Phéniciens concevaient leurs déplacements, le modèle permet d'inclure une contrainte non négligeable, en particulier compte tenu du contexte géographique levantin. Ce modèle a été testé dans de nombreuses études et présente des valeurs tout à fait probables: $A = 4 \text{ km.h}^{-1}$ qui est la vitesse d'un piéton marchant sur un terrain plat, $B = 0.08$ qui est une constante d'effort évaluée empiriquement. Au final, le modèle, appliqué au MNT de l'espace phénicien, donne une surface de friction, autrement dit le temps de franchissement d'un pixel du MNT en fonction de la pente, exprimé en minutes décimales. La surface de friction permet d'obtenir enfin les distances de chaque site vers tous les autres.

3.3 *La détermination des masses des sites*

Une fois les distances obtenues, reste à déterminer la masse des sites, autrement dit leur importance relative. Ce travail de réflexion sur le classement des sites se heurte rapidement à la difficulté du choix des critères, applicables à l'ensemble des sites et quantifiables. Or, comme nous l'avons déjà mentionné, l'hétérogénéité des données disponibles complique grandement cette tâche. En nous inspirant de travaux menés en France sur des corpus encore plus hétéroclites (DURAND-DASTÈS *et al.* 1998), nous évaluons la documentation par une méthode simple et systématique: nous constituons une liste de descripteurs, nommés attributs, qui doivent être partagés par plusieurs des sites du corpus. En effet, s'ils sont partagés par tous, ils ne sont pas assez

³ Qui est conditionné au motif du déplacement et qui influe sur la perception de la distance. Par exemple, un pèlerinage dans un sanctuaire important n'est pas évalué comme un déplacement sur un marché, pour voir des proches, etc.

	Période 1	Période 2	Période 3
Sources littéraires	Mention dans une source littéraire		
Structures	Fortifications		
	Bâtiments publics		
	Port construit		
	Zone "industrielle"		
	Édifice culturel civique		
	Atelier monétaire		
Mobilier	Céramique à vernis noir		
	Assiettes à poisson	Assiettes à poisson	Assiettes à poisson
		Bols à reliefs	Bols à reliefs
		<i>Eastern Sigillata A</i>	<i>Eastern Sigillata A</i>
	<i>Unguentaria</i>	<i>Unguentaria</i>	
	Amphores	Amphores	

Fig. 2 – Tableau des descripteurs utilisés pour définir la masse des sites et leur typologie.

discriminants et tous les sites ont alors le même profil; au contraire, s'ils ne sont pas partagés, ils le sont trop et aucune comparaison n'est possible entre les sites. Au final, ce sont une douzaine d'attributs qui sont retenus (Fig. 2). Ces attributs sont définis par période.

En effet, si l'implantation des sites, en particulier celle des plus importants comme les cités, a très peu varié durant toute l'époque hellénistique, tout comme les grandes caractéristiques environnementales (emplacement des reliefs et des passages, des cours d'eau, par exemple), en revanche, les infrastructures et le mobilier ont considérablement changé. Pour analyser plus finement les relations spatiales des sites, à partir du corpus, des intervalles de temps ont été déterminées, qui correspondent également à des temps forts politiques: le IV^e et le III^e siècles av. n. è. sont la transition entre la fin de l'Empire perse et la mise en place des deux royaumes hellénistiques, lagide et séleucide, se partageant la Phénicie. Cette période est celle durant laquelle perdure un héritage perse, mis à profit par les nouveaux dirigeants, en particulier dans l'organisation politique et administrative du territoire.

Le II^e siècle correspond à la réunion de toute la Phénicie dans le seul royaume séleucide, après la conquête d'Antiochos III vers 200 av. n. è. Les cités conservent l'autonomie qu'elles avaient acquise les siècles précédents, mais des changements, politiques et territoriaux sont notables: reconquête de territoires agricoles situés sur l'ancienne frontière des royaumes lagide et séleucide, rétablissement de voies de communication... Enfin, un dernier intervalle comprend la toute fin du II^e siècle et le I^{er} s. av. n. è. Les cités s'affranchissent du pouvoir séleucide et affirment leur indépendance en inaugurant des «ères du peuple»; d'autres entités politiques, comme les Ituréens, émergent à leurs frontières, et le Levant connaît un vaste mouvement de restructuration territoriale.

Les attributs sont des mentions dans les sources littéraires, des éléments architecturaux et de mobilier, caractérisant les sites au cours des trois périodes

définies. Deux remarques ont émergé de cette sélection. La première est que la mention dans une source littéraire aurait pu être pondérée, par exemple par le nombre d'occurrences, par la longueur de la citation ou le type de la source écrite. C'est malheureusement un travail qui reste encore à mener. Ensuite, le mobilier comprend principalement des objets importés ou des reproductions de modèles régionaux et fait peu de place aux répertoires locaux, qui représentent pourtant la majorité des découvertes. Il s'agit d'un choix face aux données bien trop lacunaires des publications, qui classent régulièrement les fabrications locales dans une seule et même catégorie, sans distinction de forme ou de fonction.

Pour transformer ces attributs en une masse, ces derniers sont ensuite quantifiés. Encore une fois, le manque de précision des données nous empêche d'évaluer la qualité et la quantité de chacun des attributs, contrairement à d'autres projets, où ces deux aspects sont évalués dans la constitution de typologies *ad hoc* (NUNINGER *et al.* 2006, 6, 10 et 16.). C'est donc la présence ou l'absence de chaque descripteur, notée avec un système binaire, 0 = absence et 1 = présence, qui est évaluée (Fig. 3). Chaque site obtient ainsi un score, ramené à un pourcentage équivalent à sa masse. Les principales cités phéniciennes, à savoir Arwad, Byblos, Beyrouth, Sidon et Tyr, ne sont pas évaluées ainsi, bien qu'elles intègrent le corpus, et obtiennent directement le score maximal de 100%.

En effet, puisqu'elles possèdent sur la période les institutions politiques, qu'elles représentent les «capitales» des territoires, qu'elles ont livré un important matériel archéologique, alors nous considérons qu'elles possèdent l'ensemble des attributs. Au contraire, certains sites modestes n'ont aucun attribut pour un ou plusieurs des intervalles définis plus haut. Ils ont alors un score de 0. Pourtant, l'étude de leur contexte et de leur mobilier montre qu'ils ne sont pas totalement isolés (présence d'un timbre amphorique importé, de structures de commerce, de mentions littéraires les décrivant comme des ports, des étapes de circuits commerciaux, etc.). Le modèle de pondération prévoit alors qu'ils disposent d'un point d'interaction, attribué par notre connaissance historique, afin d'avoir un score minimal (et donc une masse) non nul, pour ne pas les écarter lors de la modélisation spatiale.

Les masses obtenues par cette méthode servent de base à la constitution de quatre groupes hiérarchiques. Le groupe 1 est celui des cités, à la masse la plus importante et le groupe 4, celui des sites présentant les plus petites masses. Ces groupes ne sont pas des groupes typologiques. En effet, une analyse typologique, reposant sur une analyse statistique multivariée, et une classification ascendante hiérarchique portant aussi sur les attributs sélectionnés précédemment (donc sur les données historiques disponibles et non sur des classifications *a priori*), ont bien montré que l'état de la recherche influence parfois fortement le classement des sites. Par exemple, Oumm el Amed ou Keisan, des établissements somme toute modestes, présentent des masses

Sites/Critères	Sources	Fortif.	Assiettes	Amphores	ESA	Bols reliefs	Port	Unguent.	Ed. cult.	Bat. public	Zone ind.	At. monet.	Total
Dor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	11
Qaisariya	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	7
Akko	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	8
Jable	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	6
Kazel	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	6
Amrit	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	8
Jaffa	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	5
Tripoli	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
Baniyas	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
Jiyeh	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
Asqalan	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	5
Ghamqé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Mariamin	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Batroun	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Sigon	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Khane	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Arab al M.	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	5
Qarnum	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
Atlit	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	5
Soukas	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	5
Oumm el A.	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	5
Keisan	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	4
Arqa	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Yanouh	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	4
Kharayeb	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Chhim	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Sianu	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Hosn S.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Michal	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Akzib	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
Sarafand	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	3
Tabbat al H.	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3
Cheikh Z.	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Anafa	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	5
Mevorakh	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Kamid el L.	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
Abu H.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Daruk	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Rafniye	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Regev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maamer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arsaf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Khirbet K.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Khan K.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Khalde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enfeh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qalaat el H.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Massaf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tartous	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tweini	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Iris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 3 – Tableau attributaire de la période 1 (fin IV^e et III^e s. av. n. è.) notant la présence ou l'absence de chaque attribut.

importantes, parce qu'ils ont bénéficié de fouilles archéologiques d'envergure. En revanche, Arqa, dont on sait qu'il s'agit d'un centre politique de premier plan au I^{er} siècle av. n. è., a une masse moins importante que les deux précédents, sans doute parce que seul le tell a été fouillé, alors que l'occupation s'est sans doute déplacée vers la plaine à partir de l'époque hellénistique. Dans tous les cas, les groupes hiérarchiques servent dans une deuxième étape de modélisation des réseaux d'interaction. À partir du même modèle gravitaire, une contrainte est introduite: un site de rang n ne peut alors interagir qu'avec un site de rang $n+1$, $n+2$ ou $n+3$.

4. LES RÉSULTATS

L'obtention des masses des sites et le calcul des distances permettent la mise en œuvre du modèle gravitaire. Le premier résultat montre que deux sites seulement, Dor et Arwad, ont un potentiel d'interaction si fort qu'ils génèrent les interactions avec la quasi-totalité des autres sites du corpus (Fig. 4). Les coefficients du modèle gravitaire, déterminés pour une étude sur le micro-territoire de Lodève (France), forcent la polarisation des réseaux. La fonction de frein de la distance, grâce à laquelle les sites trop éloignés ne trouvent pas d'intérêt à interagir est, en conséquence, recalibrée. Empiriquement, nous aboutissons à $a=0.3$ et $\alpha=4$ (NUNINGER, BERTONCELLO 2011, 157).

Les résultats suivants sont plus probants (Fig. 5). Au final, ce sont six modélisations que nous proposons pour l'époque hellénistique, une des interactions et une des interactions hiérarchiques pour chacun des trois intervalles déterminés précédemment. Sur ces six résultats, une partie correspond à ce

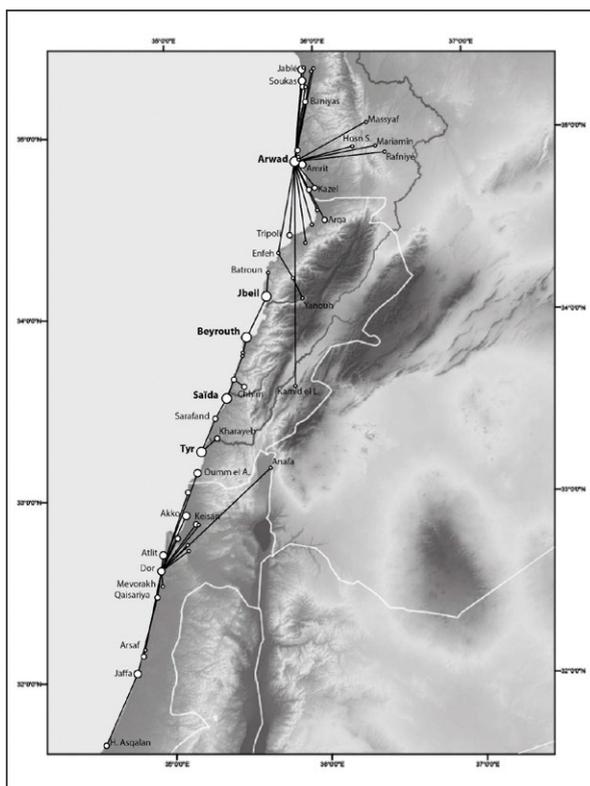


Fig. 4 – Carte des réseaux d'interaction modélisés avec les coefficients de l'étude du Lodévois (GARMY *et al.* 2005b, 6).

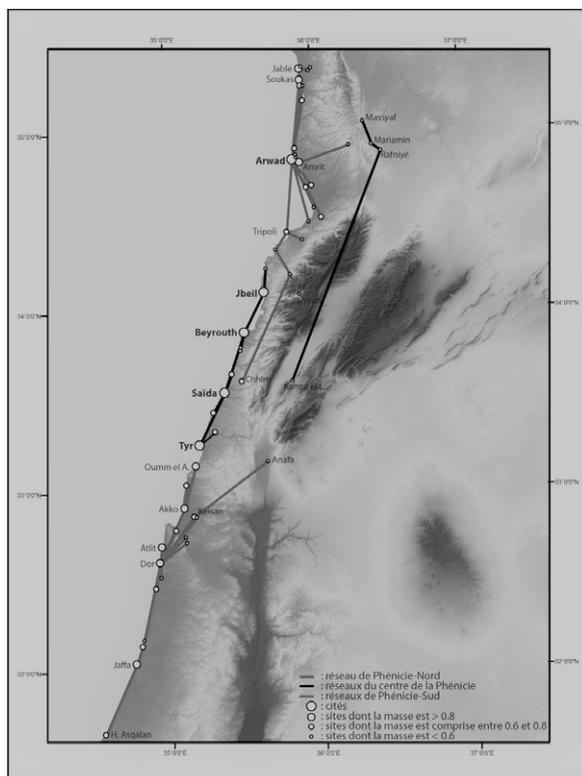


Fig. 5 – Carte des réseaux d'interaction modélisés pour la période 1 (fin IV^e et III^e s. av. n. è.).

que nous savons des dynamiques phéniciennes: les cités polarisent les réseaux, sans surprise. Au Nord et au Sud, les deux réseaux les plus étendus et les plus complexes sont respectivement polarisés par Arwad et Tyr ou Dor. Entre ces deux zones, les réseaux sont peu développés autour de Byblos, de Beyrouth et de Sidon, en raison d'un manque de données dans la zone. Cependant, au sein des réseaux, des relais apparaissent, complexifiant les interactions modélisées. Ces sites semblent jouer les intermédiaires entre de petits sites d'arrière-pays et les grands centres urbains, mais également entre plusieurs écosystèmes.

Prenons l'exemple du réseau d'Arwad, à la première période d'analyse définie plus haut (Fig. 6). Bien que la cité polarise fortement son réseau, deux sous-ensembles se détachent. L'un au Nord, autour de Jablé. Celle-ci fait partie de la confédération d'Arwad, mais les données semblent dessiner une entité semi-autonome sise dans une petite plaine adossée au Djebel Ansarieh. Beaucoup plus au Sud, Tripoli polarise une partie du réseau et montre surtout

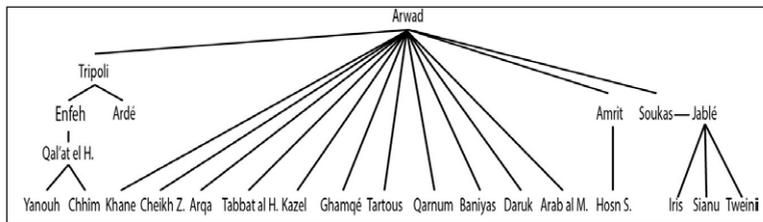


Fig. 6 – Réseau d’interaction d’Arwad à la fin du IV^e et au III^e s. av. n. è..

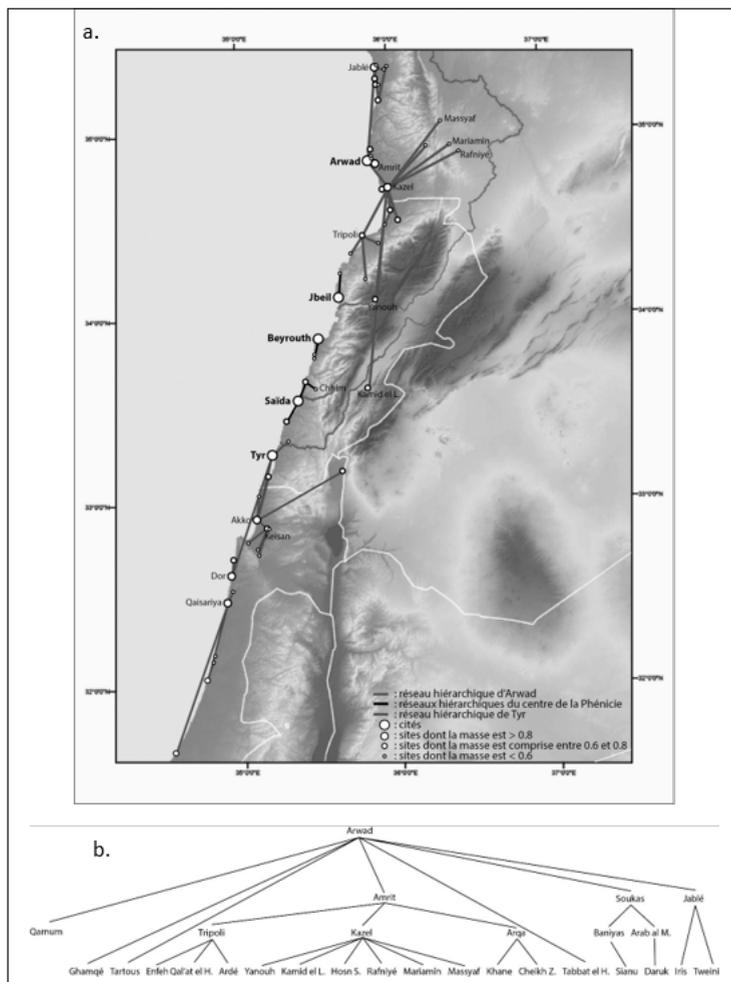


Fig. 7 – a) Réseaux hiérarchiques modélisés pour la période 1 (fin IV^e et III^e s. av. n. è.); b) Réseau hiérarchique d’Arwad à la même période.

d'intéressantes interactions entre la côte et la haute montagne. Dans le réseau hiérarchique cette fois (Fig. 7), Tripoli est toujours un intermédiaire entre la cité d'Arwad et de plus petits établissements, mais d'autres logiques se dessinent: Arwad n'est en contact direct qu'avec des établissements portuaires, tandis que toutes ses interactions sont médiatisées par d'autres établissements avec son arrière-pays. Cela fait écho à la notion de système portuaire (CARAYON 2020, 54) et insiste sur la complexité de l'organisation des territoires par leur cité.

En parallèle, le modèle met en lumière des écarts, des anomalies: le rattachement de Yanouh ou Kamid el-Loz au réseau hiérarchique d'Arwad ne fait pas sens, ces sites fonctionnant plus probablement, d'après les données archéologiques, avec d'autres cités, respectivement Byblos, Sidon et Tyr. Les réseaux traduisent aussi les lacunes de la documentation et l'absence de données disponibles sur certaines microrégions.

L'ensemble de la démarche et ses résultats montrent tout le parti qu'il y a à tirer même des corpus les plus minces grâce à la perspective spatiale. La modélisation, qu'elle soit conforme à nos connaissances des contextes ou au contraire qu'elle s'en écarte franchement, permet de réinterroger à nouveaux frais nos représentations des cités phéniciennes et de leurs liens avec leur territoire. L'analyse de la place des sites dans les réseaux questionne également nos catégories traditionnelles: Kazel, si central dans le réseau hiérarchique, qui frappe monnaie à partir du III^e siècle a pourtant fourni, du point de vue archéologique bien des traces d'activités liées à l'agriculture et l'élevage (meules, métiers à tisser, etc.). Au contraire, Cheikh Zenad, en bout de réseau pourrait être un site bien plus étendu et important que ne le laissaient présager les premières fouilles (BARTL 2007-2008).

Urbain et rural, site majeur ou mineur semblent ainsi des catégories bien peu adéquates pour analyser le fonctionnement territorial des cités phéniciennes. Au contraire, l'approche spatiale par les réseaux permet d'aborder l'aspect fonctionnel et relationnel des établissements, d'agrandir la focale pour prendre en compte un système organisé et complexe. Ces premiers résultats sont encourageants, d'autant plus que les projets archéologiques au Liban et en Israël se sont développés ces dernières années et apportent leur lot de données nouvelles qui pourront aisément être intégrées dans notre modèle (ABRAHAMI *et al.* 2015; OGGIANO *et al.* 2016).

5. LES PERSPECTIVES: NOUVELLES DONNÉES ET NOUVELLES EXPÉRIMENTATIONS

Afin de tester la robustesse de notre démarche et du modèle gravitaire que nous avons paramétré, nous avons ajouté de nouveaux sites archéologiques au corpus. Ces derniers se situent tous sur les versants Ouest de l'Antiliban dans une zone à l'Est de Kamid el-Loz, délimitée par le vallon du Barrada au Nord et l'Hermon au Sud; ils ont été découverts lors de prospections menées au début

des années 2000 (BONATZ 2002). L'équipe souhaitait comprendre l'histoire de l'occupation humaine et l'organisation spatiale de la région avant l'époque romaine pour laquelle on sait qu'elle est investie. Au final, 11 sites avec du mobilier perse, 17 avec du mobilier hellénistique et 18 avec du mobilier romain ont été identifiés. Sur l'ensemble des sites hellénistiques, 6 sont présentés dans le rapport avec des données suffisantes pour être localisés (Kabb el-Kroûm, Haql Râchaya, Site 23 dans le ouadi el Hamrat, El-Ghaïda, ouadi Beitîma et ouadi Aïn Qiniye), puis intégrés dans le modèle gravitaire. La modélisation spatiale a donc été reconduite avec ces nouvelles données, avec le même modèle et le même paramétrage que précédemment, sur les trois périodes d'analyse.

L'introduction de ces sites n'a pas bouleversé les réseaux. En effet, ils ont une masse faible et sont classés dans les groupes 4 et 3. Les mêmes zones se dessinent pour les réseaux d'interaction. Lors de la modélisation des interactions hiérarchiques, les six nouveaux sites sont rattachés au réseau d'Arwad et la lecture de ce dernier fournit des éléments intéressants pour l'analyse de l'organisation territoriale de la zone, en particulier sur les dernières périodes. Lors de la première (IV^e-III^e siècle), ces sites sont liés directement à Tell Kazel, tout comme Kamid el-Loz (Fig. 8a). Ils sont tous au même niveau hiérarchique, ce qui paraît peu probable, mais cela peut découler d'un manque de données pour Kamid el-Loz. À la période suivante, en revanche, les six sites sont attachés à Kamid el-Loz (Fig. 8b).

La configuration correspond alors à une hypothèse que les archéologues ont avancée pour expliquer l'organisation de la région, à partir des données archéologiques: comme celle-ci n'est pas propice à l'installation de grands établissements, mais qu'elle présente une série de microenvironnements très attractifs pour l'agriculture et le pastoralisme, les sites découverts dans l'Antiliban se seraient développés en connexion avec Kamid el-Loz, le tell le plus important de cette partie de la Beqaa. Pour la période 3 (I^{er} siècle), les sites sont connectés à Arab al-Mulk/Paltos soit directement (Haql Râchaya et Kabb el-Kroûm) soit par l'intermédiaire d'Haql Râchaya (Site 23, El-Ghaïda, Beitîma et Aïn Qiniye), qui forme alors un relais hiérarchique (Fig. 8c). Ce dernier sert également de relais pour Chhîm, petit site du Chouf intégré au réseau hiérarchique arwadien. Enfin, Kamid el-Loz semble déconnecté du précédent ensemble et est directement relié à Tell Kazel, comme à la première période d'analyse. Il s'agit de résultats globalement inattendus et apparemment peu compatibles avec les interprétations des archéologues.

Deux lectures de cette phase de modélisation sont dès lors possibles. La première serait que les résultats reposent sur un écart au résultat attendu, explicable par une inadéquation entre les données archéologiques rentrées dans le modèle et son paramétrage. La seconde lecture, en revanche, est que la modélisation, par les anomalies constatées, permet de mettre en lumière les grands changements des dynamiques politiques et hiérarchiques de la période

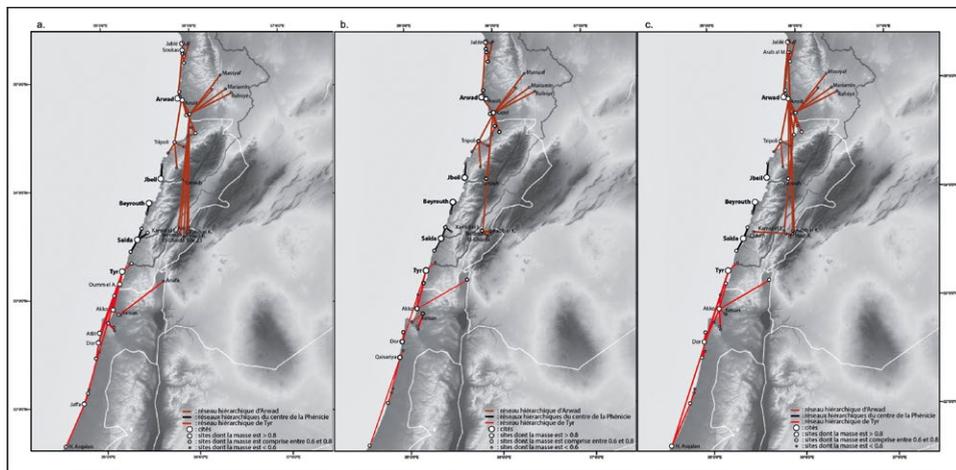


Fig. 8 – Réseaux hiérarchiques modélisés avec les six sites de l'Antiliban: a) pour la période 1; b) pour la période 2; c) pour la période 3.

3, lisibles parce que nous avons introduit des données supplémentaires. Le I^{er} siècle correspond en effet à la partition du royaume séleucide en États autonomes dont fait partie, outre les cités phéniciennes, la principauté des Ituréens, un peuple installé dans le Liban probablement au cours du III^e siècle. La communauté ituréenne se structure progressivement jusqu'à fonder son propre État, dont les pôles principaux sont Arqa, Chalcis (peut-être l'actuel Majdel Anjar) et Baalbek comme pôle religieux (ALIQUOT 1999-2003). Or, le réseau dessiné par les sites de l'Antiliban s'inscrit parfaitement dans les limites de ces points de repère et l'ensemble couvre l'étendue de ce qui pourrait être le royaume ituréen: une partie du Liban, la Béqaa jusqu'à la Trouée de Homs, une partie de la côte au Nord de la Phénicie. Cette lecture des réseaux est renforcée par le fait que les sources historiques font état d'une prise de Beyrouth, Batroun, Tripoli et Khane par les Ituréens, qui auraient alors privé Sidon d'une partie de son arrière-pays (ALIQUOT 1999-2003, 235).

Les réseaux modélisés sont assez imprécis, car il est certain qu'Arab al-Mulk n'est pas un relais hiérarchique et n'a rien à voir avec les Ituréens, puisque la cité est liée à Arwad jusqu'à la fin de l'époque hellénistique. Cette anomalie de modélisation s'explique par le fait qu'Arqa, centre majeur des Ituréens, a un faible niveau hiérarchique pour la période 3. Le tell, en effet, n'a pas révélé beaucoup de structures ni de mobilier pour le I^{er} siècle, car il est alors abandonné partiellement, au profit du développement de la ville classique en contrebas. Quant à Kamid el-Loz, hormis au III^e siècle, sa place est modeste dans le réseau hiérarchique, ce qui semble contredire les données

historiques. Pourtant, si les vestiges du tell sont riches, prouvant son intégration aux circuits hellénistiques phéniciens et ituréens (KULEMANN-OSSSEN *et al.* 2007-2008, 177-179), ils ne comportent pas les structures convoquées pour évaluer les sites, comme les bâtiments publics ou les sanctuaires civiques. Ou bien ce tell est un relais principalement économique, ou bien il s'agit d'un biais de la documentation dû au fait que le site n'a pas été fouillé entièrement.

6. CONCLUSION

Cette expérimentation montre qu'il est possible, même à partir d'un corpus restreint, de renouveler la perspective d'approche des territoires phéniciens. L'idée est bien de proposer un outil heuristique performant, qui vient soutenir une démarche et des questionnements historiques. Elle repose avant tout sur les données, mais en propose une analyse systématique, accompagnée d'une explicitation formelle des biais (les coefficients, les choix d'enregistrement des données, etc.). Répandue pour d'autres époques ou d'autres zones d'étude, son intégration dans la boîte à outils des spécialistes de la Phénicie a le mérite de faciliter l'intégration de données nouvelles ou la révision des anciennes et de permettre la poursuite des études de zones difficiles d'accès actuellement, en raison du contexte géopolitique que nous connaissons.

Notre dernier exemple, qui inclue six nouveaux sites archéologiques, met aussi en lumière le dialogue fructueux entre les résultats de la modélisation et la connaissance des données des spécialistes. Ces allers-retours incessants entre la documentation et le modèle soutiennent une connaissance toujours plus fine du corpus et en même temps une vision globale de ce dernier, pris en tant que système. Ici nous avons abordé les dynamiques de la fin de l'époque hellénistique, mais nous pourrions intégrer davantage de données et de sites dans la région, pour observer quels ensembles de réseaux se dessinent et quel fonctionnement territorial ils sous-tendent. D'autres phases de modélisation peuvent également être envisagées, comme l'intégration des navigations (GUILLON 2020b), par exemple, qui changeraient certainement la configuration des réseaux.

Dans tous les cas, force est de constater la connaissance intime des territoires qu'avaient les sociétés anciennes, une connaissance pragmatique et efficace, sans outils numériques ni vues satellites. Le relief dans notre zone d'étude est déterminant, mais jamais déterministe, et les réseaux permettent enfin de réfléchir sur les modes d'appropriation des territoires des cités phéniciennes comme de leurs voisins.

ÉLODIE GUILLON
PLH-ERASME (EA 4601)
Université Toulouse Jean Jaurès
elodie.guillon@univ-tlse2.fr

REFERENCES

- ABOU DIWAN G., KHALIL W., KHREICH M. 2006, *Problèmes et entraves de l'historien au Proche-Orient: l'exemple du Liban*, «Transeuphratène», 31, 115-116.
- ABRAHAMI P., JASMIN M., THARÉANI Y. 2015 *Tel Achziv: les fouilles d'une antique cité phénicienne*, «ArchéOrient - Le Blog», 23 (<https://archeorient.hypotheses.org/4825>).
- ALIQUOT J. 1999-2003, *Les Ituréens et la présence arabe au Liban du II^e siècle a.C. au IV^e siècle p.C.*, «Mélanges de l'Université St-Joseph, Beyrouth», 56, 161-290.
- APICELLA C. 2002, *Sidon aux époques hellénistique et romaine*, Thèse de doctorat, Tours, Université François Rabelais.
- BARTL K. 2007-2008, *Sheikh Zenad reconsidered*, «Archaeology and History in Lebanon», 26-27, 130-140.
- BONATZ D. 2002, *Preliminary remarks on an archaeological survey in the Anti-Lebanon*, «BAAL», 6, 283-307.
- BONNET C., GUILLON É., PORZIA F. 2020, *La civiltà dei Fenici. Un percorso mediterraneo nel I millennio a.C.*, Roma, Carocci.
- BOTTO M., DESSENA F., FINOCCHI S. 2013, *Indigeni e Fenici nel Sulcis: le forme dell'incontro, i processi di integrazione*, «Rivista di Studi Fenici», 40, 97-110.
- CARAYON N. 2020, *Îles, îlots et ports. L'utilisation des îles et des îlots dans le cadre des systèmes portuaires phéniciens et puniques*, in COSTA, GUILLON 2020, 53-60.
- CAROZZA L., CAROZZA J.-M., BURENS-CAROZZA A. 2008, *De l'hypothèse à la représentation: territoires néolithiques dans la moyenne vallée de l'Hérault au moment où apparaît la métallurgie*, in O. BUSCENCHUTZ (ed.), *Images et relevés archéologiques, de la preuve à la démonstration*, Paris, Éditions du CTHS, 203-230.
- COSTA B., GUILLON É. (eds.) 2020, *Insularidad, élite y insularización en el Mediterráneo fenicio y púnico. Actas del coloquio (Eivissa 2017)*, Ibiza, MAEF.
- DURAND-DASTÈS F., FAVORY F., FICHES J.-L., MATHIAN H., PUMAIN D., RAYNAUD C., SANDERS L., VAN DER LEEUW L. 1998, *Archaeomedes. Des oppida aux métropoles: archéologues et géographes en vallée du Rhône*, Paris, Anthropos.
- DUYRAT F. 2005, *Arados hellénistique. Étude historique et monétaire*, Beyrouth, Ifpo.
- ELAYI J. 1989, *Sidon, cité autonome de l'Empire perse*, Paris, Idéaphane.
- GARMY P., KADDOURI L., ROZENBLAT C., SCHNEIDER L. 2005a, *Structures spatiales du peuplement antique dans la cité de Luteva*, in A. BOUET, F. VERDIN (eds.), *Territoires et paysages de l'âge du Fer au Moyen Âge: Mélanges offerts à Philippe Leveau*, Bordeaux, Ausonius, 83-100.
- GARMY P., KADDOURI L., ROZENBLAT C., SCHNEIDER L. 2005b, *Logiques spatiales et "systèmes de villes" en Lodévois de l'Antiquité à la période moderne*, in J.-F. BERGER, F. BERTONCELLO, F. BRAEMER, G. DAVTIAN, M. GAZENBBEK (eds.), *Temps et espaces de l'Homme en société. Analyses et modèles spatiaux en archéologie, XXV^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*, Antibes, Éditions APDCA, 1-12.
- GUILLON É. 2020a, *Les arrière-pays des cités phéniciennes à l'époque hellénistique (IV^e-I^{er} s. av. n. è.)*. *Approches historique et spatiale d'une aire géoculturelle*, Collezione di Studi Fenici, 50, Roma, CNR.
- GUILLON É. 2020b, *Le monde clos des Pitiuses: essai d'analyse du fonctionnement territorial d'Ibiza et Formentera puniques*, in COSTA, GUILLON 2020, 183-200.
- HERM G. 1996, *Les Phéniciens: l'antique royaume de la pourpre*, Paris, Fayard.
- HORDEN P., PURCELL N. 2000, *The Corrupting Sea: A Study of Mediterranean History*, Oxford-Malden-Victoria, Blackwell.
- KULEMANN OSSEN S., LEICHT M., HEINZ S. 2007-2008, *Kamid el-Loz. A reloading point in the long distance trade during Hellenistic period?*, «Archaeology and History in Lebanon», 26-27, 168-181.

- LEMAIRE A. 1991, *Le royaume de Tyr dans la seconde moitié du IV^e siècle av. J.-C.*, in *Atti del II Congresso Internazionale di Studi Fenici e Punici* (Roma 1987), Roma, CNR, 131-149.
- NUNINGER L., BERTONCELLO F. 2011, *Analyser et modéliser*, in X. RODIER (ed.), *Information spatiale et archéologie*, Paris, Errance, 127-163.
- NUNINGER L., FAVORY F., SANDERS L., MATHIAN H., GARMY P., RAYNAUD C., KADDOURI L., ROZENBLAT C., SCHNEIDER L. 2006, *La modélisation des réseaux d'habitation en archéologie: trois expériences*, «M@ppemonde», 83, 2-28.
- OGGIANO I., KHALIL W., FESTUCCIA S., NUÑEZ CALVO F., NERVI, C. 2016, *The cult place of Kharayeb: Report of 2013-2014 missions*, «BAAL», 16, 193-214.
- PARROCHIA D. 2006, *Pour une théorie de la relativité géographique (vers une généralisation du modèle gravitaire)*, «Cybergeog», 337, 1-18.
- RENAN E. 1864, *Mission de Phénicie*, Paris, Imprimerie impériale.
- REY-COQUAIS J.-P. 1974, *Arados et sa pérée aux époques grecque, romaine et byzantine*, Paris, Geuthner.
- ROPPA A. 2013, *Comunità urbane e rurali nella Sardegna punica di età ellenistica*, «Saguntum», 14, Valencia, Universitat de València.
- SEYRIG H. 1964, *Monnaies hellénistiques. XII. Questions aradiennes*, «Revue Numismatique», 6, 9-67.
- TOULZE F. 2003, *Centre et périphérie à Rome*, «Uranie», 3, 87-118.
- VAN DOMMELEN P., FINOCCHI S. 2008, *Sardinia: Diverging landscapes*, in VAN DOMMELEN, GÓMEZ BELLARD 2008, 159-201.
- VAN DOMMELEN P., GÓMEZ BELLARD C. (eds.) 2008, *Rural Landscapes of the Punic World*, London-Oakville, Equinox.
- WHITE R. 2010, *What Is Spatial History?*, Stanford, Stanford University History Lab (<http://www.stanford.edu/group/spatialhistory/media/images/publication/what%20is%20spatial%20history%20pub%20020110.pdf>).

ABSTRACT

This article focuses on a multidisciplinary and experimental approach on the relationships between the Phoenician cities (Lebanon, Syria, Israel) and their hinterlands in the Hellenistic period (4th-1st century BC). The article presents the successive stages of this approach. The first one is the construction of the corpus and the recording of the historical and essentially archaeological data in a relational database. The next step is addressed to spatial modelling. In other words, it means applying a spatial analysis to the data. For this purpose, we select a model, the gravity model, which relates the distance between archaeological sites, their comparative importance, and their capacity to interact between each other. Then we set up the model, thanks to our historical and geographical knowledge of the region. The results are visualisations, i.e., potential maps that include modelled networks extending across the region. They must be commented on in the light of the historical and archaeological knowledge that we have about the area: they confirm or question our reading of the Phoenician territories and get into dialogue with the archaeological and historical data, to improve our understanding of the cities. Then, we carry out a second experimentation, with the addition of six archaeological sites in the corpus, identified by archaeological survey and dated to the Hellenistic period. A new spatial modelling is carried out, with the same model and the same parameters. The partial reconfiguration of the networks is again commented on. The conclusion, finally, deals with the contribution of the approach, as a new tool available to archaeologists and historians in the study of Phoenician territories.

SOUNDSCAPE AND CATCHMENT ANALYSIS FOR A SPATIAL GEOGRAPHY OF MEDIEVAL MONASTIC ESTATES IN SOUTHEASTERN TUSCANY (11TH-12TH CENTURIES)

1. SOUNDSCAPES: BETWEEN PHENOMENOLOGY AND SPATIAL GEOGRAPHY

The concept of soundscape (or acoustic space) has been described and defined in different ways, especially in the context of landscape ecology (PIJANOWSKI *et al.* 2011; TRUAX, BARRETT 2011; FARINA 2014). The soundscape can be understood as the result of a combination of sound sources and sound dynamics of different origin: geo-environmental, or geophonies (e.g., wind, moving water, thunder, volcanic eruption); biological or biophonies (e.g., sounds made by living beings); anthropic/technological or anthropophonies/technophonies (e.g., industrial noises, music, urban or air traffic) (FARINA *et al.* 2014). This totality of sounds establishes different relationships with the diverse perception sensitivities of individuals or social groups (PAYNE *et al.* 2009). Various phenomenological approaches aimed at analyzing human experiences and cognitive processes related to the appropriation of the materiality of the landscape, its ‘being-in-the-world’ (TILLEY 1994), have focused on this correlation between humans and sound perceived in a given spatial context (MESCHIARI 2010; JOHNSON 2012). The study of sound and sound environments has been approached in historical contexts, from the perspective of written sources (e.g. EMERIT *et al.* 2015 for antiquity, or FRITZ 2011 for the Middle Ages), and in recent years there has been increasing attention to sound phenomena by archaeologists (MILLS 2014).

Approaches to analyzing ‘archaeological’ soundscapes have been formulated, for example, for understanding different aspects of the relationships between man-sound-space-religion, such as the experiential/acoustic impact of prehistoric sites like caves (TILL 2014; MATTIOLI *et al.* 2017) or megalithic complexes (WAS-WATSON 2017) and for investigating the interactions between liturgy, music, acoustics and Christian sacred architecture, particularly in new research on the acoustics of Byzantine churches (ANTONOPOULOS *et al.* 2017; PENTCHEVA 2017a) including the Hagia Sophia in Istanbul (PENTCHEVA 2017b), the Hagia Sophia in Thessaloniki (GERSTEL *et al.* 2018), and the Basilica of San Vitale in Ravenna (PALIOU, KNIGHT 2013). The relationship between humans, sound, and space not only creates a spiritual connection with a transcendental immateriality, but acoustic sources also define concrete geographies that condition human actions related to economic, social, and political choices.

Improvements in GIS methods for the spatialization of sound (PRIMEAU, DAVID 2017) have made it possible to connect and develop new lines of study

regarding landscape-settlement-society interactions from a perspective that differs from prior cognitivist/anthropological approaches to human sensory perceptions. The study we propose here, in fact, starts from assumptions related to the spatial definition of the catchment of particular central places represented by medieval monasteries in the province of Arezzo between the 11th and 12th centuries.

MILESON (2018) has emphasized the role of ringing bells as markers ('soundmarks') both of a community's working and holiday time and therefore of political-economic-administrative influence on a given local district. The mapping of the propagation area of the hypothetical tolling of the bells of the various monastic complexes, crossed with a spatial analysis of visibility and distance per unit of time, creates the possibility of proposing new reflections and hypotheses on the ecclesiastical geography of a territory.

A.C.B.

2. OVERVIEW OF BELLS IN WRITTEN SOURCES: DATA, ABSENCES, AND INTERPRETATIVE ISSUES

The study of bells and the role they played in the demographic, economic, cultural, and spiritual landscapes of the Middle Ages is characterized by a profound heterogeneity of available data, especially when comparing the early and late medieval periods. It may seem rather obvious to highlight how the sounds of bells were a profoundly defining element of the collective imagination, especially in rural contexts, and their transversality and almost continuous presence also allow for analyses from anthropological, as well as historical-archaeological, points of view (see the fundamental works CORBIN 1994 and GONON 2010; for the eastern context, RODRIGUEZ SUAREZ 2018). First of all, they marked the time and rhythms of the days, in a 'medieval' legacy that still exists today in the rhythms of some communities, as noted by T. Mannoni. He pointed out how bells could be understood as a cultural evolution of something simpler that already existed, referring to the internal messages of the Roman baths, highlighting how, for material culture, pre-existing phenomena are normal in any sector of production (MANNONI 2007, 15).

Attention to the study of bells has enjoyed significant interest in Italy in recent years, primarily thanks to important works by E. Neri and S. Lusuardi Siena (LUSUARDI SIENA, NERI 2007; NERI 2012), but also through the publication of a significant collection in 2007 that dedicated ample space to the post-medieval centuries as well (REDI, PETRELLA 2007). Later, a fundamental work of synthesis, especially in terms of written sources, was co-authored by J.H. ARNOLD and C. GOODSON (2012).

Late antiquity undoubtedly emerges as a moment of progressive conceptual construction of the idea and function of a 'bell' (NERI 2012, 475-478).

Through an in-depth examination of certain written sources, it is possible to document the discussion of *signa ecclesiae* that were specifically devoted to temporal and liturgical organization, already in the first centuries of the post-classical period. Probably the oldest known testimony is found in the works of Gregory of Tours, in which he makes reference to a bell that marked the rhythm of the matins (*De virtutibus Sancti Martini*, I, 28, 33, II, 11, 45, III, 23, 38, in MGH, *Scriptores rerum Merovingicarum*; see also TREVISAN 2007, 135). However, making a simple review of the late antique rural churches (from the 4th to the 6th century) known throughout the ancient world, an extremely significant fact clearly emerges: structures even remotely referable to possible bell towers are essentially absent in these chronologies.

It was precisely from the high Middle Ages that the diffusion of bell systems began to occur in a more structured way. CAMMAROSANO (2007, 105) rightly highlighted the problem of the considerable difference in the quantitative availability of sources between the early Middle Ages and the period after the 10th-11th centuries, warning against drawing hasty conclusions based solely on the quantitative data, which could simply reflect different levels of source preservation. However, perhaps the most interesting aspect he emphasized concerns the attribution of distinctive features of considerable prestige and economic value to the bells over the course of the early medieval centuries (CAMMAROSANO 2007, 106). It is mainly from the mid-8th century onward that there are both direct and indirect references to the use of bells.

For example, in a document written a few years before 740, the church of Mont-Saint-Michel in Normandy is mentioned (*Gesta abbatum Fontanelensium*, 10, in MGH, *Scriptores*, II). Undoubtedly, the most important aspect of this document is that it mentions both the actual bell and the *turricula* – a bell tower or, in any case, a small turret intended for housing a bell. The *turricula* is, in fact, one of the most frequently cited elements in early medieval written sources, often in the absence of any explicit mention of the bell itself, though it obviously makes indirect reference to it.

For Italy, however, the first known documentation of a bell tower is found in *The Book of the Popes* (*Liber Pontificalis*, 94, c. 47), in the biography of Stephen II (752-757), who had a *turrem* (tower) built in St. Peter's Basilica. In this specific case, the bell tower was obviously responsible for the main task of calling the faithful to participate in the *officium Dei*, unlike what happened, for example, in monasteries, especially rural ones, where the main purpose of the bells, as we will see, seems to have been related to the need to organize the various parts of the working day, as well as the spiritual and liturgical day. As highlighted by G. ANDENNA (2007, 73), though it is true that there is no clear mention of bells in *The Rule of Saint Benedict*, it is equally true that, on at least two occasions, the sounds that regulated the rhythms of the monasteries are mentioned.

However, the decisive codification and, above all, affirmation of the primary role of bells in terms of organizing spiritual and economic time would only be definitively established from the late Middle Ages: in this perspective, the papal bull of Innocent III, addressed to the Maronite church of Lebanon in 1216, is of great importance as the pontiff openly states the need to use bells both to summon the faithful to the liturgy and to denote the hours (*Acta Innocentii P.P. III* (1198-1216), n. 216; see also ARNOLD, GOODSON 2012, 99).

From this synthetic panorama, it is possible to see how the material and documentary data seem to coincide in circumscribing the post-classical centuries which, at least until the end of the 7th century, if not the beginning of the 8th century, were almost completely absent of any form of management of church geography or, more generally, landscape-human-economic geography, rooted in the marking of time by bells. Bells were only characterized as a real *vox Domini*, to use a recent definition (CASTIÑEIRAS 2014), in later phases. Moreover, it is well known that in numerous studies relating to the definition of rural church geography in the late antique period, a reading has been proposed of the first forms of formation of a church-network as disconnected from the ‘territoriality’ principles typical of the Roman world, which would be at least partially reintroduced later, albeit with inevitable changes (VIOLANTE 1982; LAUWERS 2008; CANTINO WATAGHIN 2013).

G.C.

3. OVERVIEW OF THE CASE STUDIES

While analyzing monasteries as central elements in the economic, and not only spiritual, management of the territory, three monastic complexes were selected. The characteristics of these sites have allowed us to analyze the degree to which the holdings directly in contact with the monasteries were exploited, as well as the reach of the bell sounds with respect to the specific environmental and landscape features. Considering all these elements, three areas located in the province of Arezzo were chosen: S. Maria a Farneta (Cortona), San Salvatore a Camaldoli (Cortona), S. Fedele a Strumi (Poppi) (Fig. 1).

The Abbey of Farneta was founded on a hill overlooking the Chiana River, not far from the center of Cortona. San Fedele a Poppi is located in a flat area near the Arno River, while the Monastery of Camaldoli has its roots in a hermitage, called Camaldoli, surrounded by a dense forest. The Benedictine Abbey of San Fedele was built in 992 for the court of Strumi, at the behest of Count Teudegrimo (Tegrimo) of the comital family of Guidi (FATUCCHI 1977, 179), and it was endowed with a substantial patrimony shortly thereafter. In 1007, the widow of Count Teudegrimo ‘the Elder’, Gisla, with the consent of her son Count Guido I, donated some of her possessions from the villa of Lorgnano to San Fedele. Ten years later, Count Guido himself assigned his

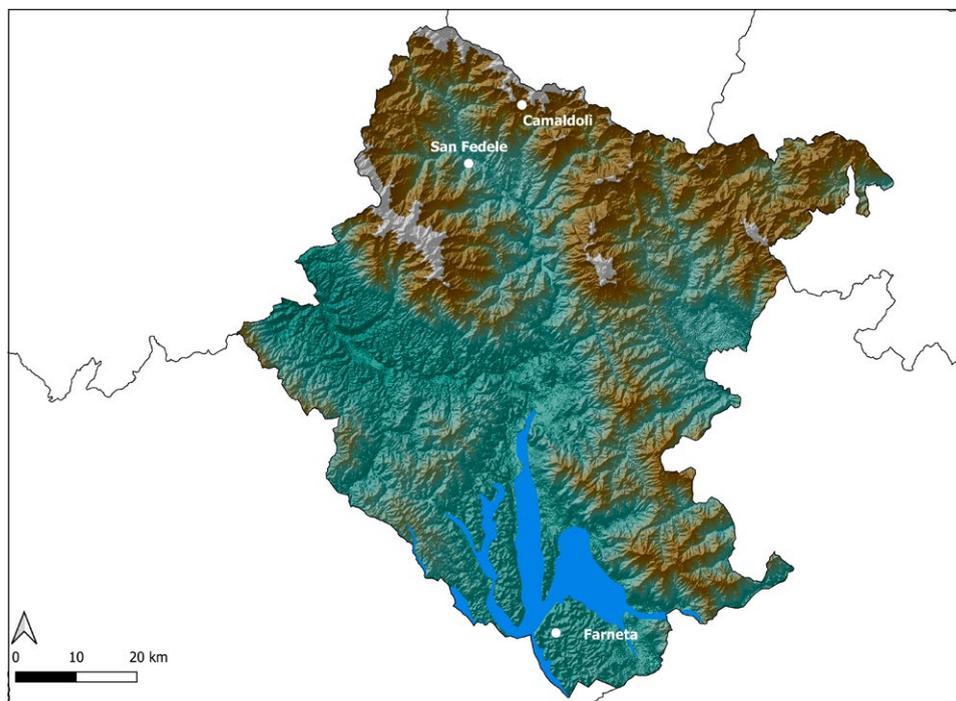


Fig. 1 – Position of the three religious structures analyzed in southeastern Tuscany.

court of Quorle to the abbey, to which he added his possessions from Strumi, Porciano, Vado, Cetica, and Lorgnano in 1029. In 1131, Count Guido III and his wife, Countess Emilia, sold some assets located in Poppiena (Arezzo) and other possessions in Pratovecchio to the Abbey of Strumi.

Towards the end of the 13th century, the church and the abbey, which had become ‘cramped and dilapidated’, were moved within the walls of the castle of Poppi (FATUCCHI 1977, 179). As far as its topographical position is concerned, San Fedele is located in an extremely favorable area characterized by arable soil, a considerable watercourse, the Arno River, and an important road network which it controlled. Sources note the presence of the *via Flaminia Minor* near Poppi, a road that connected Arezzo with the Adriatic side of the peninsula (AGOSTINI, SANTI 2000, 18-19).

The other great resource of the abbey was certainly the Arno, which allowed agricultural activities to be carried out and ensured the availability of water for the operation of the mills owned by the abbey. The only information regarding its architecture is related to the church and describes a Latin cross plan with a transept divided into three large rectangular chapels.

A few meters from the church building, a structure interpreted as a possible bell tower was unearthed (GABBRIELLI 1990, 68).

The Abbey of Santa Maria a Farneta is considered to have been one of the richest and most powerful of the Middle Ages, and its abbot enjoyed broad powers. It is located in the municipality of Cortona, about 15 km from the population center, in a geographical area known as Farneta, a toponym that derives from *farnia* (oak) and indicates the presence of an oak forest. The first written document in which the name of the abbey appears is from 1014, in a donation of emperor Henry II (GABBRIELLI 1990, 180). According to Kehr, it was founded around the end of the 10th century (KEHR 1908, 190-191; FATUCCHI 1977, 129-130).

The Monastery of Camaldoli, famous for having given life to a new religious congregation, the Camaldolese order, which took its name from the toponym of the place where it was founded, *Campus Malduli*, enjoyed great success from its founding, so much so that the congregation gained the approval of the apostolic see relatively quickly. The hermitage was founded on the top of a mountain, in the middle of a dense forest in 1012 by a monk, Romuald, with the aim of preserving the ideal of cenobitic monasticism in obedience to the Benedictine rule. Kurze long questioned the origin of the hermitage, studying and interrogating the main works of Mittarelli, Kehr, and Schneider. Mittarelli considered the document of 1012 and the legend of Romuald to be authentic; Kehr and Schneider, on the contrary, believed that the attribution of 1012 is wrong in light of a document from 1027 in which *Campus Malduli* appears frequently, a word that accurately describes the natural characteristics of the place rather than a person's name (KURZE 1989, 243-250).

Under the influence of the bishop and a count's family, the Monastery of Camaldoli had a sizeable patrimony from the start. Initially Bishop Tedaldo granted the entire area of Camaldoli as well as some *mansi* and tribute obligations from nearby villas, on condition that they would not be denied to these local areas over time.

The monastery's lands formed a complex of considerable expanse that permitted good profitability both to provide for their own livelihood as well as a more wide-ranging economy destined for external trade. One of the main economic activities revolved around the exploitation of the *Campus Malduli* forest, described by Bishop Elemperto as *sepem altissimam* (the 'highest hedge'). The monastery's economy, strongly linked to the forest but also connected to the breeding of livestock and cultivation of vineyards (in the areas of Partina and Soci) and cereal crops (in the lands of Chiana), was run directly, with the help of lay brothers, until at least the mid-1300s. As for the presence of a bell tower, we know that excavations in 1979 (whose results are unfortunately unpublished) uncovered a quadrangular structure that was in use before the fire of 1203 and which has been interpreted as a bell tower.

This presentation of the chosen sample areas clearly demonstrates the geographical and patrimonial characteristics which were preferred over others. Monastic complexes of this type, with great economic capacity and territorial influence, needed a precise management program that could facilitate the organization of both the daily spiritual routine and working routine.

C.M.

4. DATASET AND ANALYSES

The goal we set for ourselves was to experiment with the ArcGIS plugin called Sound Mapping Tools (KEYEL *et al.* 2017) in order to understand whether the propagation of bell sounds in space could have played a role in the work rhythms in the medieval countryside, as well as whether this role can be understood by analyzing geography. In a substantially silent world like the medieval one must have been, the issue of noise pollution would not have been present and the propagation of bell sounds, in addition to their high symbolic and spiritual value, would have been a way to communicate a message, especially in rural areas.

To carry out the analyses, we used a digital model of the terrain of Tuscany, with a resolution of 30 m; the rasters of the Grand Duke Leopold II (hereafter Leopoldine) land registry (*catasto*), furnished by the Region of Tuscany as WMSs; settlements between the 10th and 12th centuries, exported from the Archaeological Map database of the Laboratory of Informatics Applied to Medieval Archaeology (LIAAM) (FRONZA 2005); the marshy area of the Val di Chiana, as proposed by F. Salzotti (BOISSEUIL *et al.* 2011).

The three types of GIS analysis that we carried out are linked to three different types of approaches, all of which have in common the desire to define the possible catchment area of a settlement. Specifically, these are catchment analysis (CAMBI, TERRENATO 1994), watershed analysis (WHEATLEY 1995) and sound mapping analysis. The result of the first type of analysis is a raster in which each cell has a value (expressed in seconds) that represents the time it takes to travel between the point defined as the center and the cell itself.

Catchment analysis is based on the concept of travel raster, to be understood as a survey of the resources accessible in a region from a given site (CONOLLY, LAKE 2006, 214). Generally, those who use this type of approach to studying landscapes start from the Tobler function (TOBLER 1993). Over time, variants of the Tobler function have been developed. However, the theoretical problem with this type of analysis is linked to a marked determinism in this approach and its resulting unreal supply basin. Thus, the significance of this method must be understood not so much in terms of the reconstruction of the area under investigation as the identification of an area whose resources were potentially exploitable.

Our intention was to determine the maximum area beyond which it would have been difficult to go after having already walked 30 minutes, worked about 8 hours, and still return home. We know that many choices are completely subjective and debatable, such as the fact that:

- the 30-minute polygon is relatively small;
- the presence of bridges over the Arno could increase the polygon and also occupy the part of the valley North of the river;
- roads/paths could facilitate accessibility, whereas areas with high vegetation could hinder it;
- movement starts from the monasteries, which assumes that there were no scattered houses nearby.

The second type of analysis concerns the definition of visible areas. The ability to see a certain area affects the perception of the landscape and could contribute to a further delimitation of the catchment area. The ability to see was one of the nodal points of settlement choices in all historical phases, especially when it came to fortified sites (DI ZIO, BERNABEI 2009), but also for places of worship and monuments of importance for the society to which they belong (WHEATLEY, GILLINGS 2002, 201-202).

The last kind of analysis relates to sound. Through a plugin developed for ArcGIS based on the calculation of the diffusion, reflection, refraction, diffraction and absorption of sound in space, we wanted to define the real catchment area of a given settlement; but, more than anything else, we wanted to understand whether sound could have had a role in defining rural work spaces. In the absence of data relating to the frequency of the bells from these localities, we have chosen to use an ‘average’ of 400 Hz, obtained from analyses carried out on various European bells between the late Middle Ages and the modern age.

The ArcGIS plugin Sound Mapping Tools required the following information:

- digital terrain model;
- land use, classified into: uncultivated, forest with tall trees, forest with short trees, cultivated and/or grassy land, shrubs and bushes, areas occupied by human settlements, water;
- sound frequency;
- atmospheric humidity and temperature;
- wind direction and speed.

In our case, we were not aware of most of this data. However, our intention was to create a theoretical model to be compared with the catchment and visibility analyses and not to precisely define a physical limit of sound propagation. For land use, we used only three classes, with the marshes of the

Val di Chiana, forest areas on the high hills and the Apennine ridge, cultivated and/or grassy land in the plains and on the low hills. For atmospheric data, we used default data.

As regards the study of the Leopoldine land registry, we chose to use it while introducing a further variable that was used only for a comparison of the results. We applied the regressive method, based on the concept that, from the Middle Ages to at least the early 19th century, the countryside would have undergone limited transformations in terms of land use, properties, and the size of the land parcels. This method, which BLOCH (1931) experimented with in the historical field and BARKER (1986) used for archaeology, has been the subject of much controversy. In the mid-1980s, Coste reaffirmed the concept of the importance of the regressive method applied to medieval topography, starting from what we know best, then proceeding backwards in time to complete the information that is missing in medieval documentation (COSTE 1996, 1-15).

As far as Tuscany is concerned, there are areas, generally those in more rural areas and far from the cities, in which the best results are obtained (PUTTI 2008), as well as areas which are more prone to change. There are also some elements of the landscape, such as roads, in which substantial transformations have not been observed from ancient times to the introduction of the railroad and the automobile. Paths of transhumance can be included in this category as they seem to have a continuity of use even from prehistoric times (PIZZIOLO *et al.* 2017). Performing a regression from the late to the early Middle Ages for the ecclesiastical network is certainly an adventurous methodology, if not outright flawed.

In our case, the application of the regressive method was not used in a systematic way nor as the main methodology, but rather as a check on the results, bearing in mind that the monasteries in question are located in different geographical areas with different fortunes.

S.B.

5. DISCUSSION OF THE RESULTS

For the Abbey of Farneta, the catchment area defined by a thirty-minute journey was an extremely large polygon covering an area of about 3,000 hectares, while the visibility area was very limited and jagged in shape. The only well-defined area was in the valley immediately to the South, with a total extension of about 234 hectares. The sound diffusion analysis, on the other hand, generated a well-defined polygon around the abbey, extending southward in coincidence with the area of visibility and westward over the entire plain between the hills of Farneta and the marshes of the Val di Chiana (Fig. 2).

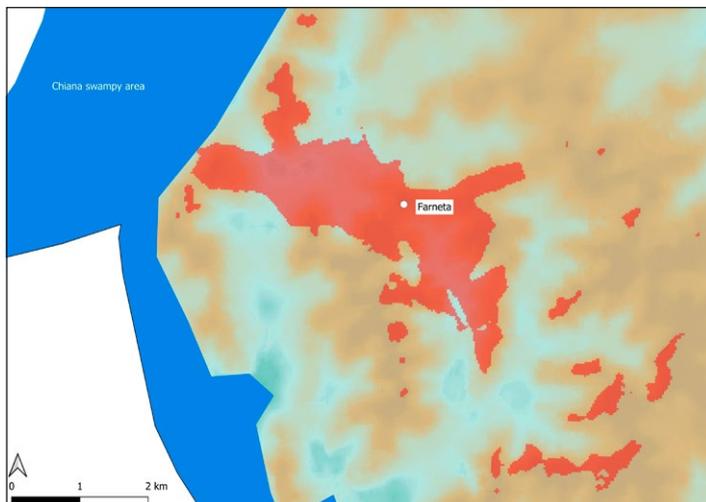


Fig. 2 – Sound diffusion area of the Abbey of Farneta.

In our opinion, simply multiplying the three rasters to define the area simultaneously visible, walkable in 30 minutes and exposed to bell sounds would be a schematization that fails to take into account certain historical dynamics of the abbey itself: the real catchment area must be located West of Farneta, which is an area reachable in less than half an hour and where you can hear the sound of the bell, but which is not visible. Unlike the valley to the South, at the beginning of the 19th century it was still an agricultural area with many fields still owned by the cathedral of Cortona or the abbey, as confirmed by the land use and owner data in the Leopoldine land registry. Furthermore, the southern area, again based on the land registry from the early 1800s, was partially occupied by woods which limited its visibility from Farneta, thus correcting data not considered in the spatial analysis phase.

In addition to this, we must also reconsider the assumption of an absence of other settlements given that, near the banks of the Val di Chiana marshes, there is a toponym of medieval origin, ‘Porto’, according to the Leopoldine land registry, which must have been a landing place for Farneta, and where the sound of the bell was audible; there was also a small settlement called Pino, with an adjoining church. It is curious to observe that these two areas, immediately beyond the half-hour journey, were still within hearing range of the sound of the bells (it should be noted that the sound spread only in these areas and not around them) (Fig. 3).

For Camaldoli, however, the scenario was completely different: it was a mountainous area with a much more limited half-hour travel range (783

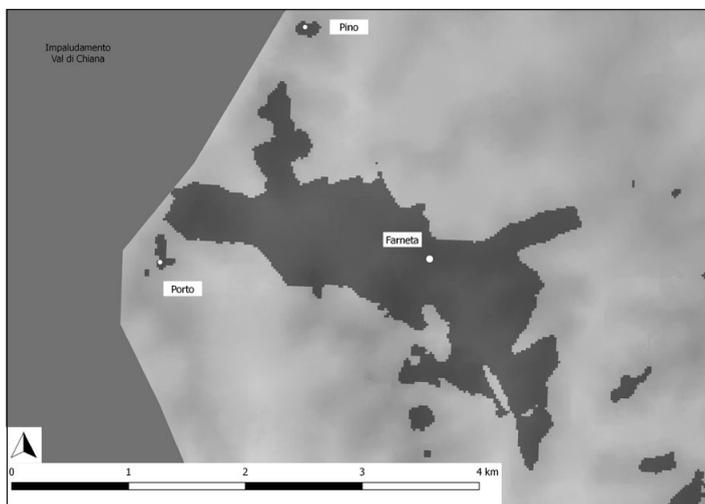


Fig. 3 – The settlements of Porto and Pino, outside of the main sound diffusion polygon but where the bells of Farneta could still be heard.

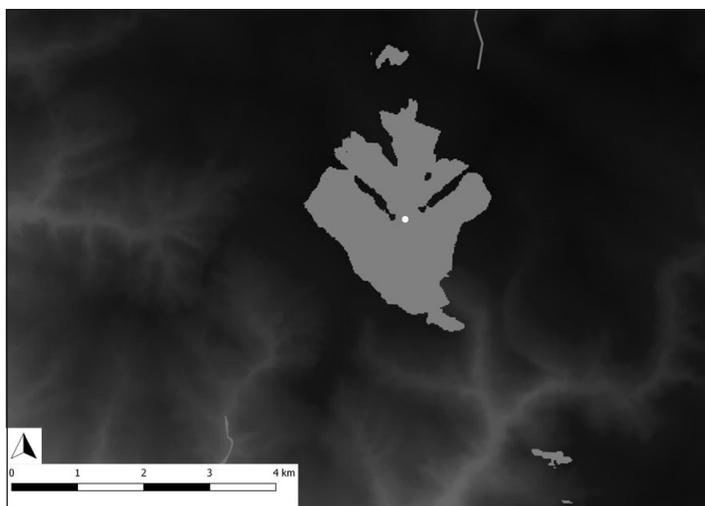


Fig. 4 – Sound diffusion area of the Monastery of Camaldoli.

hectares, therefore just over a quarter of Farneta's range) and with steep slopes, in which the visibility was very poor and even more jagged (thus resulting in a variable of little impact), but in which the sound spread evenly over a fairly rational polygon around the valleys near the monastery (Fig. 4).

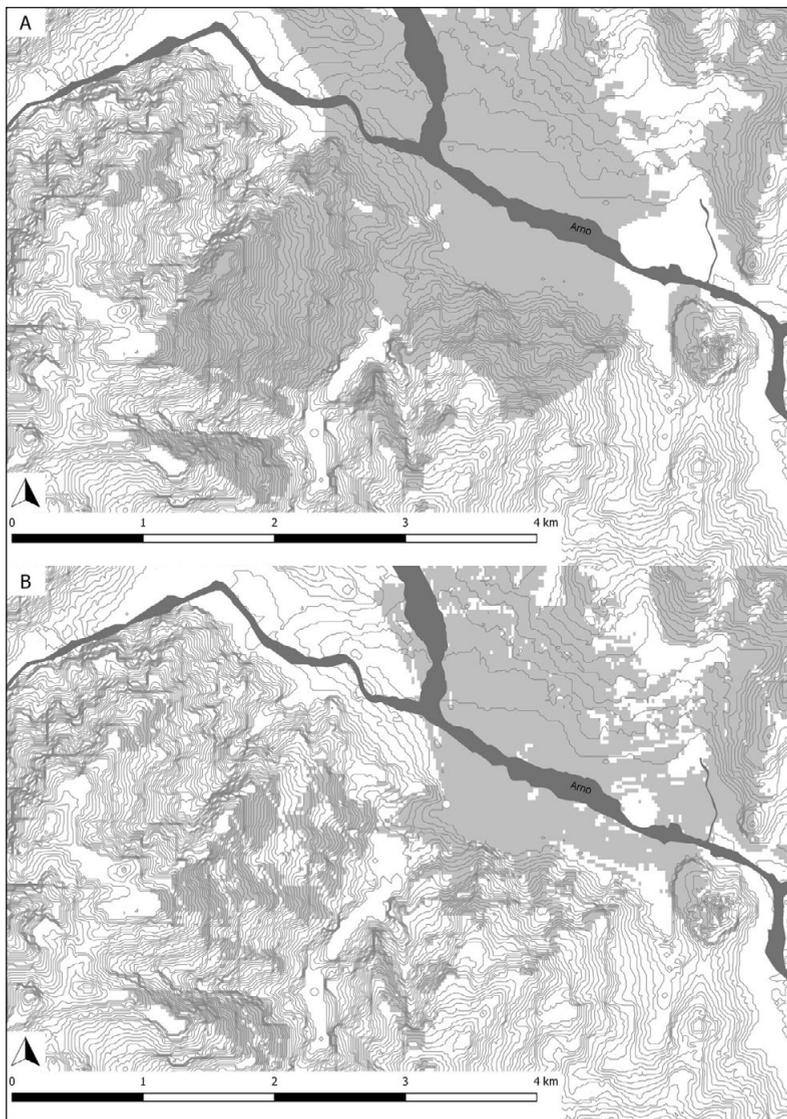


Fig. 5 – Sound diffusion area (A) and visibility raster of the Abbey of San Fedele (B).

At the beginning of the 19th century, the sound polygon was occupied in almost all cases by wooded areas, and there was an almost total absence of agricultural fields; according to Leopoldine land registry, these areas were owned by the monastery itself. This circumstance confirms what Camaldoli's

‘main business’ must have been during the Middle Ages: activities linked to exporting wood. In consideration of the regression method, the Apennine area, where the Monastery of Camaldoli stands, lends itself perfectly to this type of analysis as the economic, settlement, and infrastructural transformations since the Middle Ages do not seem to have affected the landscape.

Moving towards the main medieval settlements in the area, Serravalle and Moggione, in the extreme periphery of the sound polygon and outside it, the size of the land parcels of the early 19th century becomes smaller, with non-ecclesiastical property owners and the land used more for agriculture than the exploitation of forest resources.

A fact that emerges from these analyses, in addition to the delimitation of the catchment area, is the probable unsustainability of the monastery’s food resources; it was, in fact, necessary to obtain flour from other religious institutions. The only areas that could produce flour were the chestnut groves concentrated in some 19th-century parcels to the West of the monastery (it was a very limited area, though, of about 42 hectares). Thus, a complex settlement framework emerges in which the monastery’s activities were first devoted primarily to the exportation of timber, but later shifted to more of a subsistence economy based on livestock and with the importation of flour and other agricultural products from other areas.

Moving on to our third case, San Fedele, the results of the analyses are difficult to interpret, in part due to certain ‘disturbances’, such as the fact that, during the 13th century, the church was moved inside the castle of Poppi. San Fedele is located in the center of a small alluvial plain formed by the Arno River and some of its tributaries; it is an area favorable to agriculture, as shown by both the regional map of Tuscan soil quality and the use of the soil identified in the Leopoldine land registry. This area is easily accessible in less than thirty minutes, and is reached by the sound of the bells (Fig. 5, A), though only its southern and eastern parts are visible from the abbey (Fig. 5, B).

Towards the West, near Filetto, we know that there have been discoveries of medieval pottery. In this area, and only in correspondence with this settlement, the sound of the bell of San Fedele would have been audible. It may have been a small village related to agricultural work in the fields between the abbey and Filetto. On the hills immediately South of San Fedele, we know that a settlement called Loscove existed from the 11th century, which was owned by the abbey. In this area, there were alternating wooded, grazing, and agricultural areas, perhaps representing a mixed economy. This site is outside the thirty-minute travel threshold from the abbey as well as the visibility area (though just barely), but it is within the sound range. The hill on which Poppi is located, which must have been the site of a settlement already at the beginning of the 11th century, was reached by the sound of the bells of San Fedele, thus delimiting the catchment area of the abbey also towards the East (Fig. 6).

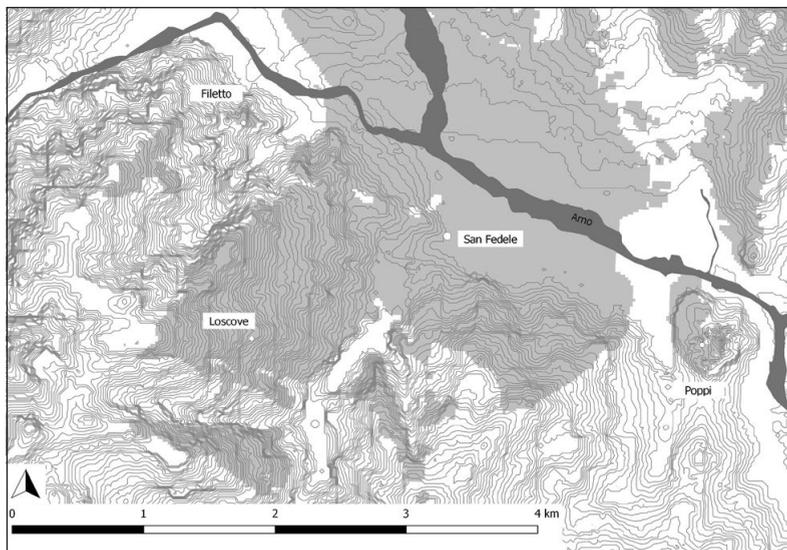


Fig. 6 – The settlements of Poppi, Filetto and Loscove near the Abbey of San Fedele: the sound of the bells could be heard in all three places.

The area is therefore defined by the Arno River (to the North) and the settlements of Loscove (to the South), Poppi (to the East), and Filetto (to the West). The abbey's economy would have been somewhere in-between those of Farneta and Camaldoli, with a predominance of agriculture but also with secondary activities related to forest resources and livestock.

S.B., C.M.

6. CONCLUSIONS

The first consideration that is important to highlight is related to the role and function of the bell in medieval monastic contexts: the perception of a loud sound, capable of drowning out other noises and heard across great distances, was probably a way of giving rhythm and order to religious life. But it was also a way to communicate in a relatively silent and slow-moving universe. Despite these considerations, in the absence of other types of data, it would be difficult to strongly support claims regarding the role of bells in defining the geo-political and economic relevance of medieval monasteries. However, what should be considered is how the sound of the bells must have given workers the perception of the presence of a central 'control', not only from a phenomenological and emotional point of view but as a soundmark of a concrete power.

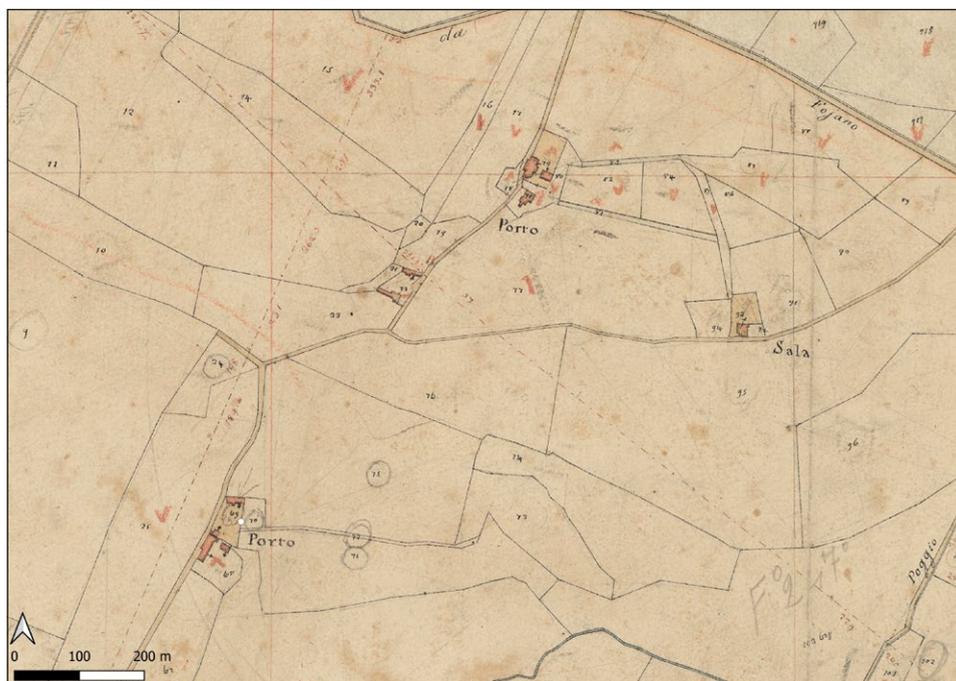


Fig. 7 – Porto and Pino in the Leopoldine land registry (source: WMS Service, Region of Tuscany).

The analyses carried out have certainly made it possible to add a further variable in defining the complexity of the areas of influence that these religious structures had in the Middle Ages, showing that, even at a distance of many kilometers, the sound of the bells could be heard in specific correspondence with human settlements. In particular, we found that, in Pino and Porto (Fig. 7), as well as Loscove, Filetto, and Poppi (Fig. 8), settlements outside the polygon of the half-hour walk, the bells of Farneta or San Fedele were still audible.

Among the three types of analysis that we conducted, it is evident that the viewshed analysis offered inferior results which would perhaps only be useful for understanding the monitoring of military and non-productive territory. In addition to the fog and rain, the darkness of the nighttime environment would have clearly represented a limit for the strategic control of the territory. In this direction, the role of the soundscape strongly emerges with respect to the visual one: though it was perhaps less immediate (in fact requiring a coding of information), the soundscape would have had much more communicative capacity.



Fig. 8 – Poppi, Loscove, and Filetto in the Leopoldine land registry (source: WMS Service, Region of Tuscany).

The application of the regressive method, used in this context as a comparison test of the results, certainly offers some additional food for thought. In particular, in the case of Farneta, the toponyms Porto and Pino were recognized within the Leopoldine land registry. The use of the land, the extension of the parcels, and the names of the owners then helped to understand the areas of influence of Camaldoli, San Fedele and Farneta. The use of the sound of bells (intended as ‘technophony’) among the possible spatial variables for the analysis of medieval historical landscapes therefore offers innovative potential and new insights into the complex correlation between geo-morphological/environmental factors and socio-economic and cultural dynamics.

S.B., G.C., A.C.B., C.M.

STEFANO BERTOLDI

Department of History and Cultural Heritage
University of Siena
stefano.bertoldi@unisi.it

GABRIELE CASTIGLIA

Pontifical Institute of Christian Archaeology
castiglia84@gmail.com

ANGELO CASTRORAO BARBA

The Polish Academy of Sciences
Institute of Archaeology and Ethnology
Centre for Late Antique and Early Medieval Studies Warsaw/Wrocław
castroraobarba@gmail.com

CRISTINA MENGHINI

University of Pisa
cristinamenghini@yahoo.it

Acknowledgments

A.C.B. thanks the PASIFIC fellowship #260766 (H2020-MSCA-COFUND-2018) at IAE-PAS.

REFERENCES

- AGOSTINI C., SANTI F. 2000, *La strada Bologna-Fiesole del II secolo a.C.*, Bologna, CLUEB, 18-19.
- ANDENNA G. 2007, *Campane e monasteri*, in LUSUARDI SIENA, NERI 2007, 73-77.
- ANTONOPOULOS S., GERSTEL S.E.J., KYRIAKAKIS C., RAPTIS K.T., DONAHUE J. 2017, *Soundscales of Byzantium*, «Speculum», 92, 321-335.
- ARNOLD J.H., GOODSON C. 2012, *Resounding community: The history and meaning of Medieval church bells*, «Viator», 43, 99-130.
- BARKER G. 1986, *L'archeologia del paesaggio italiano: nuovi orientamenti e recenti esperienze*, «Archeologia Medievale», 13, 7-30.

- BLOCH M. 1931, *Les caractères originaux de l'histoire rurale française*, Paris, Les Belles Lettres.
- BOISSEUIL D., CICALI C., DALLAI L., SALZOTTI F. 2011, *La Val di Chiana e il medioevo*, in L. DALLAI, G. PIZZIOLO, L. SARTI (eds.), *La Chiana dal mare alle bonifiche*, Siena, Salvietti e Baruffi, 79-109.
- CAMBI F., TERRENATO N. 1994, *Introduzione all'archeologia dei paesaggi*, Roma, Carocci.
- CAMMAROSANO P. 2007, *Le campane nelle scritture letterarie dell'altomedioevo e dell'età romanica*, in LUSUARDI SIENA, NERI 2007, 105-107.
- CANTINO WATAGHIN G. 2013, *Le fondazioni ecclesiastiche nelle vicende delle aree rurali: spunti di riflessione per l'occidente tardo antico (IV-V secolo)*, «Antiquité Tardive», 21, 189-204.
- CASTIÑEIRAS M. 2014, *Vox Domini: el órgano medieval del Museo del Studium Biblicum Franciscanum de Jerusalén y la perdida Sibila de la iglesia de la Natividad de Belén*, «Ad Limina», 5, 5, 63-82.
- CONOLLY J., LAKE M. 2006, *Geographical Information Systems in Archaeology*, Cambridge, CUP.
- CORBIN A. 1994, *Les cloches de la terre. Paysage sonore et culture sensible dans les campagnes au XIX^e siècle*, Paris, Albin Michel.
- COSTE J. 1996, *Scritti di topografia medievale. Problemi di metodo e ricerche sul Lazio*, Roma, Istituto Storico Italiano per il Medioevo.
- DI ZIO S., BERNABEI D. 2009, *Un modello di GIS multicriterio per la costruzione di mappe di plausibilità per la localizzazione di siti archeologici: il caso della costa teramana*, «Archeologia e Calcolatori», 20, 309-329 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF20/23_DiZio.pdf).
- EMERIT S., PERROT S., VINCENT A. (eds.) 2015, *Le paysage sonore de l'Antiquité. Méthodologie, historiographie et perspectives*, Recherches d'archéologie, de philologie et d'histoire, 40, Châtillon, Le Caire.
- FARINA A. 2014, *Soundscape Ecology. Principles, Patterns, Methods and Applications*, Dordrecht, Springer.
- FARINA A., BUSCAINO G., CERAULO M., PIERETTI N. 2014, *The soundscape approach for the assessment and conservation of Mediterranean landscapes: Principles and case studies*, «Journal of Landscape Ecology», 7, 1, 10-22.
- FATUCCHI A. 1977, *La diocesi di Arezzo, Corpus della Scultura Altomedievale*, IX, Spoleto, CISAM, 129-130.
- FRITZ J.-M. 2011, *La Cloche et la Lyre. Pour une poésie médiévale du paysage sonore*, Genève, Droz.
- FRONZA V. 2005, *Database management applicato all'archeologia nell'ambito del progetto "Paesaggi medievali"*, in R. FRANCOVICH, M. VALENTI (eds.), *Archeologia dei paesaggi medievali. Relazione progetto (2000-2005)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 399-451.
- GABBRIELLI F. 1990, *Romanico aretino. Architettura protoromanica e romanica religiosa nella diocesi medievale di Arezzo*, Firenze, Salimbeni.
- GERSTEL S.E.J., KYRIAKAKIS C., RAPTIS K.T., ANTONOPOULOS S., DONAHUE J. 2018, *Soundscape of Byzantium: The Acheiropoietos Basilica and the Cathedral of Hagia Sophia in Thessaloniki*, «Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens», 87, 1, 177-213.
- GONON TH. 2010, *Les cloches au Moyen Age? Archéologie d'un instrument singulier*, Paris, Edition Errance.
- JOHNSON M.H. 2012, *Phenomenological approaches in Landscape Archaeology*, «Annual Review of Anthropology», 41, 269-284.
- KEHR P.F. 1908, *Regesta Pontificum Romanorum: Italia Pontificia, III, Etruria*, Berlino, Weidmann, 190-191.
- KEYEL A.C., REED S.E., MCKENNA M.F., WITTEMEYER G. 2017, *Modeling anthropogenic noise propagation using the Sound Mapping Tools ArcGIS toolbox*, «Environmental Modelling & Software», 97, 56-60.

- KURZE W. 1989, *Monasteri e nobiltà nella Tuscia altomedievale*, in *I ceti dirigenti in Toscana nell'età precomunale*, Siena, Pacini Editore, 339-362.
- LAUWERS M. 2008, *Territorium non facere diocesim. Conflits, limites, et représentation territoriale du diocèse V^e-XIII^e siècle*, in F. MAZEL (ed.), *L'espace du diocèse. Genèse d'un territoire dans l'Occident médiéval (V^e-XIII^e siècle)*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 23-65.
- LUSUARDI SIENA S., NERI E. 2007, *Del fondere campane: dall'archeologia alla produzione. Quadri regionali per l'Italia settentrionale*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- MANNONI T. 2007, *A proposito del libro "De campanis fundendis"*. *La produzione di campane nel medioevo tra fonti scritte e archeologia*, in LUSUARDI SIENA, NERI 2007, 15-19.
- MATTIOLI T., FARINA A., ARMELLONI E., HAMEAU P., DÍAZ-ANDREU M. 2017, *Echoing landscapes: Echolocation and the placement of rock art in the Central Mediterranean*, «Journal of Archaeological Science», 83, 12-25.
- MESCHIARI M. 2010, *Terra Sapiens. Antropologia del paesaggio*, Palermo, Sellerio.
- MILESON S. 2018, *Sound and landscape*, in C. GERRARD, A. GUTIÉRREZ (eds.), *The Oxford Handbook of Later Medieval Archaeology in Britain*, Oxford, OUP, 713-727.
- MILLS S.F. 2014, *Auditory Archaeology: Understanding Sound and Hearing in the Past*, Walnut Creek, Left Coast Press.
- NERI E. 2012, *Les cloches: construction, sens, perception d'un son. Quelques réflexions à partir des témoignages archéologiques des "fours à cloches"*, «Cahiers de civilisation médiévale (X^e-XII^e siècles)», 55, 473-496.
- PALIOU E., KNIGHT D.J. 2013, *Mapping the senses: Perceptual and social aspects of late antique liturgy in San Vitale, Ravenna*, in F. MERCEDES FARJAS, F.J. MELERO (eds.), *Fusion of Cultures. Proceedings of the 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Granada 2010)*, Oxford, Archaeopress, 229-236.
- PAYNE S.R., DAVIES W.J., ADAMS M.D. 2009, *Research into the Practical and Policy Applications of Soundscape Concepts and Techniques in Urban Areas*, London, Department of Environment Food and Rural Affairs, HMSO.
- PENTCHEVA B.V. 2017a, *Aural Architecture in Byzantium: Music, Acoustics, and Ritual*, New York, Routledge.
- PENTCHEVA B.V. 2017b, *Hagia Sophia: Sound, Space, and Spirit in Byzantium*, Pennsylvania State University Press.
- PIJANOWSKI B.C., VILLANUEVA-RIVERA L.J., DUMYAHN S.L., FARINA A., KRAUSE B.L. 2011, *Soundscape ecology: The science of sound in the landscape*, «BioScience», 61, 203-216.
- PIZZIOLO G., DE SILVA M., VOLANTE N., CRISTOFERI D. 2017, *Transumanza e territorio in Toscana: percorsi e pascoli dalla Protostoria all'età contemporanea*, in *Chronique des activités archéologiques de l'École française de Rome*, Rome, École française de Rome, 1-27.
- PRIMEAU K.E., DAVID E.W. 2017, *Soundscapes in the past: Investigating sound at the landscape level*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 875-885.
- PUTTI M. 2008, *La carta del paesaggio e le sue applicazioni*, in M. VALENTI (ed.), *Miranduolo in Alta Val di Merse (Chiusdino - SI)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 301-322.
- REDI F., PETRELLA G. (eds.) 2007, *Dal fuoco all'aria. Tecniche, significati e prassi nell'uso delle campane dal Medioevo all'età moderna*, Pisa, Pacini Editore.
- RODRIGUEZ SUAREZ A. 2018, *The fate of bells under Ottoman rule: Between destruction and negotiation*, in A. LYMBERPOULOU (ed.), *Cross-Cultural Interaction between Byzantium and the West, 1204-1669: Whose Mediterranean Is It Anyway? Papers from the Forty-Eighth Spring Symposium of Byzantine Studies (Milton Keynes 2015)*, New York, Routledge, 303-317.
- TILL R. 2014, *Sound archaeology: Terminology, Palaeolithic cave art and the soundscape*, «World Archaeology», 46, 292-304.

- TILLEY C. 1994, *A Phenomenology of Landscape. Places, Paths, Monuments*, London, Bloomsbury.
- TOBLER W. 1993, *Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling: Non- Isotropic Geographic Modeling, Speculations on the Geometry of Geography and Global Spatial Analysis*, Santa Barbara, University of California.
- TREVISAN G. 2007, *Campane e campanili nell'altomedioevo*, in LUSUARDI SIENA, NERI 2007, 135-148.
- TRUAX B., BARRETT G.W. 2011, *Soundscape in a context of acoustic and landscape ecology*, in «Landscape Ecology», 26, 1201-1207.
- VIOLANTE C. 1982, *Le strutture organizzative della cura d'anime nelle campagne dell'Italia centrosettentrionale (secoli V-X)*, in *Cristianizzazione e organizzazione ecclesiastica delle campagne nell'Alto Medioevo: espansione e resistenze*, XXVIII Settimana di Studio del CISAM (Spoleto 1980), Spoleto, CISAM, 963-1158.
- WAS J., WATSON A. 2017, *Neolithic monuments: Sensory technology*, «Time & Mind. The Journal of Archaeology Consciousness and Culture», 10, 1, 3-22.
- WHEATLEY D. 1995, *Cumulative viewshed analysis: A GIS-based method for investigating intervisibility and its archaeological applications*, in G. LOCK, Z. STANČIČ, *Archaeology and GIS: An European Perspective*, London, Routledge, 5-13.
- WHEATLEY D., GILLINGS M. 2002, *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, London, Taylor& Francis.

ABSTRACT

This contribution is the result of experimenting with methodologies linked to the understanding of soundscapes in the context of medieval monasteries. In our specific area, the approach was not focused on the cognitive concept itself so much as the perception of the spirituality of the ringing of bells. The premise was to understand whether, and how, the bells functioned as a soundmark for controlling the territory. The case studies examined are the Abbey of Farneta, the Monastery of Camaldoli and the Abbey of San Fedele, today located in the Province of Arezzo: the three religious structures differ in their historical development, geographical position, and economy. However, what links them (and what links the great majority of medieval monastic complexes) is a tight control of their territory for production purposes, in order to guarantee the profitability of their material heritage. Analyses of the diffusion of the sound of the bells was compared (and integrated) with visibility and catchment analyses. The aim was to understand whether this type of analytical approach could contribute to the definition of a monastery's 'catchment area'. The data that emerged describe a complex economic landscape in which identified anomalies at settlement level can be worth analyzing and trying to understand.

ARCHAEOLOGICAL DOCUMENTATION AS A SERVICE. ARCHAEOLOGICAL INFORMATION SYSTEMS IN THE CLOUD ERA: THE BRADYPUS CASE-STUDY

After finding things the first consideration is to record and preserve all the information about them. [...] Recording is the absolute dividing line between plundering and scientific work, between a dealer and a scholar. The most blue-blooded dilettante collector who digs to possess fine things, but records no facts about them, is below the level of the dealer who will publish an illustrated priced catalogue, and state what was found together, and the details of the discovery. The unpardonable crime in archaeology is destroying evidence which can never be recovered; and every discovery does destroy evidence unless it is intelligently recorded (PETRIE 1904, 48).

1. INTRODUCTION

In the almost mid-Twenties of the 21th century we can definitely confirm that archaeology is slowly entering into the domain of the so-called Web 3.0, even in a relatively peripheric area of the technological development, such as the Italian peninsula. Linked Open Data (LOD), Semantic Web technologies and big data are now trending topics of international conference programmes and of journal articles about IT applications to archaeological research. The Web of data yearned since the 1990s by Tim Berners-Lee (BERNERS-LEE *et al.* 2009) is probably going to flank the ‘old’ Web of documents in the archaeological domain as well, but this is not going to actualise until specialised structured data sets will be accessible in mass and data streams will be available to the community as fully documented web services.

It is not a matter of experimentation, or founding new ways to structure data and publish them online; it is not a matter of finding meaningful techniques to link data sets together. The table has already been set and plates, glasses and cutlery have already been put in place. What is currently missing for the feast to be celebrated is the food and drinks, i.e. publicly available, structured, and documented data sets. Important cloud-based projects like the UK Archaeology Data Service by the York University (<https://archaeologydataservice.ac.uk/>; <http://dx.doi.org/10.17616/R3MW23>) or Open Context by the Alexandria Archive Institute (<https://www.opencontext.org/>; KANSA 2016; KANSA, KANSA 2018) do provide infrastructure and means to make archaeological research data findable, accessible, interoperable and

re-usable (i.e. FAIR as defined in WILKINSON *et al.* 2016) in the long term, but such projects do have start-up fees that might discourage younger researchers willing to contribute and provide larger public to their research. Yet, cost alone cannot explain the scarce participation of Italian projects to these open repositories, for example, and both copyright and broader cultural barriers against open culture are probably still playing a very active role. These arguments are probably behind the lack of great success of important Italian community-sourced endeavours like the MOD by the Pisa University, a project trying to provide infrastructure and technology for open-access archaeological data repositories and listing by the middle of 2022 no more than 145 archives, each of them being structured following the research needs and not obeying to a fixed schema (<http://www.mappaproject.org/mod>).

Copyright- and data property-related issues do play an important role in preventing the online publication of open-access archaeological data sets (ANICHINI, GATTIGLIA 2021), and limited literacy about standards and publishing formats and generalised limited access to web technologies are also critical points, especially for medium to low (or none) budget projects, like doctoral projects. Their exclusion from the general scenario is by far the most important point of failure of the current system. In particular, doctoral projects deserve a much higher attention, since most of them have at their basis the design and implementation of structured and highly specialised original data sets, that in most cases simply disappear from the research landscape after the discussion and in more fortunate cases get published in a re-arranged, not-structured format, i.e. a printed monograph.

While the open-access publication is not on the top of the agendas of ongoing projects (in fact the opposite is true), the employment of tools and technologies capable of providing unique identifiers (i.e. means for inbound citation) and linkage tools (i.e. means for outbound citation) is the very core of scientific research. Furthermore, decentralised access to data (i.e. the possibility to access data sets through more than one software/device/location), automated access (i.e. the possibility to access data sets by software other than the database managing system, e.g. GIS platforms, statistical analysis software, data analysis and visualization tools, etc.), and finally some degree of data-sharing between colleagues or other specialists is nowadays paramount even for small-scale/single-researcher projects.

This paper tries to address the general problem of the accessibility of archaeological data by focusing on its very premises, i.e. the actual possibility for small-to-medium scale archaeological research projects to access web technologies capable on the one hand of enhancing their research by providing more flexible access to structured data and, on the other, by creating well-documented structured data sets that are ready to be published online, hopefully in a rich variety of formats, once the research project has come to

an end and no legal impediment exists for data to be shared with the broader community¹.

BraDypUS, a web-based database managing system, specifically designed to address the archaeological domain, will be the main focus of this brief paper and few not exhaustive case-studies will be presented as examples of the possible usage of the tool. Some final remarks will close the presentation, drafting a possible collaborative road-map of future developments.

2. BRADYPUS: A BRIEF HISTORY

BraDypUS is an open-source project aimed at providing an easy to implement and very easy to use database managing system for archaeology, and more in general for the Cultural Heritage domain. Its development started in 2006 at the Department of Archaeology of the University of Bologna, in the context of the digitisation process of paper-based excavation records of the Roman site of *Suasa*, in the municipality of Ancona, Italy. At this early step it was conceived as a series of web forms persisting data to a server database with loose user access control and almost no data validation policy. The most important problem that the software was trying to address was the synchronous work on the same data set by about fifteen students. ACID-ity (i.e. Atomicity, Consistency, Isolation and Durability, HAERDER, REUTER 1983) of transactions was granted by MySQL, the highly reliable, open source database engine. Few months after, the software evolved to a more generalized tool, by losing any reference to a specific project or to a fixed database schema and by developing more consistent user-access control based on roles, tools for data management (import, export, backup, bulk editing, etc.), and powerful querying graphical interfaces.

While PostgreSQL was by then a widely adopted database engine by archaeologists, mainly because of its well-known and highly-performant spatial extension PostGIS, MySQL was adopted because of a more widespread (and much cheaper) availability of commercial hosting plans. This was determined by its adoption as the default database engine by important and popular web Content Managing Systems, such as Joomla, Drupal and the new-born at that time Wordpress. The reason behind this choice might appear prosaic – and so it is – but it wide-opened the door to a long-lasting sustainable development

¹ Larger international projects, such as ARIADNEplus, a paramount data infrastructure targeted at archaeological research funded by the European Commission, are intentionally left outside the focus of the current work, since they provide integration between institutions rather than single scholars willing to share and publish their research. Regarding single projects for archaeological data management – such as OpenArchaeo (<http://openarchaeo.huma-num.fr/>) or ResearchSpace (<https://researchspace.org/>) platforms, to cite just two examples – a huge range of them are available and a comprehensive list is out of the reach of this paper.

process that could not have afforded at that time the expensive fees for (virtual) private servers of highly customised hosting plans.

The Geographical Information System of Chaonia, Epirus (SITARC: Sistema Informativo Territoriale Archeologico della Caonia) was the first project to use exclusively the new information system in 2007 (BOGDANI, GIORGI, LEPORE 2007; BOGDANI, GIORGI 2012, 147-162). Since then, more than 30 Italian and international projects are using the hosted version of the system (see below) and there is no way to count independently maintained instances, both for testing purposes or in production. A notable effort towards a standardization of the archaeological documentation among different excavation projects mainly in the Middle East area (Iran, Iraq, Afghanistan, and Pakistan) was started since 2008, in collaboration with many field research projects, by defining a complex schema able to address multi-scale projects (CERETI *et al.* 2012, 2014; BOGDANI, COLLIVA 2017). The scheme is still being used, with minor adaptations, in several archaeological projects led mainly by the University of Bologna and Sapienza University of Rome.

Finally, since 2016 BraDypUS is the core database system for the ERC-Advanced project PATHs. Tracking Papyrus and Parchment Paths. An Archaeological Atlas of Coptic Literature, directed by P. Buzi and based in Sapienza University of Rome (BUZI 2017; BOGDANI 2017). Before that date, the development of the software was carried out by a start-up company, specially born to foster research, coding and provide technical support. Since 2016 the main development is led by Sapienza University of Rome and, since 2021, the LAD: Laboratorio di Archeologia Digitale (<http://purl.org/lad>) is in charge of actively maintaining the project and further developing the software.

It is most important to underline that each research project that has adopted BraDypUS for the management or publication of their data, has very actively contributed to the enhancement of its core functionality and usability. Therefore, it is not rhetorical to assert that BraDypUS is the holistic sum of experiences, theoretical and methodological considerations, requirements and research outputs of the several projects that have used and/or are using it. Source code is perfectible and is being refactored and enhanced on each major version release, but the long discussions at the basis of each instance is ultimately the most precious output of this project.

3. TECHNICAL OVERVIEW: TECHNOLOGY, CONCEPT AND LICENSE

As already mentioned, BraDypUS is a web-based relational database managing system (RDBMS) built using widespread web technologies, and following the client-server paradigm. The ‘heavy’ work is handled by the server, and the client requires only a web browser to interact with the database.

The server-side application has been built on a typical LAMP stack (Linux/ Apache/MySQL/PHP). PHP is the only mandatory requirement. Linux is by far the most secure, efficient and easy to set-up target operating system, but indeed any environment capable of running a PHP instance, such as Windows, Unix or MacOS, can be used. The same is true for Apache: it is the most widespread HTTP server on the Internet, although any web server that can work with PHP can be used to run BraDypUS.

MySQL was the default database engine of the first versions and in the following years SQLite was added to the list, as well. Progressively, support for MySQL was dropped over time and currently most of the instances run on SQLite. In 2021, the release of version 4 (a major rewrite of the entire project) restored full support for MySQL (and MariaDB) and added for the first time support for PostgreSQL. This was, after many years, a very important milestone that has open new scenarios to the possible adoption of the project by the community. At present, new users are free to choose the database engine that better fits their needs without impacting their overall experience with the software.

BraDypUS is a generalized software for the management of archaeological data. It means that it does not provide in advance a fixed schema to which data must adapt, as does for example pyArchInit a well-known Italian project for the documentation of archaeological contexts, designed on data-schemata provided by ICCD (Italian Central Catalogue and Documentation Institute) or developed by the project itself (MANDOLESI 2009). On the one hand this means that deep knowledge of the data that are being collected as well as a clear view on the research questions that are raised by the project are a mandatory prerequisite. On the other hand, a great flexibility is made available to the project leaders to fully customize from the beginning the information system to better fit the research goals.

BraDypUS relies on a set of project-based configuration files thoroughly describing the database schema, along with data validation policy, vocabulary definition and other constraints that highly ease the data-entry process and grant a high degree of data consistency. These files, encoded in JSON, do provide a complete description of the structure of the application, and act as fundamental metadata for the information system.

This flexibility comes at the cost of manually building the database schema, data validation policy, etc., but since version 4, the overall configuration can be dynamically handled through fully graphical user interfaces (Fig. 1). Furthermore, the schema definition can be changed over time: new tables and columns can be added, tables and columns can be renamed or dropped, data validation policies updated, etc. The possibility to continuously adapt the database schema to new needs has been by far one of the most challenging and interesting features of the entire project. The system does not support

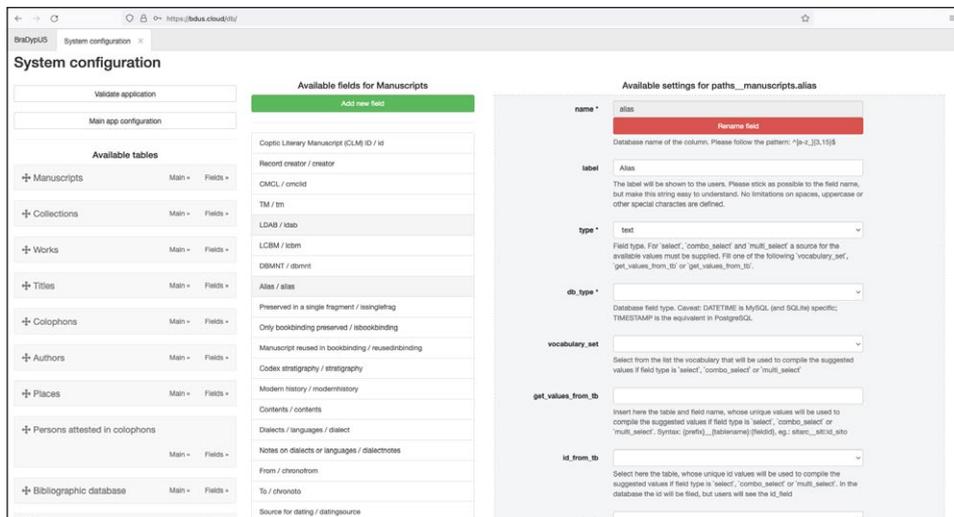


Fig. 1 – Screenshot of the graphical user interface dedicated to the BraDypUS database schema definition and data validation.

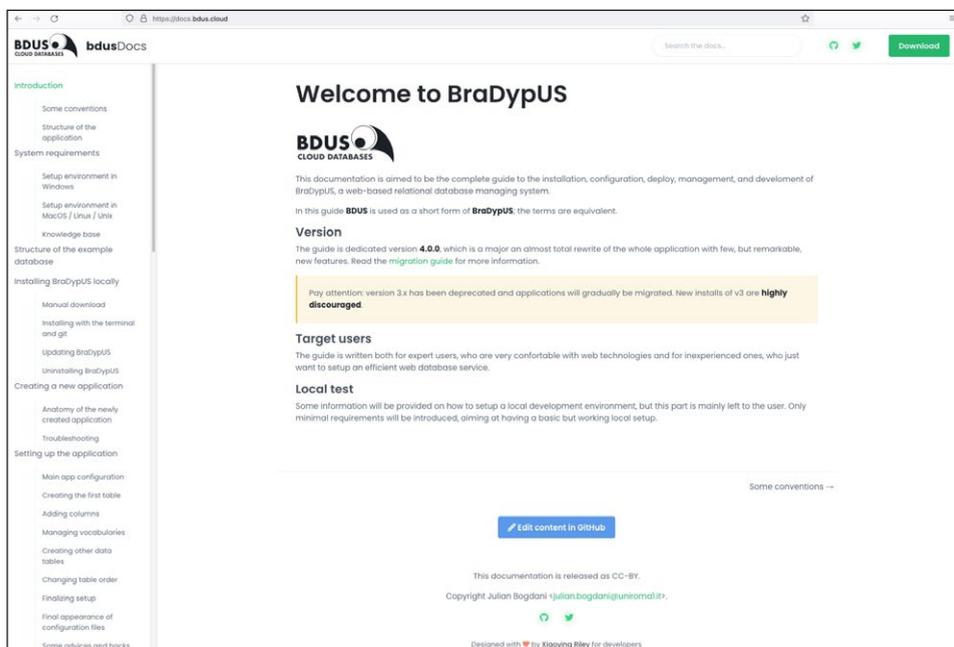


Fig. 2 – Screenshot of the welcome page of documentation portal. Readers and users are invited to collaborate by improving the contents maintained in GitHub.

the automatic creation of Entity-Relationship Diagrams, since many external tools provide this feature for each of the supported database engines. The manual creation and maintenance of ERDs is nevertheless a very instructive and beneficial practice for digital archaeologists.

Version 4 introduced an important change to the license as well. Traditionally BraDypUS has been shipped with the open-source and highly permissive MIT license (also known as Expat License: <https://opensource.org/licenses/MIT>). Version 4 was relicensed with the libre and open-source GNU AGPL v3 license (<https://www.gnu.org/licenses/agpl-3.0.en.html>), an adapted version of the most famous GNU GPL which addresses the particular case of software running on computer networks. It requires that modified versions of the original software running as a service on a (web-) server should be made available to the community as well. The intention behind this change is to provide legal ground to a free and libre development of the project in the long term.

The source code is maintained in a Git-based repository hosted on GitHub (<https://github.com/lab-archeologia-digitale/BraDypUS>) and Zenodo (<https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5577979>). In order to facilitate collaboration in the development process and to provide useful technical and practical information on the installation and setup, a detailed guide in English language has been published and maintained as a collaborative effort on GitHub (<https://docs.bdus.cloud/>), released as a Free Cultural Work (CC BY). The documentation portal has been conceived as a step-by-step guide presuming not very extensive technical skills on web technologies and coding and thus oriented mainly towards archaeologist and researchers looking to provide an easy-to-build and modern house for their data (Fig. 2).

4. MAIN FEATURES

BraDypUS is a web-based software, meaning that only a (modern) web browser is needed to run it, both on desktop computers and on mobile devices. The software provides graphical user interfaces for CRUD (Create, Read, Update, Delete) operations on database records. It allows the uploading of images and other types of attached files and their linking to database records; it is able to perform several types of database queries (simple string-based to highly advanced) using fully graphical interfaces; to manage geographical data through an integrated graphical webGIS tool (Fig. 3); to import and export bulk data in several formats (Fig. 4); to create, save and share queries with other users; backup and backup recovery; visual quantitative data analysis (charts); centralised vocabulary management; custom templating; custom UI language (Italian and English are supported out of the box, other translations can be easily added); fully automated Harris

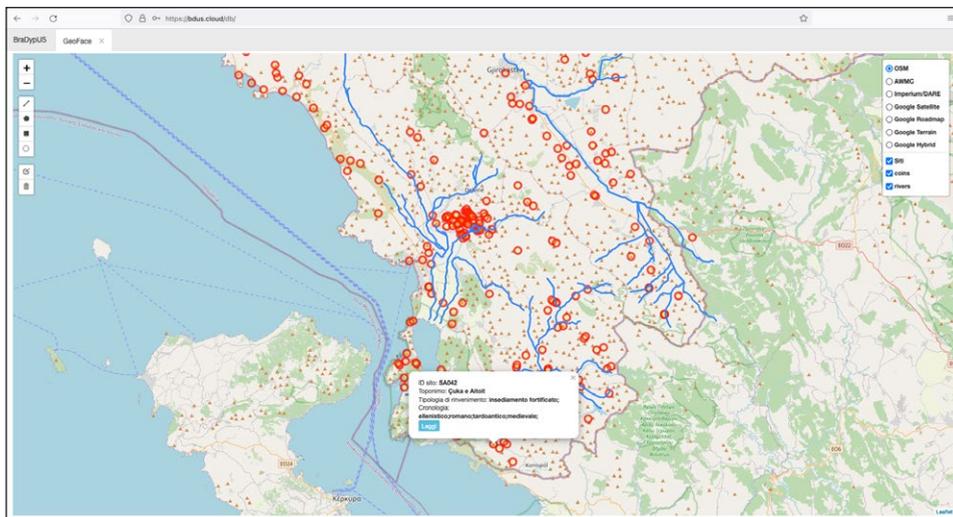


Fig. 3 – GeoFace, BraDypUS geographical interface showing point-features representing database records (archaeological sites) overlaid with GeoJSON encoded vectors representing historical hydrography and different options of out-of-the-box XYZ base maps (SITARC database).

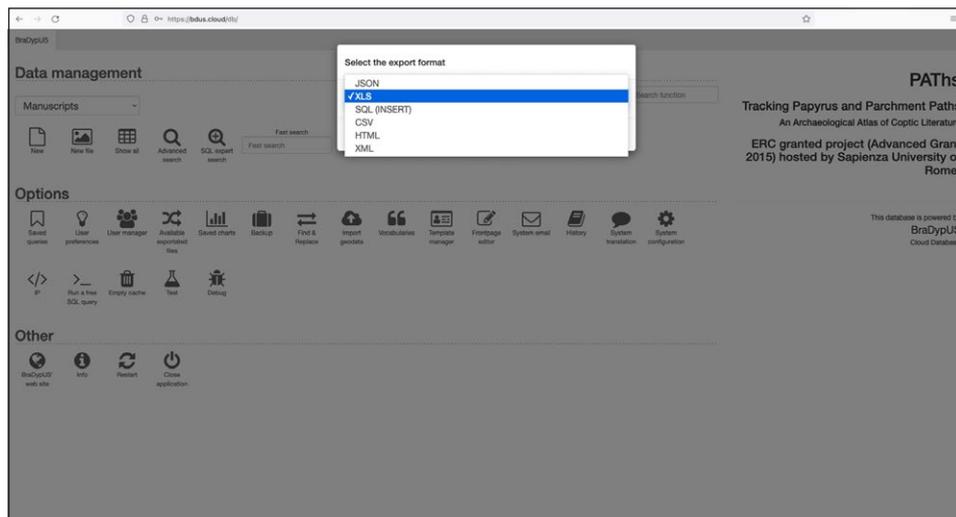


Fig. 4 – Whole data set or query results (subsets) are easily exported in different formats, such as JSON, Microsoft Excel, SQL, CSV, HTML and XML.

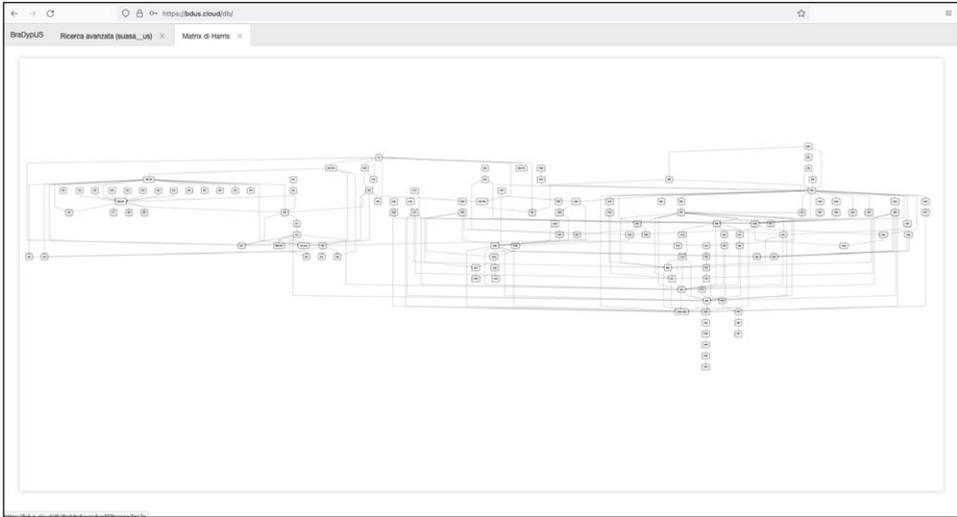


Fig. 5 – Automatically created stratigraphic Harris Matrix from an advanced query on textual data (Suasa database). The graph is built using a Dagre layout, a D3.js-based javascript library for directed graphs (<https://github.com/dagrejs/dagre>).

Matrix for archaeological contexts (Fig. 5), etc. As already mentioned, it is possible to build from scratch and fully configure a new application with a custom schema using graphical interfaces, obtaining full control on the database schema. User- and role-based permissions allow a very granular control over data editing and reading. Further control on data quality over time is granted by keeping trace of each edit operation, by maintaining a very detailed log of database interactions.

Finally, since archaeological excavations occur not rarely in areas not covered by broadband Internet connection, it has been necessary to develop a dual online/offline use of the software with a specific synchronizing mechanism. It is possible to install the software on a personal computer and create a local network within the scope of a laboratory or excavation area. While the local server is running the main application on the web is put on a “frozen” status, where data are accessible in read-only mode. After the excavation is finished, it is possible to synchronize back to the main server.

Up to 3-4 years ago the offline mode was a very requested feature, not only in remote extra-European areas but also in several parts of Italy. More recently, nevertheless, the substantial diffusion of 4G and 5G mobile network coverage even in remote geographical areas has rapidly changed the needs of the archaeological teams who do not require any longer a local (‘offline’) version of their databases.

5. SOFTWARE AS A SERVICE: NEW PATTERNS FOR THE ARCHAEOLOGICAL DOCUMENTATION

For long years the only way to build a new instance of a BraDypUS database was to hire an IT specialist who was aware of the specific details of the software, a fact that has deeply determined the development and diffusion of the software itself. Only bigger and structured projects could afford the initial costs, and single researchers where in most cases discouraged by the rather high technical threshold. This was not determined only by economical reasons, but also by the fact that bigger projects had a greater urgency for a multi-user database. Things has changed in recent years, since the cloud paradigm is becoming progressively part of our daily life, and multi-device/location access to data has become a paramount requisite.

In order to facilitate participation, full support for database creation and schema editing has been introduced since 2021 and detailed documentation

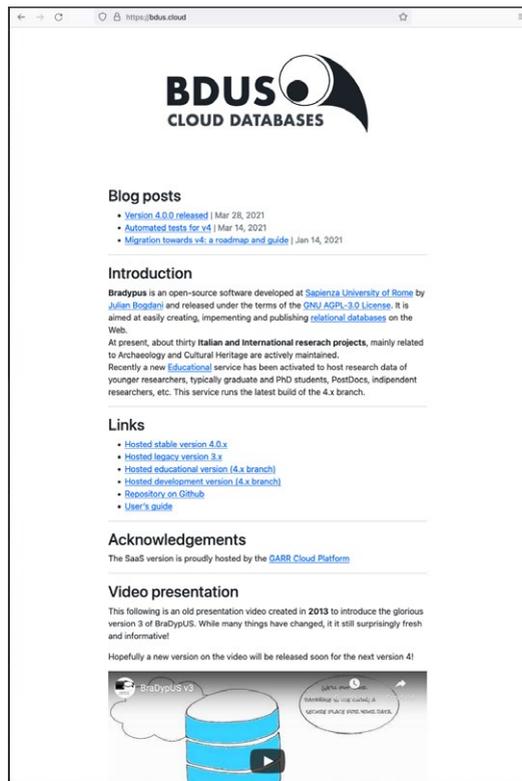


Fig. 6 – BraDypUS hosted version at <https://bdus.cloud/>.

has been published online in the BRADYPUS Official Guide aiming at facilitating the creation of a database also by archaeologists non particularly accustomed to IT applications.

In the context of an institutional collaboration between Sapienza University of Rome and the GARR Consortium (<https://www.garr.it/>), a cloud service has been made available, distributing BraDypUS as a fully-managed service (Fig. 6). This is a freely available service for institutional participants and is paired with an ‘educational’ version, a free to use virtual space for experimenting and creating research. While the creation of a new hosted instance under the main branch is subject to authorization, the educational space is absolutely free to experiment with. Anyone can create new projects, develop them further and make them production-ready. The education branch is therefore the best place to start with for new users; once an application is ready for production and is actively maintained, it is eligible to be moved to the main branch.

This is a very concrete way to promote independent research and to offer a sustainable digital house for research data to small-scale projects, a house that they are free to adapt to their specific needs. Data sets remain in the exclusive availability of their owners, who freely decide on the degree of openness of their archive.

6. DATA AS A SERVICE: NEW PATTERNS FOR THE ARCHAEOLOGICAL PUBLICATION

Even if BraDypUS is a self-contained multi-featured software package, it has been developed with the firm intention of not building a silos. The most important investment in terms of code developing has been focused in obtaining a fluid user experience, aiming at progressively lowering barriers for non IT specialist. The most important goal was developing a system that did not required any specific training for end-users. Security and performance where also paramount targets and in the last years many improvements have been introduced.

Yet, data availability beyond the software itself has become one of the most important key features. Data availability through application programming interfaces (APIs) using open and well documented web standards has made possible on the one hand the creation of other digital products based on the published data sets and, on the other, it has made possible a richer set of customized and parallel alternative data formats, a most useful feature to programmatically (i.e. automatically) align data through different projects. From the technical point of view, outbound communication is available through a REST (FIELDING 2000) API that outputs JSON, a text-based widespread standard for information interchange (<https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-404/>) or GeoJSON, a JSON-based

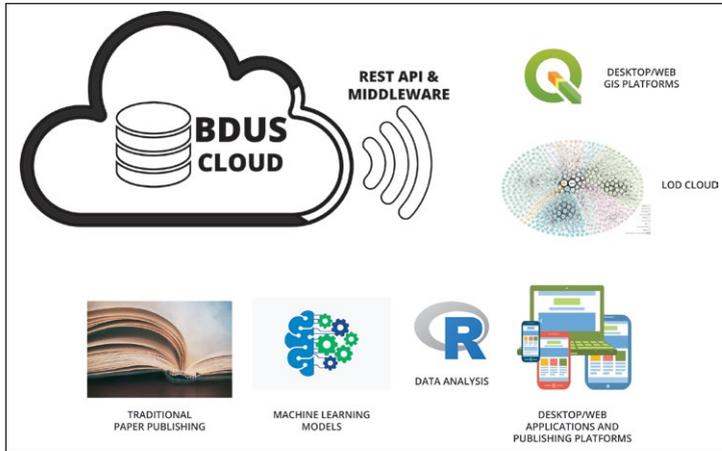


Fig. 7 – Diagram of possible archaeological data usage beyond the specific RDBMS.

standard for geographic data representation (<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7946>). The custom design of middleware makes it possible to output custom data-structures and data-formats, as well.

Three examples can clearly demonstrate the flexibility and the potentiality of opening databases to a broader public and sharing data with other projects (Fig. 7).

6.1 Ghazni: a multidisciplinary digital archive for the managing and preservation of an endangered cultural heritage (<https://ghazni.bdus.cloud>)

The first example regards the creation of a web portal curated by Orientale University of Naples aiming at providing a digital open-access publication of archaeological objects and contexts related to the Italian Archaeological Mission in Ghazni, Afghanistan (Fig. 8). This important crossroads of Central Asia represents an evocative synthesis of the developments of cultural phenomena that occurred in the region from the 2nd to the 19th Century. The Italian field research has recovered in Ghazni highly important and suggestive traces of the Buddhist and Islamic culture, a heritage constantly endangered by 20th and 21th Century continued crisis. The reasoned organization and online publication of the archaeological data aimed at securing their preservation, at facilitating their circulation among the scientific community, and at promoting new research inside and outside Afghanistan. An active contribute to the training of the new generations of Afghan cultural heritage professionals was also a paramount goal.

The first version of the web portal (BOGDANI 2016) has been recently updated, enlarging the quantity of information published online. The cataloguing

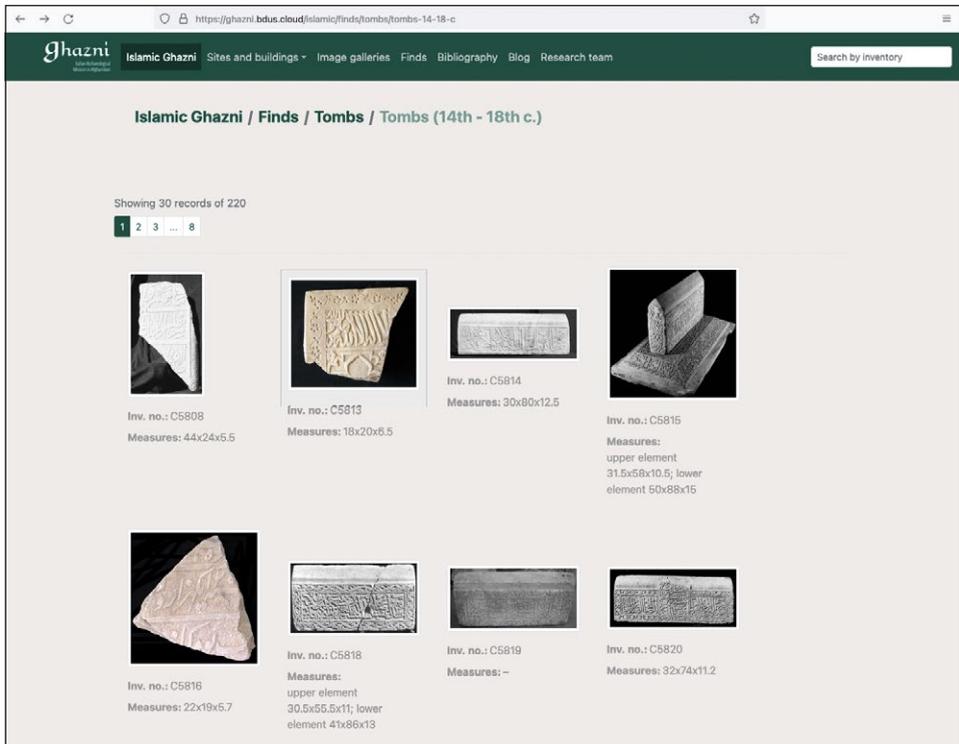


Fig. 8 – Screenshot of one of the newly added sections of the Ghazni website, dedicated to the tombs and the architectonic elements pertaining to them.

of objects and contexts has been (and still is) a hard and meticulous work conducted by researchers that have transferred to the digital domain paper-based archives and new original research. The main data-container is a BraDypUS instance that exposes the entire dataset via the REST API. The web portal pulls data from the database and publishes them online, wrapping data with an interpretative narrative, context and taxonomy. The web portal can thus be considered as a context-aware and higher-level version of the main database, automatically updating each time changes are applied to the main repository. By building custom filters, various ways of organizing and presenting the information are available, based on contexts of discovery, typology of the objects, material, function, iconography, chronology, etc., providing new and original ways of exploring and studying the archaeological record.

From the technical point of view the Ghazni website is coded in PHP. For this project a high-level PHP class to connect and retrieve data from the database API, using Object Oriented Programming (OOP) paradigm has

been expressly developed. The library can be used also by thirds willing to develop new PHP applications consuming data from a BraDypUS database. It is available for download with the MIT license on GitHub (<https://github.com/lab-archeologia-digitale/BdusApiPhpClient>; <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5744345>).

6.2 PATHs: Archaeological Atlas of Coptic Literature (<https://atlas.paths-erc.eu/>)

Similar premises, but of a completely different scale, have led to the development of the Archaeological Atlas of the Coptic Literature, a Rich Internet Application (RIA) coded in JavaScript, a client-side programming language. The online Atlas has been designed to be an open-access read-only public version of the PATHs database, counting, on November 2021, ca. 9,200 unique digital objects, organized in Manuscript, Places, Works, Authors, Persons, Titles, Colophons and Collection entities. The PATHs database is actively updated on a daily basis, since the research project directed by Paola Buzi and located at Sapienza University of Rome is still ongoing.

The text-based data presentation is paired by a map-based (WebGIS) interface acting as a connection hub for the various georeferenced entities and connecting the archaeological dimension to the textual one, i.e. the Coptic literary manuscripts, a paramount characteristic of this ERC funded project

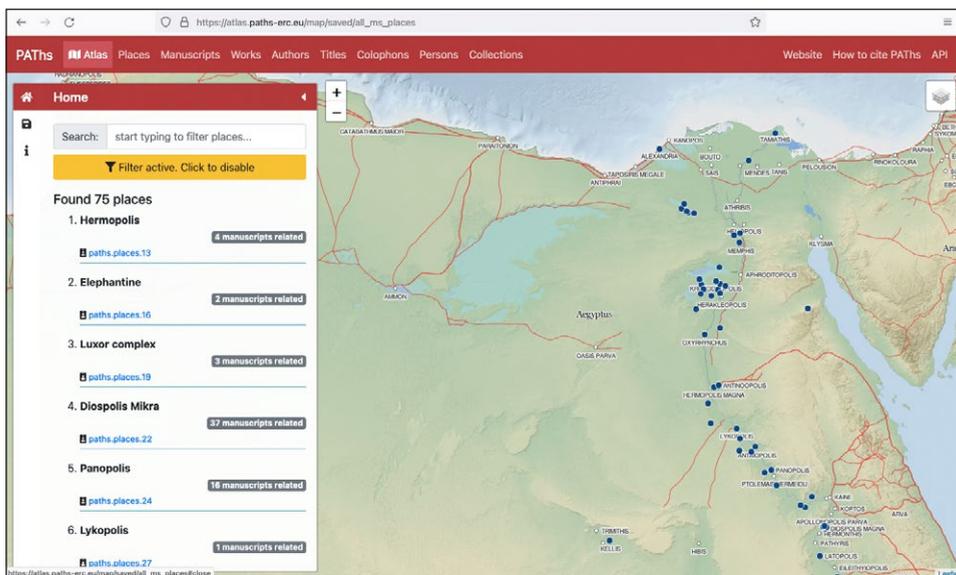


Fig. 9 – Screenshot of the geographical interface of the PATHs: Archaeological Atlas of the Coptic Literature, showing places (i.e. archaeological sites) connected to Coptic manuscript production or discovery.

(Fig. 9). Once more, the live connection between the web database and the data presentation portal is the very premise of creating a living web-based application, continuously and automatically updating as the work of the researches advances. This is not only a technical detail about developing modern applications for the humanities domain, but a radical change of perspective toward a data-centric vision. The database in the sense of the data-container tool or the data-portal in the sense of the presentation interface software are put in a second plane, offering a most eminent and central place to the structured data set. In a data-centric view, applications and interfaces are fundamental tools necessary to implement and interact with data, yet they must be interchangeable and as such not indispensable to the actual use of data. The separation of data from software can be therefore considered as a prerequisite of breaking silos.

6.3 Connecting PATHs to Pelagios: Linked Open Data on-the-fly transformation from online RDBMS (<https://atlas.paths-erc.eu/api/>)

A final example regards a not yet documented feature of BraDypUS database, that is the possibility of coding custom data transformation algorithms in the form of middleware software, able to transform on-the-fly the API-served data streams. Using this functionality it is possible, for example, to output data in formats other than JSON, and also to transform the data structure to fit different usage needs. There is a variety of possible scenarios where custom schema or custom output formats are required; typically this is a fundamental feature when the programmatic collaboration between research projects comes into account. Data-alignment between databases is a requisite for data-exchange and actual collaboration, for data linkage and further data enhancement.

The example of the PATHs data-transformation pipeline to meet the Pelagios Gazetteer Interconnection Format (<https://github.com/pelagios/pelagios-cookbook/wiki/Pelagios-Gazetteer-Interconnection-Format>), a custom ontology that can be serialized in different LOD standards (Turtle, JSON, N-Triples, RDF/XML, Graphviz Dot, N3) can be enlightening. In this specific case the API is wrapped in custom code that on-the-fly transforms data regarding PATHs places to meet the specific structure of the Pelagios Interconnection Format. It is also able to express (serialize) this conceptual scheme to different formats, based on JSON, XML or completely different encoding schemes (Fig. 10).

The most important point that must be stressed out is that with BraDypUS a researcher does not need to adapt the way he collects, analyzes and stores data to the needs of compliancy with parallel projects. He only has to focus on his own research questions. In a second step, it is possible to build custom tools on top of the already available API function to expose one or more custom data-schemes expressed in one or more custom data-formats to meet the needs of connection to other data sets, in the context of a desirable increasingly connected research and/or interoperability.

```
▼ http://paths.uniroma1.it/data/places#agents/me:
▼ http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type:
  ▼ 0:
    type: "uri"
    value: "http://xmlns.com/foaf/0.1/Person"
  ▼ http://xmlns.com/foaf/0.1/name:
    ▼ 0:
      type: "literal"
      value: "Julian Bogdani"
  ▼ http://xmlns.com/foaf/0.1/mbox:
    ▼ 0:
      type: "literal"
      value: "julian.bogdani@uniroma1.it"
  ▼ http://xmlns.com/foaf/0.1/homepage:
    ▼ 0:
      type: "literal"
      value: "http://www.lettere.uniroma1.it/users/julian-bogdani"
  ▼ http://xmlns.com/foaf/0.1/depiction:
    ▼ 0:
      type: "literal"
      value: "http://www.lettere.uniroma1.it/sites/default/files/pictures/picture-1844-1508316765.jpg"
▼ http://paths.uniroma1.it/atlas/places/1:
▼ http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type:
  ▼ 0:
    type: "uri"
    value: "http://lawd.info/ontology/Place"
  ▼ http://www.w3.org/2004/02/skos/core#exactMatch:
    ▼ 0:
      type: "uri"
      value: "http://pleiades.stoa.org/places/736963"
    ▼ 1:
      type: "uri"
      value: "https://www.trismegistos.org/place/1344"
```

Fig. 10 – Excerpt of different serialisations of data about the PATHs places modelled to follow the Pelagios Gazetteer Interconnection Format for Linked Open Data. From left to right: JSON, Turtle and RDF/XML. Available options are published at: <https://atlas.paths-erc.eu/api/> (follows on the next page).

7. ALTERNATIVES

It is important to remark that in the international stage different efforts aimed at providing digital tools for the documentation of the archaeological record have been put in place, developing software to address the on-field or in-laboratory data collection. In the next paragraphs follows a very short and not exhaustive list, hopefully significative of the trending topics of this research area.

The *iDAI.field* is a set of applications developed by the Deutsches Archäologisches Institut in Berlin, covering the desktop usage (*iDAI.field* Desktop), the on-field data collection using mobile devices (*iDAI.field* Mobile), a web publication platform (*iDAI.field* Web) and a central server for the data management (*iDAI.field* Server). These applications are used internally by the German Archaeological Institutes teams operating all over the world and are made available as open-source projects (*de facto* only *iDAI.field* Desktop is clearly licensed with Apache v.2 license and the other projects are lacking any clear indication) to the community of archaeologists on GitHub (<https://github.com/dainst/idai-field>).

Heurist network has a starting point very similar to BraDypUS, since it pretends to be a low threshold, adaptable and incremental database managing system for Humanities researchers, able to ingest existing data sets, provided with advanced search tools, data analysis functionalities and simple web publishing interfaces. It was originally designed by Ian Johnson, based in Sydney, Australia. Heurist is an open-source project licensed with GNU General Public License v3.0 whose source-code is currently available on GitHub (<https://github.com/HeuristNetwork/heurist>).

Specifically addressing the issue of remote and not connected areas where archaeologist often operate, *FAIMS* (Field Acquired Information Management Systems) is conceived as a mobile application for Android-based devices. It is designed to collect data from a number of not connected mobile devices that synchronize when a connection to a network is available towards a central data repository. The latest version (3) is still under active development (pre-alpha). It is also developed as an open-source project (Apache v.2 license) with its code being hosted on GitHub (<https://github.com/FAIMS/FAIMS3>). Other than archaeology, *FAIMS* is used by projects focused on Geoscience and more in general on the Humanities domain (SOBOTKOVA *et al.* 2016, 2021).

Finally, the Archaeological Recording Kit (ARK) is another open-source (GNU GPL v.2.0), web-based ‘toolkit’ for the collection, storage and dissemination of archaeological data, including data-editing, data-creation, data-viewing and data-sharing tools, all of which are delivered using a web-based front-end (<https://ark.lparcarchaeology.com/>; EVE, HUNT 2008). It uses a stack similar to the one used by BraDypUS, relying on Apache/MySQL/PHP. Its code is hosted in SourceForge but it seems not to be actively updated, the latest release dating in 2018 (<https://sourceforge.net/projects/arkdb/>). One of the most important projects adopting ARK is Fasti Online (<http://www.fastionline.org/>).

8. CONCLUSIONS

While a much opener archaeological record production and analysis and in general a more participated research process remains a desirable but still remote goal, it is much important to offer to the community of scholars digital tools able to foster their research, capable of building bridges and fit to serve as a stable basement for this common objective.

BraDypUS, as other parallel projects, does provide an agile and flexible tool able to bring the archaeological research to the cloud era. While user and role based restrictions provide a secure data protection layer, still necessary and fundamental in most use-cases, a versatile use of the API can permit the external use of data towards publishing platforms, data analysis software, desktop GIS platforms and other desktop or mobile applications that can be built on archaeological data sets. This is probably one of the most effective

ways to avoid isolation and promote collaboration, in the hope that legislation and copyright regimentation will permit in the near future a much more dynamic and collaborative research process. It is not only a matter of the most efficient tools to be adopted or of the most recent technological trends to be followed. Real-time collaboration and data-sharing beyond the borders defined by a single software do provide a new methodological point of view in the archaeological data recording, analyzing and publishing. The possibility of transforming, with none or little effort and investment, each isolated data set into a well-documented data access point might provide new means toward a more concrete Web of data also for the archaeological domain.

JULIAN BOGDANI

Department of History Anthropology Religions Art History,
Media and Performing Arts (SARAS)
Sapienza University of Rome
julian.bogdani@uniroma1.it

REFERENCES

- ANICHINI F., GATTIGLIA G. 2021, *The ArchAIDE Archive: The open-data policy and management of material covered by copyright*, in J. BOGDANI, R. MONTALBANO, P. ROSATI (eds.), *ArcheoFOSS XIV 2020: Open Software, Hardware, Processes, Data and Formats in Archaeological Research*, Oxford, Archaeopress, 101-107.
- AVERETT E.W., GORDON J.M., COUNTS D.B. (eds.) 2016, *Mobilizing the Past for a Digital Future: The Potential of Digital Archaeology*, Grand Forks, The Digital Press at the University of North Dakota (<https://doi.org/10.31356/dpb008>).
- BERNERS-LEE T., CYGANIAK R., HAUSENBLAS M., PRESBREY J., SENEVIRATNE O., URECHE O.-E. 2009, *Realising a Read-Write Web of Data* (<https://web.mit.edu/presbrey/Public/rw-wod.pdf>).
- BOGDANI J. 2016, *Un archivio digitale multidisciplinare per la gestione e la conservazione di un Patrimonio Culturale a rischio: il Progetto Ghazni (Afghanistan)*, 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, 236-245 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_8/31_Bogdani.pdf).
- BOGDANI J. 2017, *The Archaeological Atlas of Coptic Literature. A question of method*, «Vicino Oriente», 21, 59-69.
- BOGDANI J., COLLIVA L. 2017, *The Archaeological Relational Database*, in A. ASKARI CHAVERDI, P. CALLIERI (eds.), *From Palace to Town. Report on the Multidisciplinary Project Carried out by the Iranian-Italian Joint Archaeological Mission on the Persepolis Terrace (Fars, Iran), 2008-2013. 1. Topography, Diagnostic and Conservation*, Roma, BraDypUS, 17-24.
- BOGDANI J., GIORGI E. 2012, *Il territorio di Phoynike in Caonia. Archeologia del paesaggio in Albania meridionale*, Bologna, Ante Quem.
- BOGDANI J., GIORGI E., LEPORE G. 2007, *La "Città Bassa" ai piedi della collina*, in S. DE MARIA, S. GJONGEÇAJ (eds.), *Phoynike IV. Rapporto preliminare sulle campagne di scavi e ricerche 2004-2006*, Bologna, Ante Quem.
- BUZI P. 2017, *Tracking Papyrus and Parchment Paths: An Archaeological Atlas of Coptic Literature. Literary texts in their geographical context. Production, copying, usage, dissemination and storage ("PATHs"). A new project on Coptic literary texts*, «Early Christianity», 8, 507-16.

- CERETI C.G., COLLIVA L., BOGDANI J., FUSARO A., GALUPPI M., INSOM C., LABISI G., MANCINI S., TERRIBILI G. 2014, MAIKI, *Missione Archeologica Italiana nel Kurdistan Iracheno: la carta archeologica dell'area di Paikuli, obiettivi e metodologie applicate*, «Vicino Oriente», 18, 25-38.
- CERETI C.G., COLLIVA L., FONTANA M.V., TERRIBILI G., BOGDANI J., BIZZARRO A., TILIA A., TILIA S.S. 2012, *From flint to silicon, modern technologies applied to the understanding of history. The Italian Archaeological Mission in Iraqi Kurdistan*, «Vicino Oriente», 16, 181-199.
- EVE S., HUNT G. 2008, ARK: *A developmental framework for archaeological recording*, in A. POSLUSCHNYA, K. LAMBERS, I. HERZOG (eds.), *Layers of Perception: Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), (Berlin 2007)*, 1-5. Kolloquien Zur Vor- Und Frühgeschichte, 10, Bonn, Dr. Rudolf Habelt GmbH.
- FIELDING R.T. 2000, *Architectural Styles and the Design of Network-Based Software Architectures*, Los Angeles, University of California, Irvine.
- HAERDER T., REUTER A. 1983, *Principles of transaction-oriented database recovery*, «ACM Computing Surveys», 15, 4, 287-317 (<https://doi.org/10.1145/289.291>).
- KANSA E.C. 2016, *Click here to save the past*, in AVERETT, GORDON, COUNTS 2016, 443-472.
- KANSA W.S., KANSA E.C. 2018, *Data beyond the archive in digital archaeology. An Introduction to the Special Section*, «Advances in Archaeological Practice», 6.2, 89-92 (<https://doi.org/10.1017/aap.2018.7>).
- MANDOLESI L. 2009, *PyArchInit, Python, QGIS e PostgreSQL per la gestione dei dati di scavo*, in P. CIGNONI, S. PALOMBINI, S. PESCARIN (eds.), *ARCHEOFOSS Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del IV Workshop (Roma 2009)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 2, 209-222 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_2/20_Mandolesi.pdf).
- PETRIE W.M.F. 1904, *Methods and Aims in Archaeology*, London, Macmillan & Co.
- SOBOTKOVA A., ROSS S.A., BALLSUN-STANTON B., FAIRBAIRN A., THOMPSON J. 2016, *Measure twice, cut once: Cooperative deployment of a generalized, archaeology-specific field data collection system*, in AVERETT, GORDON, COUNTS 2016, 337-71.
- SOBOTKOVA A., ROSS S.A., HERMANKOVA P., LUPAK S., NASSIF-HAYNES C., BALLSUN-STANTON B., KASIMI P. 2021, *Deploying an offline, multi-user mobile system for digital recording of landscape archaeology in the Perachora Peninsula, Greece*, «Journal of Field Archaeology», 46, 571-94 (<https://doi.org/10.1080/00934690.2021.1969837>).
- 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

The paper discusses new trends in the archaeological documentation practice, heavily conditioned by the capillary diffusion of web-based technologies and cloud-based services. In this context, a close examination of BraDypUS, a libre and open source project both available for download, self-hosting and as a cloud service, is presented. The online availability of archaeological data sets and the possibility of building new original research on them, by adapting original schemas and formats to new requirements, is considered a very promising initial step towards a more collaborative research. Reducing IT barriers and setting the stage for web-based data management and publication to small-scale (single-researcher and/or highly specialized) projects, will lead to a new era for archaeological data analysis and dissemination.

RESEARCHES AT THE MONTE ABATONE NECROPOLIS (CERVETERI)

1. STATE-OF-THE-ART

The ‘Monte Abatone’ project was launched by Mauro Cristofani, Marina Martelli and Paola Pelagatti in the early Nineties of the last century. The idea was sparked in the years just preceding by M.A. Rizzo’s general reorganisation of the Caeretan materials at the Villa Giulia and Cerveteri depositories, which for the first time provided the chance to consider in concrete terms an overall study of the Caeretan necropolis. Well-known since the nineteenth century – albeit limited to some of the truly outstanding monuments, such as the Campana Tumulus, of the middle-Orientalizing period (see NASO 1996, 35-38, with. ref.), and Torlonia Tumulus (PAPI 2010), of the proto-Hellenistic period – the necropolis is located immediately to the South of the ancient city (CRISTOFANI 1991, 13, 67-72 and *ad ind.*) and is actually best-known for the finds from campaigns during the Fifties and Sixties of the last century by the Fondazione Lerici, using what was at the time a revolutionary new geognostic survey system (LERICI 1957; PIRO 2016), that could identify the empty spaces of chamber tombs and make it possible to recover their contents. Within a few years, this system led to fundamental discoveries by the Foundation at Cerveteri (not only at Monte Abatone), but also in other major Etruscan centres, like Tarquinia, with extraordinary new finds of painted tombs (MORETTI 1966).

The artefacts from Monte Abatone, except for those deposited at the Civiche Raccolte Archeologiche in Milan, made known thanks to the editorial initiative of Milan University (*Milano* 1980 and 1986), remained mostly unpublished. A systematic study of them was consequently considered, despite the difficulties of the lots’ being divided among the Banditaccia necropolis, the Museum of Cerveteri and the Museum of Villa Giulia and their respective storerooms, administratively divided owing to the various reforms set in motion by the Ministry for Cultural Heritage. The laborious work of documenting and studying the artefacts – no restoration being possible for many years due to the meagre funds available – has been protracted and can certainly not be deemed complete.

The prosecution of the work has however led to the presentation of numerous scientific articles on several central problems of the necropolis, which today appear less evanescent: reflections on some of the more ancient typologies of tomb (‘archaic’ or ‘semi-constructed’), known at Monte Abatone in the early stages of the research mainly thanks to the so-called

‘Taccuini Zapicchi’, notebooks of enormous value, kept in the archives of the Soprintendenza, with notes and plans set up by the then-assistant of the Lerici excavations, Cesare Zapicchi (COEN, GILOTTA, MICOZZI 2014); furthermore, detailed studies on artefacts of the Orientalizing and Archaic period: impasto, brown, red and reddish-brown, from the more ‘archaic’ types, not lacking in links to tiberine cultures, to the more traditional and apparently predictable presence of *pithoi* and braziers with stamped decoration, all re-contextualised, however, in tomb typologies whose use is clearly not rigidly confined to the old chronological ‘phases’ established by previous scholars (COEN, GILOTTA, MICOZZI 2020). Within the same perimeter, other significant new ‘details’ are recorded, such as peculiar forms in either brown or red impasto, like the *phialai mesomphaloi*, which, apparently with not so close and ‘regular’ ties to the traditional banqueting sets, now appear to acquire, with their increase in numbers, a not negligible role, of a ritual nature if nothing else.

Much data has also been added to other aspects of the furnishings: from (rare) metal works to imported pottery, from the use and typology of *unguentaria* to the bucheri graffiti, and their connection to the remaining evidence from Caere and southern Etruria, in their functional and ideological contexts. As to the Hellenistic period, the study of black gloss ware, achrome pottery and transport amphorae have started to cast light on the Romanization period and the kind of economic development brought to Caere by the Roman presence, even in such a delicate sector as that of wine containers (COEN, GILOTTA, MICOZZI 2014, with ref., 2018a, 2018b, 2020; furthermore, ALBERS *et al.* 2016; COEN 2017a, 2017b, 2018, 2021; *Monte Abatone* 2017; GILOTTA 1997, 2013, 2015, 2020; MICOZZI 2000, 2016a, 2016b, 2018a, 2018b, 2021; BECK *et al.* 2019-2020). Our research was certainly stimulated by the excellent publication of one of the most outstanding complexes of the necropolis: Tomb 4, published in 2007 by Maria Antonietta Rizzo (RIZZO 2007), witness of the main trends of taste and of the recipients’ economic standard of the furnishings at the floruit of the necropolis, twixt Orientalizing and Archaic period (VII-VI cent. BCE), remarkable even when compared with the data of the ‘major’ Banditaccia necropolis.

With the Italo-German Summer School of 2015-2017 (*Monte Abatone* 2017), the original group consisting of the Università della Campania ‘Luigi Vanvitelli’ and Università della Tuscia, Viterbo, was joined by the University of Bonn, with M. Bentz, and by the University of Urbino, on the transfer of A. Coen to the latter. Funding from the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), from the Dipartimento di Eccellenza and from the numerous VALERE projects launched by the Vanvitelli University, together with the contribution of the University of Viterbo, made it possible, in 2017, to set

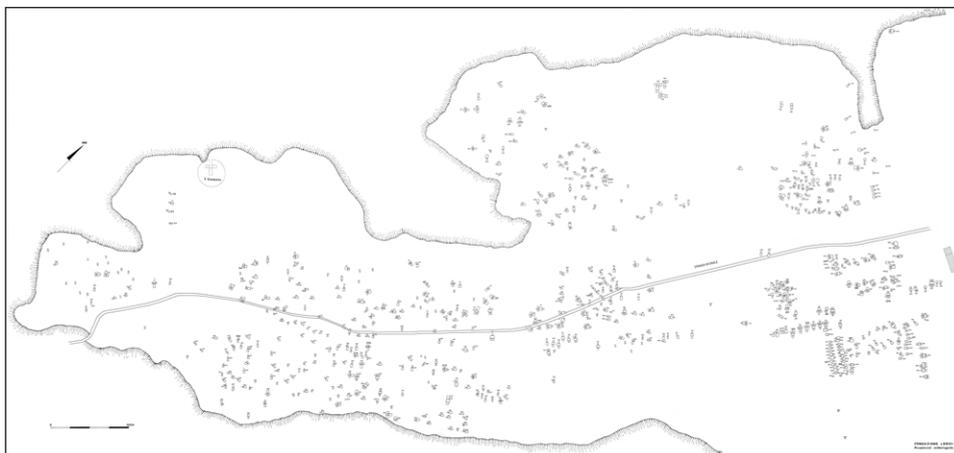


Fig. 1 – Cerveteri, Monte Abatone necropolis. Plan with tombs identified by the Lerici Foundation (courtesy Lerici Foundation, Milan).

up an excavation project, in order to investigate first and foremost the typology of the external structure of newly discovered burials, as well as of those already brought to light by the Fondazione Lerici. Such an excavation could not, of course, aim at an overall control of the Lerici excavations – to which we owe the discovery, let us remember, of as many as 641 tombs – exceeding the possibilities of any Italian, or even foreign, institution, but rather an investigation, if nothing else, of the focal point of the necropolis, the area around the Campana Tumulus, left completely blank on the plan made by the Foundation (Fig. 1), even though it has been the basis of all researches on Monte Abatone published so far. The results of this research will be briefly described below.

The new excavation campaigns (2018-2021) at the Monte Abatone necropolis have thus been launched with the initial aim of clarifying – where possible – the typology of the external structure of tombs brought to light during previous and recent excavations. Particular reference is made to the ‘management’ of the space around the Campana Tumulus, the dominant monument located at the most visible point of the necropolis, where an analysis of the density of tombs and of the various dimensional and typological modules of the tumuli and burials located close to the principal monument may be fundamental.

F.G., M.B., A.C., M.M.

Right from the start of the works, the approach to the Campana Tumulus area has been accompanied by archive research, firstly at the Rome

headquarter of the Fondazione Lerici, with an examination of relatively complete original images, going back to the time of the Lerici excavations, obtained with the famous sequences of Minox photo shots (LERICI 1960) of the inner spaces of the Monte Abatone tombs and, in some cases, also with the position of the grave furnishings, as for example in the already-mentioned Tomb 4, located moreover very close to the Tumulo Campana.

V.C.

2. UPDATING THE LERICI PLAN

Parallel to the unfolding of the excavation project, a necessary step was consequently a radical updating of the old plan of Monte Abatone (Fig. 1) produced by the Fondazione Lerici, incomplete – as stated above – and also lacking in any georeferencing. For this reason, the first attempt at ‘updating’ has involved a topographical survey, studies of cartography and aerial photography (*Monte Abatone* 2017: M. AMADEI): 1944 RAF photos (BRADFORD 1957), to the photographic mosaic of the Monte Abatone plateau using 1930 IGM stills (TARTARA 2003, 2018, both with ref.) and finally to photos taken in 1990-1991 by the Regione Lazio and satellite images available on Google.

Furthermore, starting from 2018, L. Lucchetti launched a GIS operating system for the entire Monte Abatone plateau, utilising QGIS software to store and vectorise all the data from the Lerici excavations, as well as from recent excavation campaigns and geophysical explorations carried out on the necropolis by the CNR. At the same time, a report database is being created,

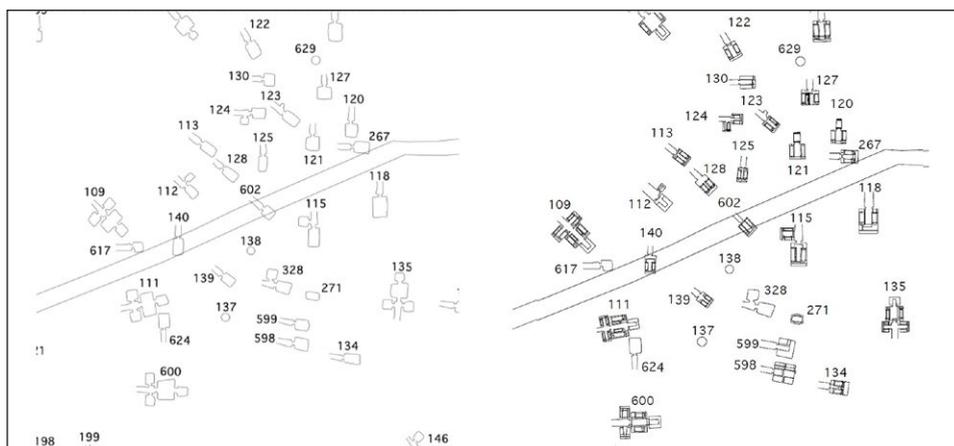


Fig. 2 – Excerpt of the original Lerici plan (left) and of the same (right) with revised layout of the tombs and their inside furnishings (elab. Martina Zinni).

using Filemaker Pro 2018, of all artefacts discovered during the earlier campaigns of the Fondazione Lerici that are still being studied; this database will then be associated on the GIS operating system with the georeferenced plans of the respective tombs of provenance, so as to 'store' all known facts about the necropolis.

L.L.

With this aim in view, AutoCAD 2021 was also utilised to complete the vectorisation of the 641 tombs of the necropolis already excavated by Lerici; this operation was contextually accompanied by a review of the plans, starting from the 'Taccuini Zapicchi' archive sketches mentioned above, of all the tombs brought to light, with a reconstruction (Fig. 2) of their original profile and verification of their internal spaces and furnishings, such as funeral beds, benches, etc.

M.Z.

As a result, at the end of the works, the GIS thus designed should make it possible to consult in sequence the funerary monuments, their revised plans, the related furnishings, and the entire documentation available on both old and recent excavations.

3. LASER SCANNING, PHOTOGRAMMETRY

For the first time, integrated digital survey activities (see, in general, GUIDI, BERARDIN, RUSSO 2010; ARGENZIANO 2015; AVELLA 2015; BIANCONI, FILIPPUCI 2019; see also, in general, GARAGNANI, GAUCCI 2020) were carried out both on the Campana Tumulus (Feb. 2021) and on the archaeological excavations around it (September 2019 and September 2021), and subsequently a graphic representation was created in a geo-referenced mesh model, as a first three-dimensional graphic elaboration of the archaeological objects in their natural setting. The survey activities were carried out following well-known scientific protocols on the integration between 3D laser scanner data (Leica BLK360) and multi-temporal GNSS topographic data (Leica GS18T); the scans were acquired with an average resolution of 40,000 points/m² and a contextual colour photographic survey was made, with a resolution of 150 Mpx; the GNSS topographic network was created by 60 group control points.

In particular, the Campana Tumulus was captured in 73 scans, and chamber tombs 73, 83, 642, 643, 644, 645, 646 in 36 scans (September 2019); the tombs from 647 to 653 took 133 scans (September 2021). The total cloud-model is about 4.3 billion points, and the Campana Tumulus one is about 1.2 billion points. During the 3D scanning, homologous targets were

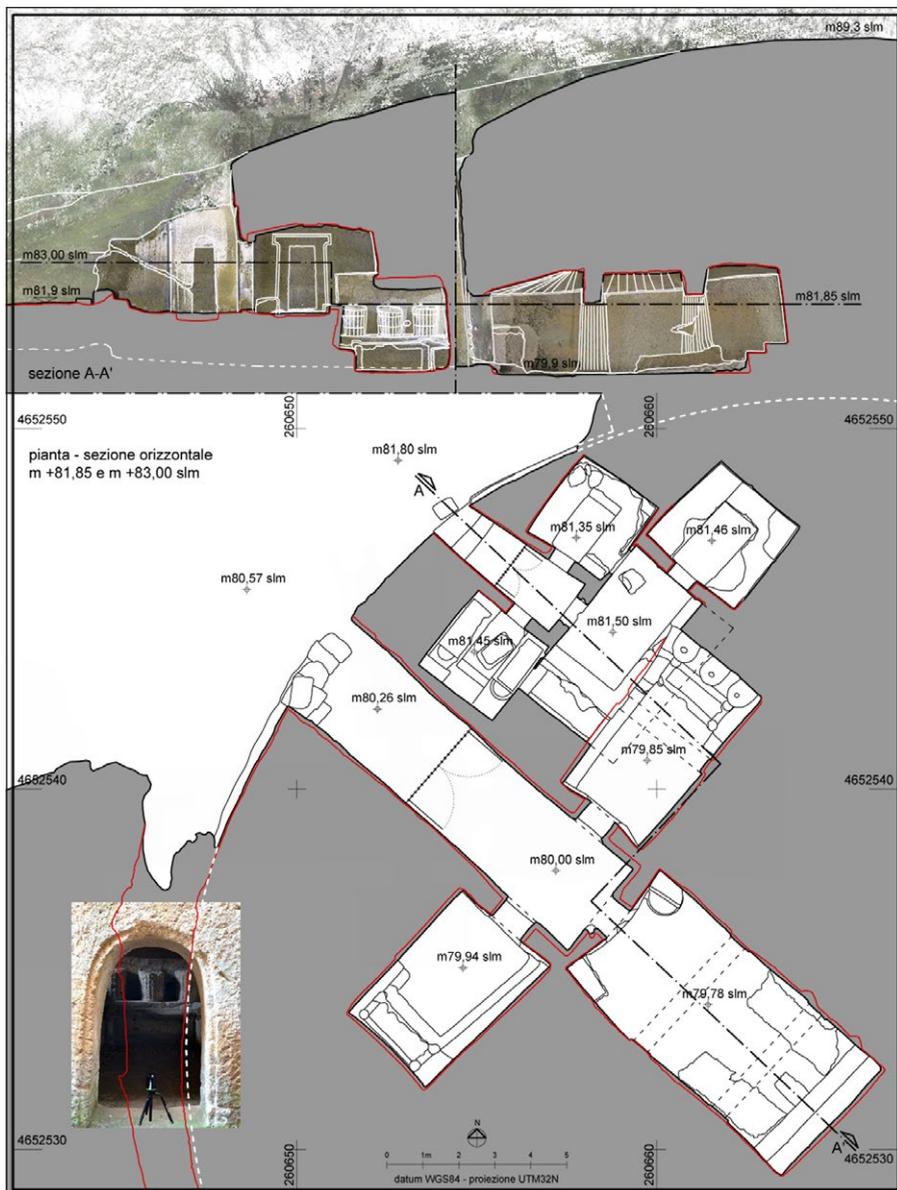


Fig. 3 – Cerveteri, Monte Abatone necropolis. Integrated digital survey of the Campana Tumulus (Febr. 2021). Plan and section are staggered, respectively, to represent the two tombs inside the tumulus. The photorealistic texture in the section is extracted by point cloud model. The red line and short-dashed line concern the edges of the chamber tombs and of the tumulus beyond the section plane (elab. Alessandra Cirafici, Alessandra Avella, Pasquale Argenziano, Teresa Patriziano).

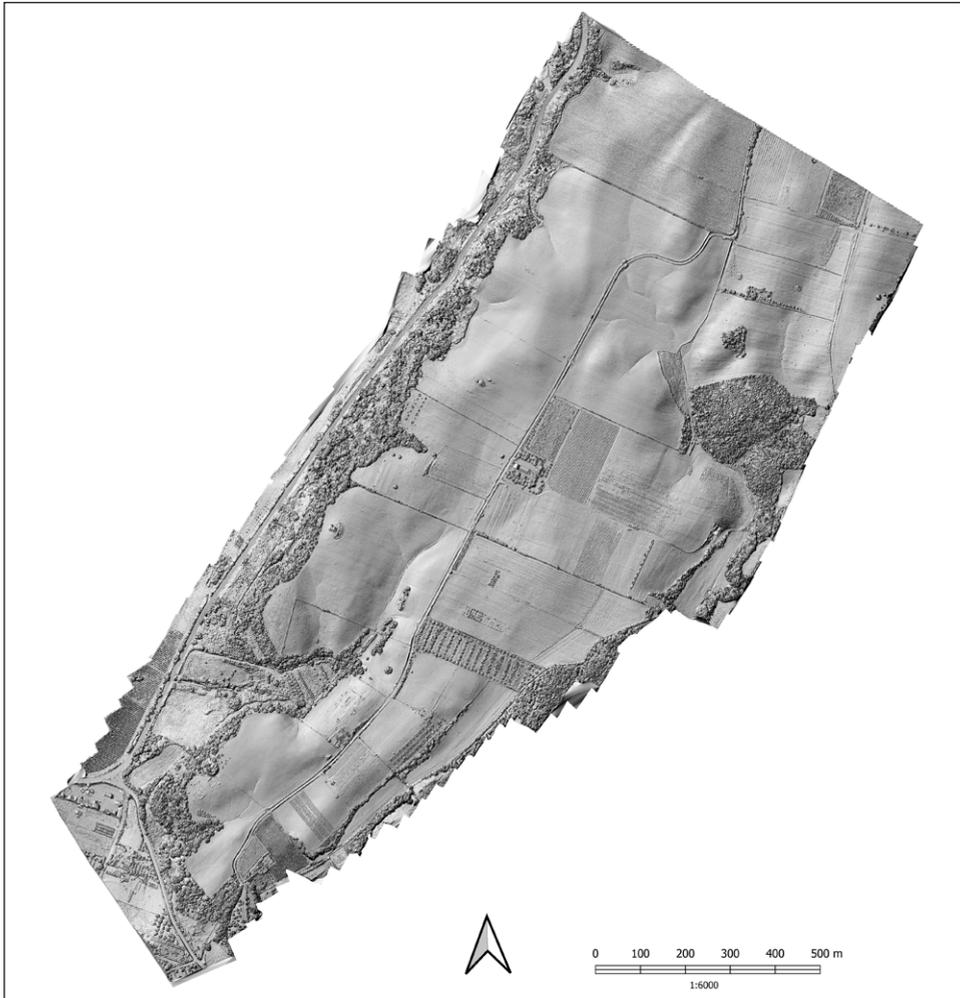


Fig. 4 – Cerveteri, Monte Abatone necropolis. Photogrammetric model of the Monte Abatone plateau (elab. Matthias Lange, Philippe Kluge).

not placed in natural/ archaeological settings, in order to register the point cloud model without artificial elements. The geo-referenced point cloud data was spatially validated by comparison with the official LIDAR Digital Terrain Model (Regione Lazio, 2018, ground resolution: m 1) and with satellite remote sensing data, such as ESA WorldView.

The 3D laser scanning of the Campana Tumulus (Fig. 3) constitutes a novelty in the documentation of the archaeological area and the critical

elaborations resulting and still expected from it are considerable. The survey campaigns carried out about a year apart also led to the acquisition of chamber tombs 73, 83, 642, 646, both *en-plein-air* and buried, with consequent volumetric restitution – point cloud and mesh – of the excavation ‘void’, a particularly interesting aspect for remote sensing and three-dimensional post-processing evaluations. The meshing modelling was carried out using semi-automatic procedures so that operators could calibrate the degree of detail of the surfaces in relation to the real morphology of the artefact and the density of the point cloud model in the same geometric surroundings.

The 3D modelling of the Campana Tumulus and its surroundings continues with the elaboration of its Information Model according to its specific archaeological characteristics, quite different from those known from existing and project architecture. A further output of the solid model is the restitution of drawings of the excavation areas, also unpublished, through which it has been possible to reconstruct the plano-altimetric relationship of the Campana Tumulus with its immediate natural and archaeological surroundings. The accurate DSM model of the terrain surrounding the Campana Tumulus, including its vegetation cover (elaborated in March 2021), on the other hand, is the fundamental geometric layer against which the next surveys of the archaeological area of Monte Abatone can be systematized, as already experimented in the acquisitions of September 2021.

A.CI., A.A., P.A., T.P.

The University of Bonn team’s contribution to the GIS of the necropolis consisted of a photogrammetric model (Fig. 4) of the entire Monte Abatone plateau (Phantom 4 drone, Agisoft Metashape Pro program; in future a multispectral survey is also foreseen), adding topographical data to both modern and historical aerial photos, as well as geophysical surveys. They also investigated the area to the West and North of the Campana Tumulus including surveys on the borders of the plateau, identifying tombs excavated in the past and in part reburied. These tombs have been included in the plan and, where possible, photogrammetric models have been produced (Fig. 5).

More in detail, the northern area immediately adjacent to the Campana Tumulus was surveyed. A large rectangular altar joined to the tomb was cleaned first, then four chamber tombs built between the VI and III centuries BCE, hence at much later times than the great tumulus. In front of three of these tombs were brought to light terraces for funeral rites, oriented towards the plateau of the ancient city and, in front of one of the chamber tombs, three fossa tombs for children. This whole area has been documented, both



Fig. 5 – Cerveteri, Monte Abatone necropolis. Photogrammetric model of tomb 660 (elab. Matthias Lange, Philippe Kluge).

by laser-scanning (Faro M70 scanner, Autodesk Recap program), and using photogrammetric methods (Nikon D750 device and Agisoft Metashape Pro), to reproduce geographical features and a 3D model of all the area.

M.B., D.B., C.B.

DIGITAL DOCUMENTATION M.L., P.K.

4. GEOPHYSICAL SURVEYS

The elaboration of the topographical data set provided an opportunity for starting a geophysical prospection, using Magnetic and Ground Penetrating Radar (GPR) methods, with the collaboration of ISPC CNR, in order to verify anomalies already identified by analysis of aerial photos. These geophysical surveys confirmed what was already known and identified new anomalies even where the Lerici plan was blank.

The geophysical surveys were carried out between 2018 and 2021, employing Fluxgate Differential Magnetic and Ground Penetrating Radar. For

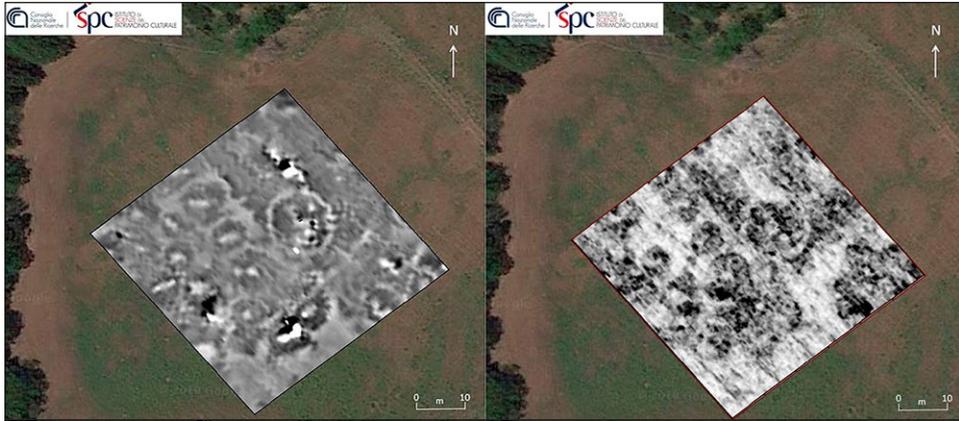


Fig. 6 – Cerveteri, Monte Abatone necropolis, 2018 survey area. Contour map of gradient of Z component of EMF (left). GPR time-slice at the estimated depth of 0.40 m (right) (elab. Salvatore Piro).

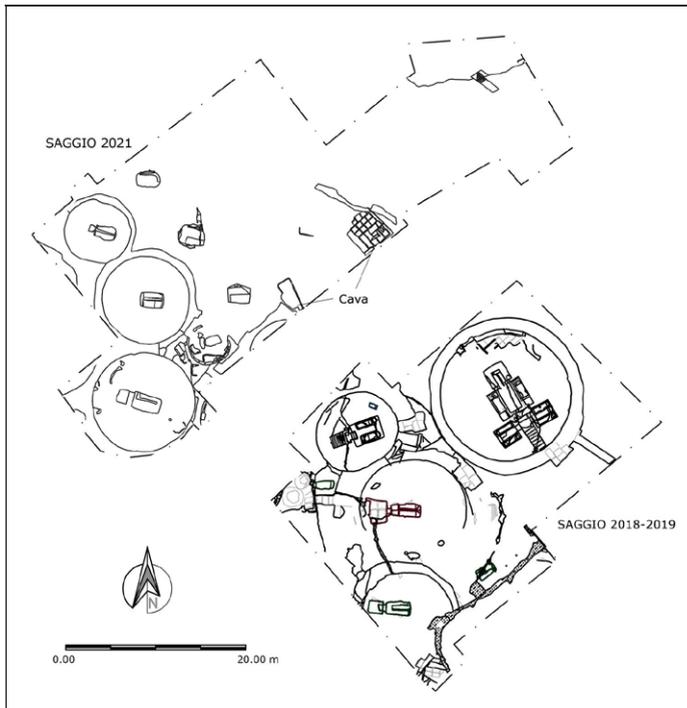


Fig. 7 – Cerveteri, Monte Abatone necropolis, campaigns 2018-2019 and 2021. General plan of the excavations SW of Campana Tumulus (new drawing version Carmelo Rizzo, 2021).

the GPR, the following instruments were adopted: SIR3000 (GSSI) equipped with a 400 MHz antenna, SIR4000 equipped with a dual frequency antenna of 300/800 MHz and a multichannel 3D Radar Continuous system with stepped frequency (GOODMAN, PIRO 2013; NOVO *et al.* 2013; PIRO *et al.* 2018).

The area of Monte Abatone necropolis, investigated using the magnetic method, was subdivided into several 30×30 m squares. For the measurements, a Fluxgate Gradiometer FM256 (Geoscan Research) was employed, collecting the data using a sampling grid of 0.5×0.5 m. After processing, the results obtained were shown as a contour map of filtered values of the gradient of the vertical component of the Earth Magnetic Field in the range -15 to +15 nT/m (Fig. 6). This figure shows the results obtained in a 60×60 m portion of the area, investigated during the survey of 2018, in which it is possible to recognise a group of graves unmarked on the Lerici plan, opened between the first half and the last decades of the VII century BCE.

During the GPR surveys, the area East of the Campana Tumulus (ca. 3 hectares) was also investigated employing 3D Radar Continuous Stepped Frequency. The sound results obtained in terms of readability using the GPR relate to different depths of soil down to about 2.5 m from ground level (PIRO, MALANDRUCCOLO 2020). The total surface represented in the GPR images (2D time-slices) exclusively refers to the paths taken by the antenna and is contained within the limits of the areas to be investigated. The project is in progress and further geophysical investigations are planned in the coming months.

S.P.

5. THE NEW EXCAVATIONS: TRADITIONAL AND TECHNOLOGICAL METHODOLOGIES

The ‘system set-up’ of these various research methodologies thus permitted in 2018-2019 – as we said above – the opening of an excavation area on the western side of the plateau, South of the Tumulus, georeferenced and recorded on digital IGM cadastral and regional cartography. The georeferenced points were then utilised as the reference basis for a manual archaeological survey, including the whole architecture of Tomb 642 (Fig. 8), the drawings of its inner walls and sculpted furnishings, with the support of the topographic station TS06plus and Leica system GPS/GNSS GS18 T LTE&UHF. The hand-drawn plans were then computerized using AutoCAD 2018. Lastly, the excavation documentation was completed by a survey using laser scanner Leica BLK360, including all the underground chambers discovered (on the graphic and photographic documentation ‘technique’, generally speaking, see MONTAGNETTI, ROSATI 2019; GIORGI *et al.* 2021).

C.R.

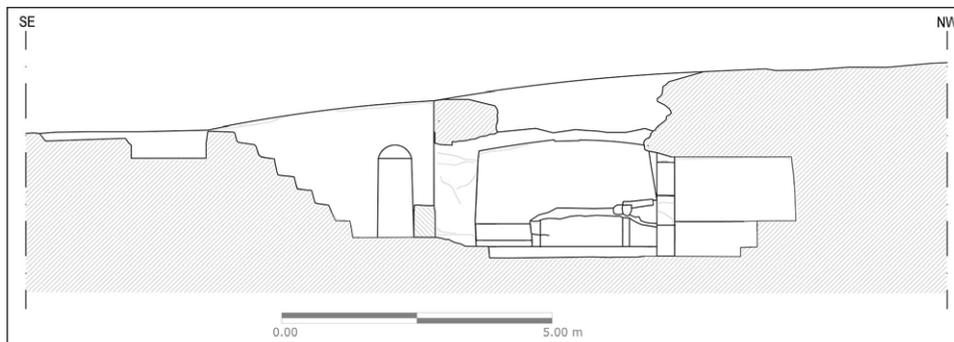


Fig. 8 – Cerveteri, Monte Abatone necropolis. Tomb 642. Section (elab. Carmelo Rizzo).

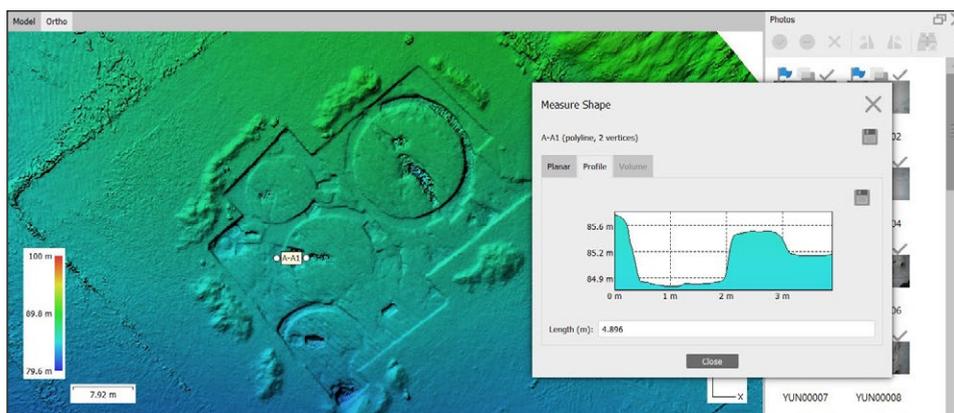


Fig. 9 – Cerveteri, Monte Abatone necropolis, excavations 2018-2019. DEM being processed with Agisoft Metashape (elab. Luca Lucchetti).

In parallel, it was decided to use the photogrammetric technique, both from the ground and from a drone, for the graphic documentation of all the excavation steps, in relation to the stratigraphic units, the tomb structures and the entire test area. The aim was to provide a metrically precise base to be inserted in a GIS environment, here too QGIS (the 3.18 version, and PyArchInit plug-in: see MANDOLESI, COCCA 2013, 2016), specific for archaeological excavation activities (Fig. 9). The same operating system was used to associate the vectorised graphic documentation and data sheets (SAS, US, USM) of the campaigns.

L.L.



Fig. 10 – Orthophoto of the excavations 2018-2019 and 2021 (Luca Lucchetti, graphic processing Carmelo Rizzo).

6. RESULTS AND PERSPECTIVES

In the area surveyed, some of the tombs already excavated by the Fondazione Lerici were brought to light again, albeit located differently from the references of the Lerici plan, thanks to the georeferencing of the excavation area and of the Campana Tumulus itself, and other new tumuli and fossa tombs were identified. It was possible to excavate and make a complete structural survey of the new ones, thus leading, in a decidedly restricted space, to a reconstruction of the profile of what appears to be a possible ‘family’ cluster, active at least between the early Orientalizing and the early/middle Archaic period (BENTZ *et al.* 2021).

The excavated tombs are of fossa, semi-constructed, single-chamber types, plus one similar to the C2 Prayon (Figs. 7, 10), all documented for the first time at Monte Abatone by thorough and scientifically reliable surveys.

They appear to be organised not very differently from what R. LININGTON (1980, 20) observes regarding the Laghetto necropolis where, among the more ancient semi-constructed tombs, during the VII century BCE small underground chamber tombs with tumulus are found, as well as fossa tombs, often destined for child burials. Only when the space between the older tombs became full, did ‘new’ Tomb 642 with its South-East entrance interrupt the continuity of orientation found in all the contiguous tombs of earlier periods.

M.B., A.C., F.G., M.M., D.B., F.B., V.C., F.GA., L.L., C.R.

During the 2021 campaign, again based on historical aerial and satellite photos and integrated geophysical surveys, a trial excavation was begun (Figs. 7, 10), running from just behind the moat of the Campana Tumulus and covering, on a largely East-West axis, a vast quadrangular area of ca. 1250 sq. m, situated immediately to the South of the great tumulus. In the most eastern part appears a large area of level tuff lacking any archaeological evidence, except for a tuff quarry for the extraction of squared blocks, investigated by the Bonn team. On the other hand, the area further to the West, separated – as one might say – from the eastern side by an ‘invisible’ straight line of demarcation, accommodated tombs of the ‘semi-constructed’ type with tumuli of various dimensions (max. diam. m 11 ca.), ordered in two roughly parallel rows and all oriented North-West, with few insignificant exceptions.

This discovery was at once deemed important. Indeed, tombs of the same typology, albeit with numerous variants in their architectural detail and internal ‘furnishings’ (dimensions, presence/absence of benches, cover pattern, when partly preserved), are found in a single area, certainly designed by some form of ‘urban’ authority, at a time – beginning with the Early Orientalizing period – that marked a considerable acceleration in the economic growth of the ‘city’ and its civil-political structure (on the regular layout of the various lots of the necropolis, quite visible moreover in all historical and recent aerial photos, see in particular TARTARA 2018, 127-130, 134-136). The aim of the next campaign is a complete survey of the whole space close to the Campana Tumulus – including of course the moat, a fundamental element joining the monument to its surroundings.

F.G., A.C., M.M., V.C., F.GA., L.L., G.M., C.R.

Lastly, the Italian project ALES (Arte Lavoro e Servizi S.p.A.) to develop and enhance the Cerveteri site aims at an overall reconstruction of the excavation area, starting from photogrammetric surveys and laser scans of the excavation area and the Campana Tumulus, which will include the 3D reconstruction of the funerary monuments investigated, together with vectorised plan and section views, drone and surface photos and 3D models

of some of the finds from inside the tombs. The final aim is to visualize the burials, using virtual reality systems to furnish ‘access’ and ‘visibility’, despite the inevitable reburial of the structures at the end of every excavation campaign (Università della Campania ‘Luigi Vanvitelli’, Università della Tuscia, Viterbo).

FERNANDO GILOTTA, VALENTINA CARAFA, GIULIA MORPURGO,
CARMELO RIZZO, ALESSANDRA CIRAFICI, ALESSANDRA AVELLA,
PASQUALE ARGENZIANO, TERESA PATRIZIANO

Dipartimento di Lettere e Beni Culturali, Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale
Università della Campania ‘Luigi Vanvitelli’

fernando.gilotta@unicampania.it, valentina.carafa@unicampania.it,
giulia.morpurgo@unicampania.it, carmelo.rizzo@unicampania.it,
alessandra.cirafici@unicampania.it, alessandra.avello@unicampania.it,
pasquale.argenziano@unicampania.it, tpatriziano@gmail.com

MARINA MICOZZI, FEDERICA GALIFFA, LUCA LUCCHETTI

Dipartimento di Scienze Umanistiche, della Comunicazione e del Turismo
Università della Tuscia, Viterbo

marinamicozzi@unitus.it, federicagaliffa30@gmail.com, luca.lucchetti90@gmail.com

MARTIN BENTZ, DENNIS BECK, FLORIAN BIRKNER, CHRISTIAN BRIESACK,
PHILIPPE KLUGE, MATTHIAS LANG

Institut für klassische Archäologie und Kulturanthropologie
Bonn Center for Digital Humanities

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn
m.bentz@uni-bonn.de, dbeck@uni-bonn.de, f.birkner@uni-bonn.de, briesack@uni-bonn.de,
philippe.kluge@uni-bonn.de, matthias.lang@uni-bonn.de

ALESSANDRA COEN

Dipartimento di Studi Umanistici
Università degli Studi ‘Carlo Bo’, Urbino
alessandra.coen@uniurb.it

MARTINA ZINNI

Dipartimento di Scienze dell’Antichità
Sapienza Università di Roma
martina.zinni@uniroma1.it

REFERENCES

- ALBERS J., BENTZ M., BRIESACK C., COEN A., GILOTTA F., KRÄMER R., MICOZZI M. 2016, *Grabkontexte aus der Monte Abatone Nekropole in Cerveteri. Eine Summer School der Universität Bonn und der Seconda Università degli Studi di Napoli*, «KUBA», 6, 75-84.
- ARGENZIANO P. 2015, *The integrated digital approach to the survey and the geometric modeling of the archaeological buildings. The case study of the amphitheatre into Pompeii’s archeological site*, in GAMBARDELLA, LISTOKIN 2015, 52-61.

- AVELLA A. 2015, *The integrated digital approach to the survey and the geometric modeling of the archaeological buildings. The case study of the "Torre di Mercurio" into Pompeii's archaeological site*, in GAMBARDILLA, LISTOKIN 2015, 62-71.
- BECK D., BENTZ M., BIRKNER F., CARAFA V., COEN A., GALIFFA F., GILOTTA F., LUCCHETTI L., MICOZZI M., RIZZO C. 2019-2020, *Die Monte Abatone-Nekropole von Cerveteri-Vorbericht zur Grabungskampagne 2019*, «KUBA», 9-10, 59-68.
- BELLELLI V., NAGY A.M. (eds.) 2018, *Superis deorum gratum et imis. Papers in Memory of János György Szilágyi*, «Mediterranea», 15.
- BENTZ M., COEN A., GILOTTA F., MICOZZI M. 2021, *I nuovi scavi nella necropoli di Monte Abatone – Cerveteri*, in V. ACCONCIA, A. PIERGROSSI, I. VAN KAMPEN (eds.), *Leggere il passato, costruire il futuro. Gli Etruschi e gli altri popoli del Mediterraneo. Scritti in onore di Gilda Bartoloni*, «Mediterranea», 18, 1, 113-121.
- BIANCONI F., FILIPPUCCI M. 2019, *La fotomodellazione per il rilievo archeologico*, «Archeologia e Calcolatori», 30, 205-228 (<https://doi.org/10.19282/ac.30.2019.13>).
- BRADFORD J. 1957, *Ancient Landscapes. Studies in Field Archaeology*, London, Bell & Sons.
- COEN A. 2017a, *Uno specchio con Lasa dalla necropoli di Monte Abatone a Cerveteri*, «Orizzonti», 18, 11-25.
- COEN A. 2017b, *Un calice biansato con decorazione a cilindretto da Cerveteri*, «Archeologia classica», 68, 409-417.
- COEN A. 2018, *La ceramica etrusco-corinzia figurata a Cerveteri: qualche novità dalla necropoli di Monte Abatone*, in BELLELLI, NAGY 2018, 293-308.
- COEN A. 2021, *Balsamari configurati dalla tomba 252 della necropoli di Monte Abatone a Cerveteri*, «Archeologia Classica», 72, 569-595.
- COEN A., GILOTTA F., MICOZZI M. 2014, *Comunità e committenza. Studi preliminari sulla necropoli di Monte Abatone*, «Annali della Fondazione per il Museo "Claudio Faina"», 21, 531-572.
- COEN A., GILOTTA F., MICOZZI M. 2018a, *Produzioni in contesto a Monte Abatone*, in NASO, BOTTO 2018, 67-100.
- COEN A., GILOTTA F., MICOZZI M. 2018b, *Profumi e rituali a Monte Abatone*, «Scienze dell'Antichità», 24, 2, 79-95.
- COEN A., GILOTTA F., MICOZZI M. 2020, *Continuità e discontinuità delle aristocrazie a Cerveteri in età orientalizzante*, «Annali della Fondazione per il Museo "Claudio Faina"», 27, 713-736.
- CRISTOFANI M. 1991, *Cerveteri. Tre itinerari archeologici*, Roma, Quasar.
- GAMBARDILLA C., LISTOKIN D. (eds.) 2015, *Development and Preservation in Large Cities: An International Perspective*, IV ed. Napoli, La Scuola di Pitagora Editrice.
- 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>).
- GILOTTA F. 1997, *Nikosthenes a Cerveteri*, in M. CRISTOFANI (ed.), *Miscellanea etrusco-italica II*, Roma, CNR, 113-128.
- GILOTTA F. 2013, *Appunti su alcune presenze greche nella necropoli ceretana di Monte Abatone*, «Bollettino d'Arte», 19-20, 3-28.
- GILOTTA F. 2015, *Una 'nuova' oinochoe di bucchero graffito nel quadro dell'Orientalizzante recente ceretano*, «Studi Etruschi», 78, 33-51 (https://www.studietruschi.org/wp-content/uploads/2021/09/SE78_04.pdf).
- GILOTTA F. 2020, *Qualche nuovo dato su Caere ellenistica* (con appendice di G. Troisi), «Prospettiva», 178, 81-93.

- GIORGI E., LUPPINO L., LAPACCIANA N., SCOZ J. 2021, *Accurata ma sostenibile: soluzioni operative per la documentazione grafica e fotografica dello scavo sul sito di Vignale*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 155-174 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.1.2021.09>).
- GOODMAN D., PIRO S. 2013, *GPR Remote Sensing in Archaeology*, Berlin, Springer.
- GUIDI G., BERARDIN J.A., RUSSO M. 2010, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, Milano, McGraw-Hill.
- 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
- LININGTON R.E. 1980, *Lo scavo nella zona Laghetto della necropoli della Banditaccia a Cerveteri*, «Notizie dal Chiostro del Monastero Maggiore», 25, 1-80.
- MANDOLESI L., COCCA E. 2013, *PyArchinit: gli sviluppi dopo ArCEOFOSS 2009*, in M. SERLORENZI (ed.), *ARCEOFOSS 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 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_4/14_Mandolesi_Cocca.pdf).
- MANDOLESI L., COCCA E. 2016, *Analisi statistiche e geo-statistiche con PyArchinit: prima sperimentazione*, «Archeologia e Calcolatori», in P. BASSO, A. CARVALE, P. GROSSI (eds.), *ARCEOFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del IX Workshop (Verona 2014)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 4, 132-140 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_4/18_Cocca-Mandolesi.pdf).
- MICOZZI M. 2000, *Situle bronzee arcaiche con attacchi configurati: una applique da Cerveteri*, in I. BERLINGÒ et al. (eds.), *Damarato. Studi di antichità classica offerti a Paola Pelagatti*, 172-180, Milano, Electa.
- MICOZZI M. 2016a, *Caere, Necropoli di Monte Abatone*, «REE, Studi Etruschi», 79, 269-271 (https://www.studietruschi.org/wp-content/uploads/2021/06/SE79_16.pdf).
- MICOZZI M. 2016b, *Continuità e trasformazione nei servizi da banchetto di età medio-orientalizzante: appunti da Cerveteri*, in G.M. DI NOCERA et al. (eds.), *ArcheoTipico. L'archeologia come strumento per la ricostruzione del paesaggio e dell'alimentazione antica (Atti Viterbo 2015)*, «Rivista di Storia dell'Agricoltura», 56, 159-178.
- MICOZZI M. 2018a, *La tomba 137 e le fasi iniziali della necropoli di Monte Abatone*, «Archeologia Classica», 69, 613-634.
- MICOZZI M. 2018b, *Una nuova anfora tardo-orientalizzante da Cerveteri*, in BELLELLI, NAGY 2018, 467-478.
- 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 Univ. Press, 395-416.
- Milano 1980, C.M. LERICI (ed.), *Gli Etruschi e Cerveteri*, Catalogo della mostra, Milano, Lerici.
- Milano 1986, B. BOSIO, A. PUGNETTI (eds.), *Gli Etruschi di Cerveteri*, Catalogo della mostra, Milano, Panini.
- MONTAGNETTI R., ROSATI P. 2019, *Georiferire la stratigrafia archeologica*, in P. GROSSI et al. (eds.), *ArCEOFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica, Atti del XII Workshop (Roma 2018)*, «Archeologia e Calcolatori», 30, 463-466 (<https://doi.org/10.19282/ac.30.2019.30>).
- Monte Abatone 2017, *Grabkontexte der Monte Abatone Nekropole in Cerveteri. Der Caere Workshop der Universitäten Bonn und Campania 'Luigi Vanvitelli'/Corredi tombali della necropoli di Monte Abatone a Cerveteri. Il workshop Caere delle Università di Bonn e della Campania 'Luigi Vanvitelli'*, Roma, Quasar.
- MORETTI M. 1966, *Nuovi monumenti della pittura etrusca*, Milano, Lerici.
- NASO A. 1996, *Architetture dipinte*, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- NASO A., BOTTO M. (eds.) 2018, *Caere orientalizzante. Nuove ricerche su città e necropoli*, Studia Caeretana, 1, Roma, Quasar.

- NOVO A., LECKEBUSCH J., GOODMAN D., MORELLI G., PIRO S., CATANZARITI G. 2013, *Advances in GPR imaging with multi-channel radar systems*, «Journal of Surveying and Mapping Engineering», 5.1, 1-6.
- PAPI R. 2010, *Il Tumulo Torlonia*, Roma, Editoriale L'Espresso.
- PIRO S. 2016, *Carlo Maurizio Lericì and the Lericì Foundation: Celata invenio*, in *Virtual Museum of Archaeological Computing* (<http://archaeologicalcomputing.cnr.it/itineraries/category/protagonists/>).
- PIRO S., MALANDRUCCO B. 2020, *High resolution GPR investigations employing single and multichannel systems in the Necropolis of Monte Abatone, Cerveteri (Roma, Italy)*, EGU General Assembly 2020, Geophysical Research Abstracts 1883 (<https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1883>).
- PIRO S., PAPALE E., ZAMUNER D., KUCULDEMIRCI M. 2018, *Multimethodological approach to investigate urban and suburban archaeological sites*, in R. PERSICO, S. PIRO, N. LINFORD (eds.), *Innovation in Near Surface Geophysics. Instrumentation, Application and Data Processing Methods*, Amsterdam, Elsevier, 461-504 (<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812429-1.00013-1>).
- RIZZO M.A. 2007, *Una kotyle del Pittore di Bellerofonte di Egina ed altre importazioni greche ed orientali dalla tomba 4 di Monte Abatone a Cerveteri*, «Bollettino d'Arte», 140, 1-56.
- 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 NASO, BOTTO 2018, 123-153.

ABSTRACT

The Authors illustrate the 'Monte Abatone Project', focusing on the important necropolis South of the ancient city of Caere. The area in its archaeological and topographical features was not further studied since the geophysical campaigns (1957-1961) by the Lericì Foundation. The main focus is the large area around the Campana Tumulus, previously left unexplored in the large plan by the Lericì Foundation. Excavations in 2018-2021 on the South side of this area led, conversely, to discover a possible 'family' cluster of tombs, dating to at least between the early Orientalizing and the early/middle Archaic period: these tombs were of fossa, semi-constructed, single-chamber and C2 types. Also, further unknown sectors of the necropolis were found not far from this cluster, with a concentration of tombs of the early semi-constructed type (first half of VII cent. BCE), provided with small tumuli, ordered in two approximatively parallel rows and all oriented North-West. This suggests the existence of a planning by some form of 'urban' authority, at a time – beginning with the Early Orientalizing period – that marked a considerable acceleration in the economic growth of the city and its civil-political structure. The area West and North of the Campana Tumulus was also investigated, including surveying the edges of the plateau that led to the identification of tombs (VI-III cent. BCE) excavated in the past and partially backfilled, and terraces for funerary rites which are oriented, like the Tumulus, toward the city plateau. Extensive use of laser scanning and photogrammetry allowed to produce a model of the Monte Abatone plateau, a 3D model of both the Campana Tumulus, never surveyed since the first half of the nineteenth century, and other excavated tombs.

QANAT, UNA TECNOLOGIA DEL PASSATO, UNA RISORSA PER IL FUTURO: RIFERIMENTI STORICI, ASPETTI SOCIO-ECONOMICI E REPERTORIO TIPOLOGICO

1. INTRODUZIONE

Il sistema idraulico sotterraneo dei *qanat* è un esempio di conoscenza dell'ambiente naturale e di sviluppo tecnologico finalizzato allo sfruttamento e alla gestione delle risorse idriche. Un patrimonio materiale e immateriale tramandato nel tempo attraverso le tradizioni e la collaborazione sociale ed economica delle popolazioni che ne hanno usufruito. La realizzazione dei sistemi di *qanat*, oltre a favorire insediamenti e agricoltura in territori aridi e semi-aridi del pianeta, ha ispirato la creazione di uno stile architettonico e paesaggistico specifico delle aree desertiche, che riguarda non solo la costruzione e manutenzione degli stessi *qanat*, ma anche delle strutture ad essi associate come serbatoi d'acqua, pozzi, mulini, sistemi di irrigazione e giardini (e.g. CHARBONNIER, HOPPER 2018).

La prima parte del lavoro illustra le caratteristiche dei *qanat* e il loro significato nel contesto culturale e socio-economico delle popolazioni che nel corso dei secoli hanno utilizzato questo sistema di estrazione delle acque sotterranee per il loro sviluppo e sostentamento. Definire in quante nazioni nel mondo il sistema dei *qanat*, di probabile origine persiana (VI-IV sec. BCE), sia rimasto attivo fino agli ultimi decenni, è operazione complessa proprio in ragione della sua vasta diffusione in molte aree del pianeta: ABDIN (2007), HOFMAN (2007) e BOUSTANI (2008) hanno valutato un numero di 34 o 35 paesi nei quali i *qanat* sarebbero in funzione ancora in epoca moderna.

Più recentemente, REMINI *et al.* (2014), analizzando criticamente oltre 50 articoli scientifici, hanno identificato 52 paesi dove i *qanat* sarebbero stati utilizzati nel corso di molti secoli, per un numero originale di circa 60.000 *qanat* esistenti al mondo, di cui solo il 50% ancora in funzione. Gli stessi Autori sostengono che a metà degli anni '10 del nuovo secolo in moltissime di quelle nazioni l'uso dei *qanat* era in realtà ormai abbandonato, rimanendo preservato esclusivamente in 11 paesi ovvero: Afghanistan, Algeria, Arabia Saudita, Cina, Giordania, Iran, Marocco, Oman, Siria, Tunisia e Yemen.

Confrontando i vari studi riguardo il censimento e lo stato di preservazione dei sistemi di *qanat*, si notano macroscopiche differenze nei numeri e nelle metodologie adottate. La realizzazione di un inventario completo e omogeneo di tutti i *qanat* esistenti al mondo risulterebbe, quindi, un'impresa ardua, se non impossibile. Compatibilmente, dunque, con i limiti propri di un censimento, questo articolo presenta i risultati di uno studio a carattere sia

regionale che locale. Viene descritto nella seconda parte del lavoro, infatti, un repertorio tipologico di circa 7000 *qanat* riconosciuti in diverse nazioni del Medio Oriente, della Penisola Arabica e del Nord Africa, ricostruito attraverso l'analisi di immagini satellitari e lo studio di fonti storico-archeologiche. Il focus e la ricerca bibliografica si sono concentrati sulla regione iraniana così come le attività sul terreno che hanno riguardato alcuni sistemi di *qanat* individuati nel deserto del Kavir, nelle aree di Yazd e Shahrud (KAZEMI *et al.* 2001; BURRI 2009).

Il “Qanat Project” nasce nel 2009 tramite un accordo di collaborazione tra l'allora CNR-IMC (Istituto di Metodologie Chimiche), ora CNR-ISB (Istituto per i Sistemi Biologici), il MAE (Ministero per gli Affari Esteri), il Centro UNESCO per i *qanat* di Yazd (Iran) e l'Università Tecnologica di Shahrud (Iran). Le attività di ricerca sono durate per circa dieci anni prima che, a partire dal 2020, a causa delle limitazioni imposte dalla pandemia da Covid-19, si verificasse un sostanziale rallentamento delle attività (ma non un'interruzione del progetto).

Il database è in continuo stato di aggiornamento, attraverso l'integrazione dei dati raccolti da A. Ferrari negli anni passati, di evidenze geografiche e topografiche desunte da immagini satellitari, dati cartografici e informazioni derivanti dallo studio delle fonti storiche. La struttura del database prevede diversi campi, che includono la localizzazione geografica, la denominazione topografica, la tipologia di *qanat*, lo stato di conservazione di quelli ancora in funzione e di quelli a rischio di abbandono, etc. Il repertorio tipologico dei *qanat*, sebbene in una condizione ancora prototipale, si configura come una banca dati aperta, implementabile e potenzialmente utile allo sviluppo di modelli predittivi per le analisi territoriali, la salvaguardia del patrimonio culturale e la gestione delle risorse idriche negli anni a venire. In quest'ultimo contesto, la presenza dei *qanat* in un territorio può essere considerata come un primo indicatore del potenziale idrico delle falde sotterranee. Un database utile, quindi, anche agli studiosi che sviluppano modelli di soft computing per la scoperta e sfruttamento delle risorse idriche presenti nel sottosuolo (NAGHIBI *et al.* 2018).

2. I QANAT, UN INGEGNOSO SISTEMA IDRAULICO ATTRAVERSO I SECOLI

L'utilizzo dei *qanat* si è tramandato nel tempo raggiungendo l'epoca moderna unitamente a un corredo di usi e tradizioni, e a diverse implicazioni di natura socio-economica. A partire da circa 2500 anni fa, la diffusione di questa tipologia di sistema idraulico su ampia scala ha permesso di affiancare ai sistemi di raccolta e adduzione delle acque, basati sullo sforzo umano o animale, poco efficienti, un nuovo metodo, più efficace e meno dispersivo, di captazione e trasferimento delle risorse idriche presenti nel sottosuolo, fino ad allora non sfruttate.



Fig. 1 – Allineamento di pozzi lungo il *qanat* esteso tra Mojen e Shahrud, Iran.

Il *qanat* consiste essenzialmente in un tunnel sotterraneo a debolissima pendenza (0.3-0.5%) che, partendo da un pozzo madre (“*madar chah*”) realizzato attraverso la perforazione di terreni detritico-alluvionali in regioni montuose o pedemontane, raccoglie per infiltrazione le acque delle falde sotterranee e ne permette, per mezzo della gravità, il trasporto verso i settori di fondovalle e pianura. Pozzi verticali disposti in serie a distanze regolari sul terreno (Fig. 1), inizialmente realizzati per la rimozione e il trasporto in superficie del materiale di scavo del tunnel, permettono di raggiungere il cunicolo per le necessarie ispezioni e garantiscono l’aerazione dell’intero sistema (CRESSEY 1958; GOBLOT 1979; PERRIER, SALKINI 1991). Considerati tra i prodotti più antichi dell’ingegneria idraulica umana, i *qanat* vennero costruiti su una scala spazio-temporale che rivaleggia con gli acquedotti romani e greci. Tuttavia, mentre questi altri tipi di strutture sono quasi ovunque ridotti a rovine, la tecnica dei canali sotterranei è ancora in uso nonostante il declino recente, iniziato a partire dalla seconda metà del secolo scorso.

La distribuzione territoriale dei *qanat* ha seguito l’alternarsi delle fortune e disgrazie degli imperi che si sono succeduti nell’area del Vicino e Medio Oriente, e poi in Africa e nell’Europa meridionale (e.g. ENGLISH 1968), simboleggiando nelle diverse epoche il grado di sviluppo tecnologico e l’organizzazione “industriale” dei governatori Persiani Achemenidi,

Romani, Seleucidi, Arabi, Spagnoli. La loro realizzazione e manutenzione erano assicurate solo presupponendo un controllo del territorio da parte di un potere politico forte e duraturo, garante di una complessa strutturazione dei rapporti sociali (LIGHTFOOT 2000; DAVARPANAH 2005). La funzionalità dei sistemi di *qanat*, infatti, è sempre dipesa dalla possibilità di preservare in buone condizioni i pozzi verticali e il cunicolo sub-orizzontale. Un compito che non poteva essere garantito, se non nelle epoche più remote, da singole famiglie o gruppi ristretti di individui ma esclusivamente da un'autorità temporale stabile, che fosse in grado di coinvolgere e organizzare un numero non trascurabile di persone nella programmazione e realizzazione delle opere di manutenzione.

Viene comunemente accettato che la prima estesa diffusione dei sistemi di *qanat*, la cui origine risalirebbe al tardo VIII sec. BCE, avvenne durante il periodo dell'impero Achemenide (550-331 BCE), che dagli altopiani centrali iraniani aveva esteso i propri confini dall'Indo al Nilo; altre ipotesi sul periodo e territorio d'origine dei *qanat* sono ancora oggetto di discussione (e.g. TIKRITI 2002; MAGEE 2005; GHORBANI 2007; CHARBONNIER 2015). Nel 2016 il patrimonio culturale dei sistemi di *qanat* persiani è stato incluso nella World Heritage List dell'UNESCO (The Persian Qanat: <https://whc.unesco.org/en/list/1506/>).

I regnanti Achemenidi favorirono la realizzazione dei *qanat* permettendo ai costruttori, in alcune regioni, non solo di trarne profitto diretto ma anche di poter mantenere la struttura in eredità alla propria progenie per diverse generazioni (POTTS 1990). È quanto accadde, secondo Polibio (206-124 BCE), quando i Persiani, per indurre gli abitanti della Media a fertilizzare le terre desertiche, le concessero in proprietà a coloro che avessero saputo condurvi acqua (*Hist.*, X, 28). Queste politiche di fatto incentivarono anche le prime opere di manutenzione necessarie al mantenimento della produttività del sistema, determinando le fortune di individui e famiglie locali.

Congiuntamente alle forme di sostegno, il perfezionamento nel tempo delle tecniche costruttive favorì la moltiplicazione dei *qanat* e di numerosi insediamenti lungo le loro tracce, in aree altrimenti inabitabili dell'impero persiano. L'esportazione di tale tecnica avvenne successivamente sia verso O, dalla Mesopotamia alle rive orientali del Mediterraneo, che verso le province persiane più orientali dell'attuale Afghanistan e della Cina occidentale (PEARSE 1973; GOBLOT 1979; PAZWASH 1983).

Nelle epoche successive, una seconda e ampia fase di espansione dei sistemi dei *qanat* verso O si ebbe con le conquiste arabe di Cipro, del Nord Africa e della Spagna. Dalla penisola Iberica, contestualmente alla colonizzazione del continente americano nel XVI e XVII secolo, il sistema dei *qanat* venne esportato anche in Messico, Perù e Cile (GOBLOT 1979; PAPOLI YAZDI 2000).



Fig. 2 – *Muqanni* con gli strumenti di lavoro nel deserto del Kavir, nella regione di Semnan, Iran.

3. TRADIZIONI CULTURALI E ASPETTI SOCIO-ECONOMICI

Oggigiorno i *qanat* sono in uso in molte aree della fascia climatica semi-arida, caratterizzata da alte temperature e basse precipitazioni¹. La maggior diffusione si registra nei paesi del Medio Oriente dove le bocche dei canali sotterranei (*mazhar*) sono spesso situate nelle piazze centrali dei villaggi, nei *suq* (mercati coperti) o nelle moschee, a riprova della centralità di queste opere nella vita sociale. Dalle aree di emergenza l'acqua viene poi distribuita nei villaggi attraverso una rete di canalizzazioni (REMINI *et al.* 2014).

I costruttori di *qanat* in Iran sono chiamati “*muqanni*” (Fig. 2), in Afghanistan “*karezkan*”. Si tratta di figure che godono di grande rispetto e considerazione sociale dal momento che svolgono un lavoro tanto prezioso alla prosperità della comunità quanto pericoloso, considerando i possibili incidenti, anche fatali. I *muqanni* più anziani sono ritenuti benedetti e si recitano preghiere quando scendono nei pozzi a lavorare (HOSSEINI 1997; AFKAMI 1998; LEBLING, STEINMETZ 2014).

In alcuni villaggi iraniani sussistono ancora tradizioni e costumi associati all'economia dei *qanat*, come ad esempio il rito nuziale del “*qanat*

¹ A testimonianza della loro vasta diffusione geografica rimangono i diversi termini con i quali i canali sotterranei vengono indicati nelle diverse regioni del mondo (ABDIN 2007). L'originale termine persiano “*karez*” o “*kariz*”, ancora oggi utilizzato in Iran, Afghanistan e anche in Cina, è stato tramandato nel mondo arabo divenendo “*qanat*” in Paesi come la Siria, la Giordania, l'Iraq e l'Arabia Saudita. In Oman e negli Emirati Arabi Uniti il vocabolo utilizzato è “*falaj*”, o “*aflaj*” al plurale. Nei paesi del Maghreb come la Libia, la Tunisia e l'Algeria il nome comune dei canali sotterranei diventa “*foggara*” mentre in Marocco si declina in “*khettara*”. In Spagna e in alcuni paesi dell'America Latina viene utilizzato il termine “*galaria*”. Altri nomi meno comuni sono “*ain*”, “*auyounes*” in Egitto, “*kanerjing*” in Cina, “*felledj*” in Turchia e Turkmenistan, “*pukios*” in Perù (REMINI *et al.* 2014).

prosciugato”. Un vero matrimonio, una strategia rituale finalizzata a risolvere il problema del depauperamento della risorsa idrica attraverso un intervento di adattamento socio-economico. La donna destinata a “sposare il *qanat*” viene designata tra le vedove bisognose della comunità. Al momento della celebrazione del rito alla sposa viene donata una somma a titolo di dote. Non potendo questa dote provenire dal nuovo consorte gli abitanti del villaggio raccolgono i fondi attraverso un’autotassazione. Poiché la somma di denaro necessaria al mantenimento della sposa è limitata, la quota eccedente viene messa a disposizione per la manutenzione e pulizia del *qanat* (YAZDI, KHANEIKI 2017).

Dal momento che i *qanat* sono essenziali alla prosperità delle popolazioni, sin dal IX secolo CE vennero promulgate molte leggi per regolarne la costruzione (CRESSEY 1958), ispirate alle tradizioni culturali e a comportamenti di buon senso praticati ancora oggi. Ad esempio, la distanza tra un *qanat* in esercizio e uno da costruire deve essere almeno di 12 yards per non compromettere la funzionalità del primo; inoltre, attorno ad ogni entrata di un *qanat* viene stabilito un perimetro ad accesso riservato onde evitare incidenti pericolosi o episodi criminali di inquinamento.

Passando a considerazioni di carattere sociale, si può affermare che il sistema dei *qanat* ha favorito nei secoli i processi di integrazione nei villaggi agricoli e nelle grandi oasi e, più in generale, l’adattamento delle comunità all’ambiente in una maniera ecologicamente sostenibile. In effetti si può parlare di una “cultura sociale” dei *qanat*, che ha regolato per millenni i modelli di comportamento, il modo di vivere e l’organizzazione di intere popolazioni (GHORBANI *et al.* 2021).

Un tema rilevante di natura socio-economica riguarda gli aspetti legati alla gestione dei *qanat*, la cui proprietà esclusiva ha rappresentato nelle diverse epoche un elemento di distinzione sociale. HUMLUM (1950), ad esempio, descrive le differenze nell’Afghanistan moderno tra proprietari terrieri ricchi e poveri in termini di numero di ore a settimana nelle quali essi potevano utilizzare l’acqua distribuita dai *qanat*, distinguendo come agricoltori agiati coloro che godevano di tale privilegio per 24-36 ore e poveri gli altri che invece ne disponevano per sole 1 o 2 ore.

Tuttavia, il bisogno costante di riparazioni lungo l’intero corso dell’opera ha portato sovente a una suddivisione e frammentazione del diritto di proprietà e degli obblighi di cura, facendo prevalere col tempo un modello alternativo di proprietà condivisa. L’origine di tale sistema di frazionamento sembrerebbe risalire a centinaia di anni fa. Un caso significativo proviene dalla città di Ardestan (Iran centrale) dove, nel XII secolo, Hulaku Khan, nipote di Gengis Khan, decise che la proprietà del sistema dei *qanat* venisse ripartita in 21 quote, ciascuna assegnata a un quartiere della città (NAJB, MOHAMMADI 2002).

Tornando all'epoca moderna, la sopravvivenza dei *qanat* è stata seriamente minacciata dalle grandi trasformazioni socio-economiche e demografiche avvenute negli ultimi decenni. Sotto la pressione della crescita e del concentramento della popolazione nelle città a discapito delle aree periferiche e rurali, avvenuto a partire dagli anni '60, si è registrato un forte aumento della richiesta di acqua per uso domestico oltreché agricolo. In quel momento, il sistema dei *qanat* ha evidenziato i suoi limiti nel tenere il passo con lo sviluppo della società e dei suoi fabbisogni, subendo per diverse ragioni un costante declino.

4. IL RECENTE DECLINO DEL SISTEMA DEI QANAT

Accanto alle considerazioni di natura socio-economica e culturale va ricordato che il mantenimento, fino all'epoca moderna, della funzionalità dei sistemi di *qanat* è stato favorito da ragioni di carattere tecnologico. Ad esempio, rispetto a un canale di superficie, la frazione di acqua che si disperde per evaporazione in un *qanat* è sensibilmente inferiore e, inoltre, il sistema non richiede fonti di energia meccanica perché la migrazione delle acque avviene per sola gravità.

Tuttavia, a partire dalla metà del XX secolo lo sviluppo della meccanizzazione in agricoltura in Iran e nel resto dell'area medio-orientale ha prodotto nuovi scenari (e.g. YAZDANPANAH *et al.* 2013), rendendo palesi alcuni inconvenienti che nel complesso hanno contribuito alla progressiva crisi del sistema. È vero che ancora oggi in Iran senza queste strutture centinaia di villaggi non avrebbero accesso alla risorsa idrica (ABDIN 2007), ma il declino dei *qanat* è evidente anche nel paese che maggiormente ne ha conservato l'uso, come testimoniato dai numeri. Secondo diversi Autori, circa 40.000-50.000 *qanat* erano censiti in Iran nel 1958, ma solo poco più di 38.000 erano ancora attivi nel 1966 (CRESSEY 1958; WULFF 1968; GOBLOT 1979; LEBLING, STEINMETZ 2014). Nel 1998-1999 il numero dei *qanat* era diminuito a 20.000-27.000 e agli inizi del nuovo millennio se ne stimavano tra i 18.000 e i 22.000 ancora in funzione (GHAYOUR 2000; POURAGHNAEI, MALEKIAN 2001; GHORBANI 2007; BOUSTANI 2008; LEBLING, STEINMETZ 2014). Altre fonti (GOLDSMITH, HILDYARD 1984; CASTELLANI 2001) riferiscono di 18.000-22.000 *qanat* censiti nel 1981, suggerendo quindi una diminuzione ancora più rapida.

Tra i principali inconvenienti alla radice del declino vanno menzionati gli elevati costi e tempi necessari alla manutenzione e pulizia dei canali, i costi altrettanto elevati per la realizzazione di nuove strutture, la difficoltà di variare la portata a secondo della variazione del fabbisogno e, infine, il verificarsi di eventi calamitosi come gli smottamenti dei terreni sedimentari in cui i *qanat* vengono costruiti (POURAGHNAEI, MALEKIAN 2001; NAJB, MOHAMMADI 2002).

I moderni pozzi di emungimento, protagonisti della rivoluzione tecnologica nell'agricoltura medio-orientale negli ultimi 50-70 anni, richiedono risorse minori per la realizzazione e garantiscono una migliore produttività, vista la capacità di sfruttare l'intero spessore della falda acquifera senza che la portata di estrazione venga eccessivamente influenzata dalle variazioni stagionali del livello freatico (NAJB, MOHAMMADI 2002). CRESSEY (1958) riporta che nell'area di Yazd, nell'Iran centrale, venne costruito nel 1956 un nuovo *qanat* di grandi dimensioni a un costo di circa 10 milioni di rials (1 rial allora corrispondeva a 0,135\$). Vicino ad esso, un pozzo di emungimento da 8 inches equipaggiato da un motore diesel veniva a costare 1,5 milioni di rials.

Ma altre considerazioni farebbero pensare che l'utilizzo dei *qanat* resti favorevole sotto il profilo economico ragionando nel medio e lungo termine. Ancora CRESSEY (1958) propone un interessante confronto. Considerando che un *qanat* di grandezza media ha una lunghezza di 4 km, un pozzo-madre con una profondità di circa 30 m e una portata alla bocca di circa 30 l/sec., realizzare tale struttura costerebbe circa 1 milione di rials, mentre la manutenzione ordinaria annua ne richiederebbe 26.000. Al confronto, un pozzo idraulico a pompa di 6 inches di diametro che realizzi la stessa portata costerebbe inizialmente solo 0,5 milioni di rials, ma la sua manutenzione e il rifornimento energetico richiederebbero circa 82.000 rials/annui; il recupero della maggiore spesa iniziale per il *qanat* si realizzerebbe quindi in circa dieci anni di esercizio.

Va poi considerata la sostenibilità ambientale. I *qanat* estraggono acqua che proviene dalla parte sommitale della falda freatica dove è corrente e fresca, mentre i pozzi nelle aree di pianura estraggono acqua quasi stagnante e/o mineralizzata. Inoltre, l'eccessivo emungimento dei privati, senza un controllo stretto dell'autorità pubblica, può causare un abbassamento significativo della falda freatica e il susseguente depauperamento della portata, sia dei pozzi che dei *qanat*, fino al loro inaridimento.

5. INDICAZIONI PER UN REPERTORIO TIPOLOGICO DEI QANAT

5.1 *Dati di telerilevamento, cartografici e bibliografici*

La prima fase di lavoro per la documentazione dei sistemi di *qanat* a una scala regionale, sub-continentale, è stata avviata procedendo a una fotointerpretazione delle immagini satellitari acquisite dal satellite Landsat (panchromatic di 15 m) e disponibili su Google Earth (Image Origin-ME, CNES, Maxar Technologies, 2019). A differenza delle tracce archeologiche di siti sepolti che necessitano l'elaborazione di immagini multispettrali o iperspettrali ad altissima risoluzione, l'estremità in superficie dei pozzi dei *qanat*, e anche la loro traccia planimetrica, possono essere osservate direttamente attraverso immagini VHR telerilevate, con una risoluzione spaziale di

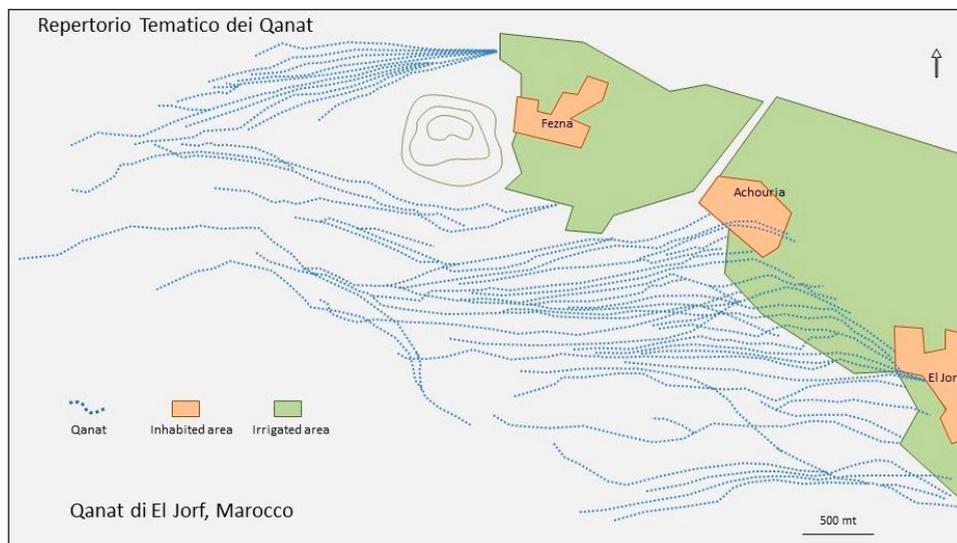


Fig. 3 – Esempio di distinzione e mappatura dei percorsi di un sistema di *qanat*.

1 m, come quelle disponibili appunto su Google Earth. L'utilizzo di Google Earth ha consentito di procedere allo studio di vaste regioni senza affrontare la costosa estrazione di tematismi multispettrali (LUO *et al.* 2014). L'analisi delle immagini telerilevate, supportata da informazioni storiografiche e archeologiche, ha permesso di identificare un considerevole numero di strutture, circa 7000 allo stato attuale delle ricerche (Tab. 1), in diverse nazioni comprese tra Nord Africa, Medio Oriente, Penisola Arabica e Cina, riuscendo a discriminare strutture lineari che procedono parallelamente anche a distanza di poche decine di metri (Fig. 3).

Sebbene le immagini Landsat non forniscano informazioni radiometriche, in alcuni casi hanno reso possibile rilevare anomalie circolari nel colore del suolo intorno ai pozzi. Evidenze riconducibili, in via interpretativa, a una condizione di abbandono del *qanat* (SOROUSH *et al.* 2020). Non è stato possibile invece, nella maggioranza delle strutture analizzate, distinguere dal telerilevamento gli interventi di ripristino o di restauro, anche laddove se ne aveva notizia.

Per quanto concerne l'analisi di maggior dettaglio del territorio iraniano di Yazd e Shahrud, all'analisi delle immagini satellitari si sono affiancate: i) un'attività di fotointerpretazione di immagini aeree fornite dall'Università Tecnologica di Shahrud; ii) la lettura della Carta Topografica NJ 40-13 in scala 1:250.000 pubblicata dall'AMECO (Army Map service Corps of Engineers, USA), Serie K502 (edizione 3), del 1961; iii) i rilievi GPS sul terreno, effettuati



Fig. 4 – Rilievi del *qanat* di Bear Jomand, Iran. Misurazione della quota e della profondità di un pozzo.

in un intervallo temporale esteso dal 2009 al 2014 tramite strumentazione GARMIN eTrex serie HC.

Inoltre, va sottolineata l'importanza delle informazioni desunte da rapporti relativi a ricognizioni archeologiche e storiche, o estraibili da contributi scientifici, nella implementazione dei record del database. Attraverso tali fonti sono stati inventariati alcuni *qanat* le cui tracce sul terreno erano oramai scomparse o non più identificabili attraverso il telerilevamento. Un esempio viene dalle zone aride confinanti con l'insediamento di Petra, in Giordania, ove dei molti *qanat* segnalati nei pressi di Udhruh e di Ma'an, è stato possibile riscontrare tramite immagini telerilevate solo labili evidenze delle strutture associate (BURRI *et al.* 2021).

5.2 L'analisi tipologica e la struttura della banca dati

La seconda fase del lavoro ha riguardato la definizione delle caratteristiche tipologiche dei *qanat* (elementi geografici, topografici, geometrici, condizioni di servizio, stato d'esercizio, etc.), corrispondenti ai contenuti del database, e la caratterizzazione delle singole strutture. Questa fase si è rivelata non priva di criticità per la presenza di alcuni casi di difficile catalogazione in quanto molto spesso, lungo uno stesso sistema di condotte sotterranee, coesistono sia tipologie diverse di *qanat* (per lunghezza, profondità dei pozzi, portata d'acqua, etc.) che scelte conservative di vario tipo (da basse porzioni murarie a protezione dell'ingresso del pozzo a semplici coperchi in cemento).

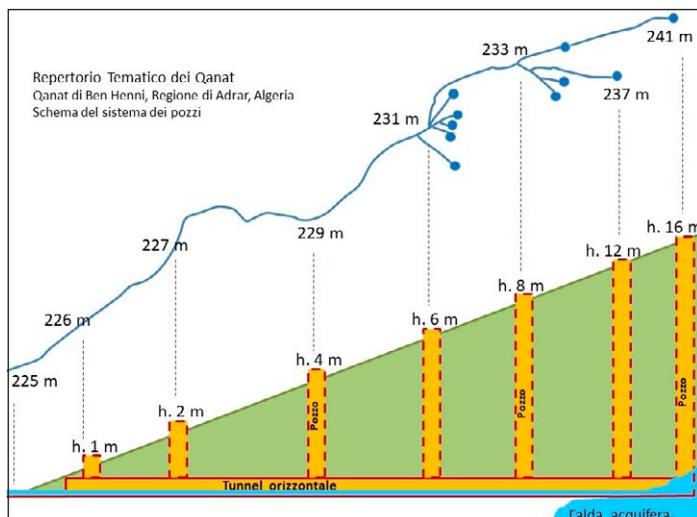


Fig. 5 – Schema planimetrico (in alto) e ricostruzione grafica in sezione del sistema di *qanat* di Ben Henni, Algeria.

Molti dei dati geografici relativi ai *qanat*, come l'altitudine, la latitudine e la longitudine, sono stati dedotti dalle immagini satellitari. Assieme ai dati topografici rilevati sul terreno (Fig. 4), queste informazioni hanno permesso di delineare, per ogni singola struttura, uno schema esemplificativo della lunghezza planimetrica del *qanat* e della profondità dei pozzi verticali (Fig. 5). Infatti, tramite le immagini di Google Earth si calcola l'altitudine del pozzo considerato (ad es. 1000 m) e a questa si sottrae l'altitudine della bocca del *qanat* (ad es. 900 m): considerando la debolissima pendenza del tunnel sotterraneo, la profondità del pozzo risulterà quindi di 100 m circa.

La banca dati progettata appositamente per questa ricerca è un database relazionale locale realizzato con Microsoft Access. Esteriormente l'interfaccia del database si presenta con l'apertura in Autorun di un menù in cui sono inseriti pulsanti di comando che permettono di accedere ad alcune funzioni della banca dati, quali l'implementazione del censimento dei *qanat*, la consultazione dei *qanat* schedati, la generazione di report e la loro esportazione in formato .pdf.

Dalla schermata principale si accede alle maschere di compilazione o consultazione dei dati (Fig. 6). Le maschere, nella versione attuale della banca dati, sono divise in due parti. La prima parte riporta le notizie relative al "sistema" di *qanat* censito (intendendo per "sistema" il *qanat* principale e tutti i suoi bracci secondari), con le relative informazioni riguardo la fonte del censimento e la localizzazione geografica del "sistema" analizzato. La

Qanat aggiorna ESCI

ID_atq_QS: 1 ID qs: AF.02.002 Compiler: Angelo Ferrari, CNR - Rome, Italy

Nation: Algeria Region/Area: Adrar Municipality: Akabli People: 10100

Latitude: 26°42'41.45"N Longitude: 1°22'14.02"E Altitude: 231 Length: 54.180,00

q_s ID qs	ID q	Length	MW Lat	MW Lon	MW Alt	MW Dep	Condition	Use
1 AF.02.002	AF.02.002a	3.824,00	26°44'15.85"N	1°21'9.71"E	236	21	Working	Social
2 AF.02.002	AF.02.002b	2.893,00	26°43'33.24"N	1°21'7.07"E	231	20	Working	Mix
3 AF.02.002	AF.02.002c	2.686,00	26°43'21.39"N	1°21'21.81"E	228	17	Working	Mix
4 AF.02.002	AF.02.002d	2.811,00	26°43'13.18"N	1°21'40.60"E	230	27	Working	Irrigation
5 AF.02.002	AF.02.002e	3.658,00	26°44'31.20"N	1°22'29.04"E	245	17	Working	Mix
6 AF.02.002	AF.02.002f	3.821,00	26°44'55.11"N	1°22'43.05"E	250	18	Working	Mix
7 AF.02.002	AF.02.002g	3.923,00	26°44'46.97"N	1°23'14.44"E	252	20	Working	Mix
8 AF.02.002	AF.02.002h	1.842,00	26°43'40.87"N	1°22'50.33"E	241	10	Working	Mix
9 AF.02.002	AF.02.002i	3.507,00	26°44'26.92"N	1°23'16.11"E	249	20	Working	Mix

Records: 14 di 16

Fig. 6 – Database dei *qanat*: maschera di inserimento dati.

seconda parte della maschera contiene i dati di tutti i singoli *qanat* appartenenti al “sistema” considerato e riporta i dati di geolocalizzazione, quelli relativi all’altitudine e alla lunghezza di ogni singolo tunnel, il suo attuale stato e l’uso a cui è adibito. Sia il “sistema” di *qanat* che il singolo *qanat* sono catalogati con un codice alfanumerico che ne fornisce l’identità e la fonte.

Per ottenere questo sistema di consultazione, i dati raccolti sono stati atomizzati in unità minime al fine di poter usufruire di eventuali ricorrenze e ampliare il ventaglio di possibili future interazioni fra i dati stessi e nuove prospettive di ricerca. L’atomizzazione delle informazioni è stata ottenuta attraverso l’uso di tabelle con chiave identificativa univoca, e non duplicabile, in modo da gestire i necessari collegamenti attraverso la creazione di apposite query di aggiornamento delle tabelle tra loro relazionate. In questa maniera si è evitato di compilare i dati seguendo uno schema simile a quello di un foglio di calcolo, per poter permettere future interrogazioni gestite direttamente dal software ed evitare errori nella compilazione di quei dati che risultano ricorrenti e parametrizzabili, come lo stato del *qanat* o il suo utilizzo.

L’implementazione dei dati è affidata a una maschera di immissione che consente all’utente di inserire un nuovo sistema di *qanat* o implementarne uno già in parte censito. La presenza di caselle combinate permette, grazie all’uso di appositi menù a tendina, di inserire i dati ricorrenti già parametrizzati o di inserire un nuovo parametro. L’incremento numerico dei dati attraverso apposita maschera dà la possibilità all’utente di inserire, attraverso un’unica schermata, i dati su tabelle differenti e quindi di mantenere il dato nuovo all’interno di una struttura frammentata e relazionale (Fig. 7). I report di

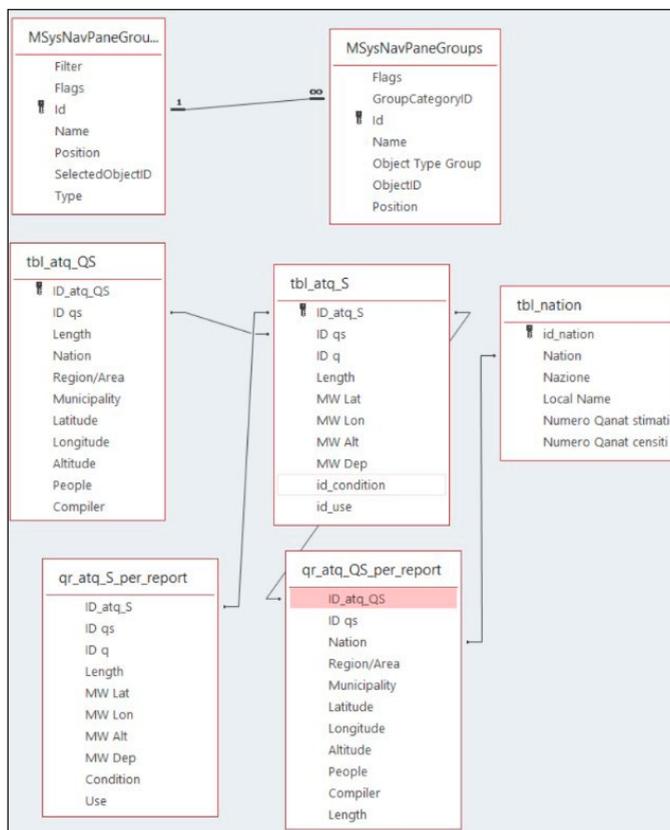


Fig. 7 – Database dei qanat: relazioni principali.

ricerca sono visualizzabili attraverso un'apposita maschera oppure esportabili in formato .pdf; attualmente sono organizzati unicamente per "sistema" di qanat con una rappresentazione grafica di tipo piramidale, che vede all'apice il "sistema" e alla base i singoli qanat che lo compongono con tutte le informazioni correlate (Fig. 8).

La banca dati è in continuo aggiornamento e ciò si riflette anche sulla sua composizione e sulle query di ricerca: questa struttura relazionale è stata volutamente progettata per poter ampliare le possibilità di interrogazione del software, evitando la compilazione di comandi attraverso macro, ma gestendo le ricerche attraverso stringhe in SQL. La prospettiva futura dell'uso di questa banca dati è quella di permettere la possibilità di ricercare informazioni sui qanat censiti non solo attraverso i sistemi a cui appartengono, ma anche partendo da diverse tipologie, come l'area geografica di appartenenza oppure

ID Qanat System	AF.02.002
Nation	Algeria
Region/Area	Adrar
Municipality	Akabli
People	10100
Latitude	26°42'41.45"N
Longitude	1°22'14.02"E
Elevation mt	231
Overall Length mt	54.180,00
Comoller	Angelo Ferrari, CNR - Rome, Italy

ID Qanat	AF.02.002a	ID Qanat	AF.02.002b	ID Qanat	AF.02.002c
Overall Length mt	3.824,00	Overall Length mt	2.893,00	Overall Length mt	2.686,00
Main Well: lat.	26°44'15.85"N	Main Well: lat.	26°43'33.24"N	Main Well: lat.	26°43'21.39"N
Main Well: lon.	1°21'9.71"E	Main Well: lon.	1°21'7.07"E	Main Well: lon.	1°21'21.81"E
Main Well: Alt. mt	236	Main Well: Alt. mt	231	Main Well: Alt. mt	228
Main Well: dep. mt	21	Main Well: dep. mt	20	Main Well: dep. mt	17
Condition (w./not w.)	Working	Condition (w./not w.)	Working	Condition (w./not w.)	Working
Use (irrig., social, mix)	Social	Use (irrig., social, mix)	Mix	Use (irrig., social, mix)	Mix

ID Qanat	AF.02.002d	ID Qanat	AF.02.002e	ID Qanat	AF.02.002f
Overall Length mt	2.811,00	Overall Length mt	3.658,00	Overall Length mt	3.821,00
Main Well: lat.	26°43'13.18"N	Main Well: lat.	26°44'31.20"N	Main Well: lat.	26°44'55.11"N
Main Well: lon.	1°21'40.60"E	Main Well: lon.	1°22'29.04"E	Main Well: lon.	1°22'43.05"E
Main Well: Alt. mt	230	Main Well: Alt. mt	245	Main Well: Alt. mt	250
Main Well: dep. mt	27	Main Well: dep. mt	17	Main Well: dep. mt	18
Condition (w./not w.)	Working	Condition (w./not w.)	Working	Condition (w./not w.)	Working
Use (irrig., social, mix)	Irrigation	Use (irrig., social, mix)	Mix	Use (irrig., social, mix)	Mix

Fig. 8 – Esempio scheda dati del repertorio tipologico dei *qanat*.

l'uso o lo stato di conservazione o le dimensioni e profondità, evitando una ricerca full text, ma usando le potenzialità offerte dalle relazioni e quindi dalla parametrizzazione dei dati.

In allegato al database del repertorio tipologico dei *qanat* è stata prevista come output del database una schedatura per ogni singolo *qanat* in grado di riassumerne le connotazioni principali (Fig. 9). Tale schedatura trae origine da quella utilizzata da decenni nella formulazione del catasto delle cavità artificiali in Italia e che ha visto numerose applicazioni (DI LABIO 2004; <https://catastoartificiali.speleo.it/cholos/cavelogin.php>). La struttura della scheda prevede i seguenti campi:

- 1) Numero di inventario; assegnato alla singola opera idraulica, è suddiviso in due parti: il numero progressivo proprio e quello dell'area, ovvero della maglia topografica di riferimento;
- 2) Nazione di appartenenza;
- 3) Regione oppure area geografica di riferimento;

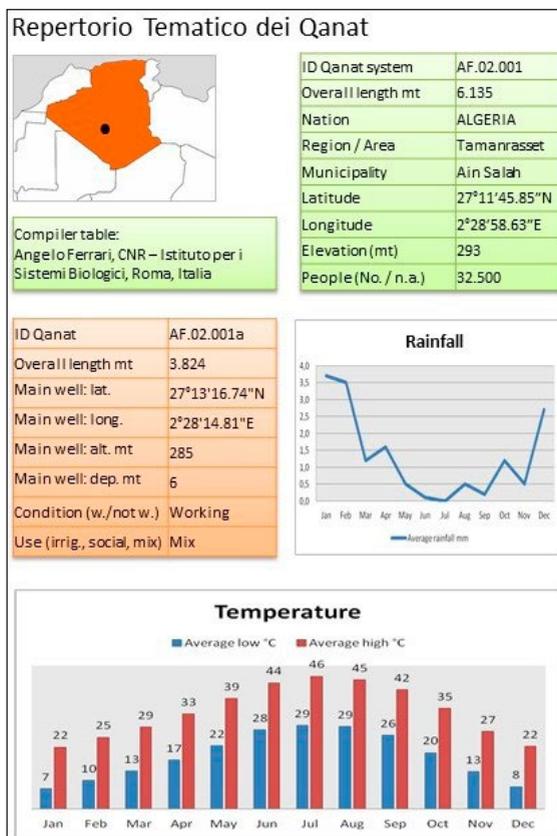


Fig. 9 – Esempio scheda dati del repertorio tipologico dei qanat.

- 4) Denominazione della struttura. Come accennato in precedenza (cfr. § 3), il termine *qanat* è diffuso solo in alcune aree e altrove è presente con la stessa tipologia morfologica ma differente denominazione. In questo caso viene utilizzata quella specifica dell'area con la traslitterazione in alfabeto latino;
- 5) Localizzazione topografica. Vengono indicate le coordinate topografiche espresse in latitudine, longitudine e altezza s.l.m. Il punto di riferimento è quello dello sbocco del canale all'aperto. Se l'ingresso è franato, ostruito e non più evidenziabile, viene utilizzato quello dell'ultimo pozzo posto più a valle;
- 6) Lunghezza. Viene considerata quella totale, ovvero comprensiva di diramazioni a partire dal pozzo principale o pozzo madre;
- 7) Presenza di bracci o derivazioni. Vengono indicati quelli che si dipartono o si congiungono al tracciato principale;

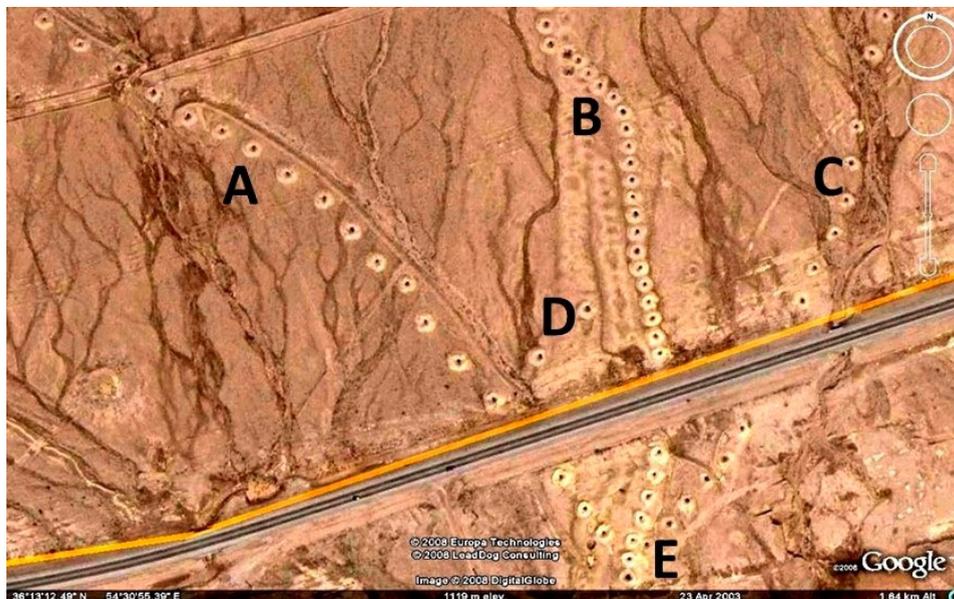


Fig. 10 – Immagine satellitare dei *qanat* di Damghan, Iran.

- 8) Numero dei pozzi. Possibilmente distinti tra quelli pervi e quelli occlusi;
- 9) Profondità del pozzo principale o pozzo madre;
- 10) Stato di conservazione: ottimo, buono, mediocre, pessimo, distrutto;
- 11) Stato funzionale: continuativo, saltuario (stagionale), abbandonato;
- 12) Utilizzo: irrigazione, usi sociali, misto;
- 13) Dati di complemento: portata, parametri chimico/fisici delle acque, presenza di gas radon, etc.;
- 14) Note aggiuntive;
- 15) Documentazione fotografica di riferimento;
- 16) Bibliografia di riferimento;
- 17) Compilatore e struttura di riferimento.

Un esempio di “sistema” di *qanat* incluso nel database è rappresentato da alcuni rami del *qanat* di Damghan (Fig. 10), nell’Iran settentrionale (SAJJADI 1982; YAZDI, KHANEIKI 2010). Il ramo A del sistema presenta i pozzi a una distanza regolare, evidenza che suggerisce una certa compattezza del suolo. Diversamente il ramo B è caratterizzato da una sequenza estremamente ravvicinata dei pozzi, indice di una relativa facilità di scavo in un terreno poco compatto e, infatti, sia a destra che a sinistra del ramo B si notano le tracce di precedenti rami in disuso in seguito a crolli. Ancora,

Nazione	N° <i>qanat</i>
Afghanistan	1172
Algeria	527
Arabia Saudita	0
Azerbaijan	14
Cina	403
Emirati Arabi Uniti	2
Egitto	17
Giordania	9
Iran	3813
Iraq	28
Israele	5
Kazakistan	16
Libia	124
Marocco	527
Oman	149
Pakistan	112
Siria	23
Tunisia	124
Turkmenistan	44
Uzbekistan	27
Yemen	1

Tab. 1 – Numero dei *qanat* riconosciuti nei diversi paesi e inclusi nell'inventario.

Nazione	Località	Pozzo madre		Lunghezza (m)	Uso	Anno di studio
		Latitudine	Longitudine			
Iran	Yazd	31°50'11.94"N	54°33'2.83"E	10.662	Sociale	2017
Iran	Mojen	36°29'0.25"N	54°52'19.21"E	9.754	Irrigazione	2009
Iran	Amirabad	35°59'57.18"N	54°6'45.25"E	5.985	Irrigazione	2009
Iran	Bearjomand	36°6'57.37"N	55°45'33.17"E	5.123	Misto	2008
Iran	Shahrud	36°27'49.25"N	54°57'44.87"E	4.181	Sociale	2018
Iran	Torud	35°26'20.70"N	55°0'45.22"E	2.914	Misto	2008

Tab. 2 – Sintesi di una query del database che raggruppa alcuni *qanat* dell'Iran centro-settentrionale, in ordine di lunghezza. Nella penultima colonna viene indicato l'utilizzo prevalente del *qanat* e nell'ultima colonna è inserito l'anno di studio del *qanat* da parte del team CNR (Italia) - Università Tecnologica di Shahrud (Iran) - Centro UNESCO di Yazd (Iran).

il ramo C presenta i crateri costituiti dal materiale di scavo di dimensioni relativamente piccole, segnalando che i pozzi sono poco profondi (considerato che questo ramo si estende lungo il percorso di un piccolo *wadi*). Il ramo D, infine, rappresenta un collettore di collegamento tra i rami A e B, con lo scopo di regolare eventuali differenze di portata delle acque sotterranee. Il punto E, situato oltre la superstrada che conduce a Teheran, indica la confluenza dei tre rami A, B e C.

6. DISCUSSIONI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nelle zone aree aride e semi-aride del pianeta, le acque sotterranee costituiscono un'importante risorsa per le attività agricole, domestiche e industriali. Tuttavia, il continuo incremento della domanda di acqua a causa della crescita della popolazione, soprattutto nelle aree del Medio Oriente, ha provocato negli ultimi decenni una fase di forte squilibrio nella gestione della risorsa idrica. I mutamenti demografici e socio-economici hanno prodotto, come prima risposta, la proliferazione dei pozzi profondi per l'emungimento delle falde sotterranee, proprio nelle aree prima interessate dalla presenza dei sistemi di *qanat*.

I processi di cambiamento climatico in atto anche in Medio Oriente rafforzano l'esigenza di sviluppare una governance adattiva alla crisi idrologiche legata all'aumento della siccità e delle improvvise inondazioni (MADANI, 2014; MAHMOUD, ALAZABA 2016). Negli ultimi anni, in diversi ambiti, sono stati promossi e attuati progetti di Flood Water System Management con l'obiettivo di sperimentare nuove soluzioni (e.g. PAHL-WOSTL *et al.* 2011) o rivalutare antichi sistemi per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sullo sviluppo della regione. A dispetto del declino attraversato negli ultimi decenni, il sistema dei *qanat* è tornato allora all'attenzione di studiosi e autorità locali (EBRAHIMI *et al.* 2021; MAHAQI 2021) configurandosi come un modello ecologicamente sostenibile, che favorisce il giusto rapporto tra le mutate esigenze antropiche e una gestione equilibrata della risorsa idrica.

In tale scenario, uno strumento informatico come il database dei *qanat* presentato in questo lavoro può offrire un contributo significativo. Infatti, i dati inseriti nell'inventario tipologico consentono di selezionare le strutture idrauliche in riferimento alla loro ubicazione territoriale, partendo dalla nazione per poi scendere nel dettaglio, attraverso la regione e la località, fino alle coordinate geografiche del singolo pozzo madre. Inoltre, i *qanat* possono essere raggruppati in relazione alla latitudine, alla lunghezza del percorso, all'altitudine del pozzo madre o alla profondità di questo. Ulteriori dati utili e deducibili dal database sono lo stato di conservazione attuale in cui si trova la struttura idraulica e la tipologia di utilizzo della risorsa idrica, cioè per scopi irrigui, domestici (sociali) oppure entrambi. Nel corso delle campagne svolte in Iran, nel territorio circostante le aree di Yazd e Shahrud, sono stati rilevati ulteriori parametri relativi alla presenza del gas radon nei pozzi, alla portata delle acque e ad altri valori chimico-fisici, oltre a quelli climatici, come la temperatura, la piovosità, l'umidità, etc.; questi ultimi non sono stati ancora inseriti nel database perché i dati disponibili erano esigui.

Infine, l'implementazione di dati climatici, rilevati nel periodo invernale nelle aree montane dei pozzi madre, consentirà di delineare un modello per

prevedere, con buona approssimazione, la portata d'acqua dei vari *qanat* nel periodo estivo. Questo aspetto particolare della funzionalità del database rientra nell'accordo siglato tra il CNR-ISB e il ICQHS (International Center on Qanats and Historic Hydraulic Structure) di Yazd in Iran nell'aprile del 2017.

In conclusione, sarebbe auspicabile per il futuro la realizzazione di una piattaforma internazionale, un Hub Center, nel quale ricercatori e studiosi dei singoli paesi possano inserire i propri dati, in modo da costituire una unica banca dati relazionale, di tipo Open Space, al servizio dei soggetti interessati, in maniera da favorire l'incremento delle conoscenze e la cooperazione nelle strategie per la salvaguardia e l'utilizzo dei sistemi di *qanat*. Un repertorio in grado di fornire le informazioni necessarie per l'attuazione di diverse misure di governance, riguardanti la rimessa in efficienza delle strutture deteriorate, il supporto alla coltivazione delle piante indigene, il sostegno economico per i periodi di siccità, il mantenimento delle strutture e, infine, la sensibilizzazione dell'opinione pubblica nei confronti di una gestione delle acque oculata e rispettosa dell'ambiente. La rivitalizzazione dei *qanat*, infatti, non dovrà essere confinata a un romantico "ritorno al passato"; al contrario, per rispondere ai moderni bisogni socio-economici diventa necessario partire da una pianificazione territoriale basata su un sistematico censimento dei *qanat*, aperto alla comunità scientifica e alle istituzioni.

SIMONA BOCCUTI*, ANGELO FERRARI, GIANNI PINGUE

Istituto per i Sistemi Biologici (ISB) - CNR

simona.boccuti@cnr.it, angelo ferrari54@gmail.com, giannipingue@gmail.com

EMILIANO DI LUZIO

Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) - CNR

emiliano.diluzio@igag.cnr.it

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato finanziato dal CNR-ISB (Istituto per i Sistemi Biologici), Università Tecnologica di Shahrud (accordo del 2009-2019), UNESCO-ICQHHS, International Center on Qanats and Historic Hydraulic Structure, Office in Yazd (accordo del 2017) e il MAE Ministero Affari Esteri (accordi 2008, 2009, 2010). Diverse Università, Istituzioni e Società hanno collaborato a vario titolo alla ricerca: i) Università dell'Aquila, Dip. di Scienze Ambientali; ii) Università di Milano Bicocca, Dip. Scienze dei Materiali; iii) Università di Firenze, Dip. Archeologia Medioevale; iv) Università del Molise, Laboratori di Scienze e tecnologie agrarie e alimentari, Sapienza Università di Roma, Dip. Scienze della Terra; v) Società Speleologica Italiana; vi) Istituto Tecnico Agrario "E. Sereni" di Roma; vii) AGAT, Associazione Geografica Ambiente e Territorio.

* Corresponding Author.

BIBLIOGRAFIA

- ABDIN S. 2007, *Qanat a unique groundwater management tool in arid regions: The case of Bam region in Iran*, in *The Global Importance of Groundwater in the 21st Century: Proceedings of the International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS) (Alicante 2006)*, Westerville, US, NGWA Press, 79-87.
- AFKHAMI A. 1998, *Disease and water supply: The case of cholera in 19th century Iran*, «Yale School of Forestry and Environmental Studies Bulletin Series», 103, 205-220.
- BOUSTANI F. 2008, *Sustainable water utilization in arid region of Iran by qanats*, «World Academy of Science Engineering and Technology», 43, 213-216.
- BURRI E. 2009, *Underground water transport systems for land management in the ancient work: From the Mediterranean regions to the near and middle east*, *Proceedings of International Conference on Water Resources (ICWR): Emphasis on Regional Development (Shahrud, Iran, 2009)*, Shahrud University of Technology, 10-23.
- BURRI E., DEL BON A., FERRARI A., RAGNI P. 2021, *Qanat dimenticati: Ma'An, Udhrub, Uweinid*, Roma, Ed. Valmar.
- CASTELLANI V. 2001, *Acqua, acquedotti e qanāt*, «Opera Ipogea», 3, 2, 25-32.
- CHARBONNIER J. 2015, *Groundwater management in Southeast Arabia from the Bronze Age to the Iron Age: A critical reassessment*, «Water History» 7, 39-71 (<https://doi.org/10.1007/s12685-014-0110-x>).
- CHARBONNIER J., HOPPER K. 2018, *The Qanat: A multidisciplinary and diachronic approach to the study of groundwater catchment systems in archaeology*, «Water History», 10, 3-11 (<https://doi.org/10.1007/s12685-018-0214-9>).
- CRESSEY G.B. 1958, *Qanats, karez and foggaras*, «Geographical Review», 48, 1, 27-44.
- DAVARPANAH G. 2005, *Comparable survey of benefits and disadvantages from ground water to the method of wells and qanats*, *Proceedings of the 2nd International Conference on Qanat (Kerman, Iran)*, Iranian academic center for education, culture and research.
- DI LABIO E. 2004, *Il catasto nazionale delle cavità artificiali*, «Opera Ipogea», 2, 3, 1-80.
- EBRAHIMI A., MEHRABAN Y., OMI DVARBORNA H., VAKILINEJAD A., RAZAK S., AL-SAYIGH A. 2021, *Kariz (Ancient Aqueduct) system: A review on geoengineering and environmental studies*, «Environmental Earth Science», 80, 236 (<https://doi.org/10.1007/s12665-021-09545-2>).
- ENGLISH P. 1968, *The origin and spread of qanats in the Old World*, «American Philosophical Society», 112, 170-181.
- GHAYOUR H. 2000, *A new review on geographical distribution of qanats in different regions of Iran*, in *Proceedings of the First International Conference on Qanat (Yazd, Iran)*, 23-34.
- GHORBANI B. 2007, *A glance at historical Qanats in Iran with an emphasis on Vazvan Qanat in Isfahan*, in *Proceedings of International History Seminar on Irrigation and Drainage, Teheran, Iran*, International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), 165-172.
- GHORBANI M., ESKANDARI-DAMANEH H., COTTON M., GHOOCHANI O.M., BORJI M. 2021, *Harnessing indigenous knowledge for climate change-resilient water management – lessons from an ethnographic case study in Iran*, «Climate and Development», 13(9), 766-779 (<https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1841601>).
- GOBLOT H. 1979, *Les Qanats. Une technique d'acquisition de L'Eau*, Paris, Mouton.
- GOLDSMITH E., HILDYARD N. 1984, *The Qanat of Iran, The Social and Environmental Effects of Large Dams*, 1, Camelford (UK), Wadebridge Ecological Centre.
- HOFMAN A. 2007, *Traditional water management by qanat in Iran is compatible with the concept of IWRM?*, Technical synthesis, Engref center of Montpellier, France.
- HOSSEINI S.A. 1997, *Storage and conservation of rainwater in the underground natural resources*, in B. AMINIPOURI (ed.), *Proceedings of the 8th International Conference on Rainwater Catchment Systems: Rainwater Catchment for Survival (Tehran 1997)*, International Rainwater Catchment Systems Association.

- HUMLUM J. 1950, *L'agriculture par irrigation en Afghanistan*, in *Comptes rendus du Congrès International de Géographie (Lisbon 1949)*, Lisbonne, Union Geographique Internationale, 318-328.
- KAZEMI G.A., FARDOOST F., KARAMI G.H. 2001, *Hydrogeology and groundwater quality of Shahrood region, Iran*, in K.P. SEILER, S. WOHLINCH (eds.), *Proceedings of 31st IAH Congress on New Approaches Characterizing Groundwater Flow*, Lisse, Swets and Zeitlinger.
- LEBLING R.W., STEINMETZ G. 2014, *The water below*, «Saudi Aramco World», 65, 32-35.
- LIGHTFOOT D.R. 2000, *The origin and diffusion of qanats in Arabia: New evidence from the Northern and Southern Peninsula*, «The Geographical Journal», 166, 215-226.
- LUO L., WANG X., GUO H., LIU C., LIU J., LI L., DU X., QIAN G. 2014, *Automated extraction of the archaeological tops of qanat shafts from VHR imagery in Google Earth*, «Remote Sensing», 6, 11956-11976 (<https://doi.org/10.3390/rs61211956>).
- MADANI K. 2014, *Water management in Iran: What is causing the looming crisis?*, «Journal of Environmental Studies and Sciences», 4, 315-328 (<https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z>).
- MAGEE P. 2005, *The chronology and environmental background of Iron Age settlement in Southeastern Iran and the question of the origin of the qanat irrigation system*, «Iranica Antiqua», 11, 217-231.
- MAHAQI A. 2021, *Traditional water management systems in Afghanistan: Lessons for the future*, «Arabian Journal of Geosciences», 14, 1465 (<https://doi.org/10.1007/s12517-021-07987-3>).
- MAHMOUD S.H., ALAZABA A.A. 2016, *Towards a sustainable capital city: An approach for flood management and artificial recharge in naturally water-scarce regions, central region of Saudi Arabia*, «Arabian Journal of Geosciences», 9, 92 (<https://doi.org/10.1007/s12517-015-2021-2>).
- NAGHIBI S.A., POURGHASEMI H.R., ABBASPOUR K. 2018, *A comparison between ten advanced and soft computing models for groundwater qanat potential assessment in Iran using R and GIS*, «Theoretical and Applied Climatology», 131, 967-984 (<https://doi.org/10.1007/s00704-016-2022-4>).
- NAJB H.R., MOHAMMADI K. 2002, *Decline of qanats in Iran: Reasons and potential solutions*, in V.P. SINGH, M. AL-RASHED, M.M. SHERIF (eds.), *Proceeding of the International Conference on Water Resources Management in Arid Regions (Dubai 2002)*, Kuwait, Balkema Press.
- PAHL-WOSTL C., JEFFREY P., ISENDAHL N., BRUGNAC M. 2011, *Maturing the New Water Management Paradigm: Progressing from Aspiration to Practice*, «Water Resources Management», 25, 837-856 (<https://doi.org/10.1007/s11269-010-9729-2>).
- PAPOLI YAZDI M.H. 2000, *Qanats and its economic value*, in *Proceedings of the First International Conference on Qanat (Yazd, Iran)*, 9-22.
- PAZWASH N. 1983, *Iran's mode of modernization: Greening the desert, deserting the greenery*, «Civil Engineering», 53, 48-51.
- PEARSE C.K. 1973, *Qanats in the Old World: Horizontal wells in the New*, «Journal of Range Management», 26, 320-321.
- PERRIER E., SALKINI A.B. 1991, *Supplemental irrigation in the Near East and North Africa, Proceedings of a Workshop on Regional Consultation on Supplemental Irrigation, ICARDA and FAO (Rabat, Morocco 1987)*, Springer, Netherlands.
- POTTS D.T. 1990, *The Arabian Gulf in antiquity, Prehistory to the fall of the Achaemenid empire*, 1, Oxford (UK), Clarendon Press.
- POURAGHNAEI M.J., MALEKIAN A. 2001, *Qanat in mountainous and plateau regions*, in *International Colloquium on Origin and History of Hydrology (Dijon 2001)*, Université de Bourgogne.

- REMINI B., KECHAD R., ACHOUR B. 2014, *The collecting of groundwater by the qanats: A millennium technique decaying*, «Larhyss Journal», 20, 259-277.
- SAJJADI S.M. 1982, *Qanat/ Kariz, storia, tecnica costruttiva ed evoluzione*, Teheran, Istituto Italiano di Cultura Sezione Archeologica.
- SOROUSH M., MEHRTASH A., KHAZRAEE E., UR J.A. 2020, *Deep learning in archaeological remote sensing: Automated qanat detection in the Kurdistan region of Iraq*, «Remote Sensing», 12, 3, 500 (<https://doi.org/10.3390/rs12030500>).
- TIKRITI W.Y.A. 2002, *The South-East Arabian Origin of the Falaj System*, *Proceedings of the 35th Seminar for Arabian Studies (Edinburgh 2001)*, Archaeopress, vol. 32, 117-138 (<http://www.jstor.org/stable/41223728>).
- YAZDANPANAH M., HAYATI D., ZAMANI G.H., KARBALAEI F., HOCHRAINER-STIGL S. 2013, *Water management from tradition to second modernity: An analysis of the water crisis in Iran*, «Environment, Development and Sustainability», 15, 1605-1621 (<https://doi.org/10.1007/s10668-013-9452-2>).
- YAZDI A.A.S., KHANEIKI M.L. 2010, *Veins of a Desert: A review on the technique of qanat, falaj, karez*, Teheran, Iran Water Resources Management Organization.
- YAZDI A.A.S., KHANEIKI M.L. 2017, *Qanat Knowledge. Construction and Maintenance*, Dordrecht, Springer-Verlag.
- WULFF H.E. 1968, *The Qanats of Iran*, «Scientific American», 218, 4, 94-105.

ABSTRACT

The lack of surface water and a high potential for evapotranspiration are the climatic and hydrological characteristics of the arid and semi-arid Middle East regions. In foothills regions the groundwater, often supplied by partially buried alluvial fan systems, has been intercepted and conveyed through the creation of a highly efficient supply system known as 'qanat', 'karez' or 'foggara'. This ancient hydraulic technology spread on a large scale since the 6th century BCE, during the rise and development of the Persian Empire. It consists in the excavation of a series of vertical tunnels, like large wells, which are connected by a gently sloping underground channel bringing water by gravity. Through the centuries, the *qanats* have been not only a sustainable system for exploitation of groundwater resources but also an important factor for the socio-economic and cultural development of local communities. In this paper the Authors illustrate the main aspects of *qanats* under historical, cultural and socio-economic perspective and the recent decline of the *qanat* system. An original and still updating database of these type of hydraulic operas, implemented through the collection and analysis of documentary sources, cartographic data, and on-site measurements is then presented. The database, including *qanats* detected on regional to local scales, might be regarded as a valuable support for the recovery of these structures and a more efficient governance of water resources.

APPLICAZIONI GIS E DI REMOTE SENSING SATELLITARE PER LA CONOSCENZA E IL MONITORAGGIO DELL'AREA URBANA DI *FALERII NOVI* E DEL TERRITORIO CIRCOSTANTE

1. INTRODUZIONE

Il presente studio espone alcuni dei risultati ottenuti applicando le metodologie di indagine legate all'analisi, all'elaborazione e all'interpretazione delle immagini satellitari ad alta risoluzione per lo studio e il monitoraggio della città romana di *Falerii Novi* e del territorio circostante. Tali indagini sono state svolte nell'ambito di un dottorato di ricerca finanziato dal progetto europeo CLIMA (Cultural Landscape risk Identification, Management and Assessment), dal carattere interdisciplinare e il cui scopo è stato quello di sviluppare un webGIS funzionale alle politiche di pianificazione per la conservazione e il monitoraggio del patrimonio archeologico danneggiato dalle attività agricole, relativamente ad alcuni casi studio, tra i quali appunto *Falerii Novi* (DE ANGELI, BATTISTIN 2020)¹.

L'area urbana e il suburbio della città di *Falerii Novi* ricadono oggi in un territorio principalmente deputato alle lavorazioni agricole, coltivato per lo più a seminativo, con limitate aree boschive che ricoprono le profonde valli scavate dai corsi d'acqua. Si tratta di un contesto paesaggistico in continua evoluzione, adatto ad un tipo di ricerca di dettaglio basata su tecniche di indagine non invasive, che da una parte garantiscono le regolari attività di conduzione del terreno e dall'altra consentono di valutare e monitorare l'impatto che queste lavorazioni hanno sui resti antichi sepolti.

Per questo motivo, traendo spunto dai fruttuosi risultati ottenuti per questo sito grazie all'esame di alcune fotografie aeree storiche (SCARDOZZI 2003, 2004) e recenti (MASTROIANNI 2016), dei dati LIDAR (OPITZ 2009) e, in particolare, grazie alle campagne di prospezioni geofisiche condotte a più riprese nel 1997-1998 (KEAY *et al.* 2000), nel 2007-2008 (HAY *et al.* 2010) e più recentemente a partire dal 2015 (VERDONCK *et al.* 2020), che hanno consentito di ricostruire una planimetria dettagliata dell'area urbana e del suburbio, si è ritenuto importante allargare il campo di indagine ad altri strumenti di remote sensing non ancora utilizzati, come le immagini satellitari ottiche ad alta risoluzione.

¹ Sul progetto CLIMA, coordinato dall'Università della Tuscia sotto la direzione del Prof. Stefano De Angeli, cfr. <http://www.clima-project.eu/>. Il dottorato è stato svolto presso il Dipartimento di Studi Linguistico-Letterari, Storico-Filosofici e Giuridici dell'Università della Tuscia. Le attività di ricerca sono state svolte presso il Laboratorio di Topografia Antica, Archeologia e Telerilevamento dell'Istituto per il Beni Archeologici e Monumentali del CNR, oggi Archaeological Mapping Lab dell'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale.

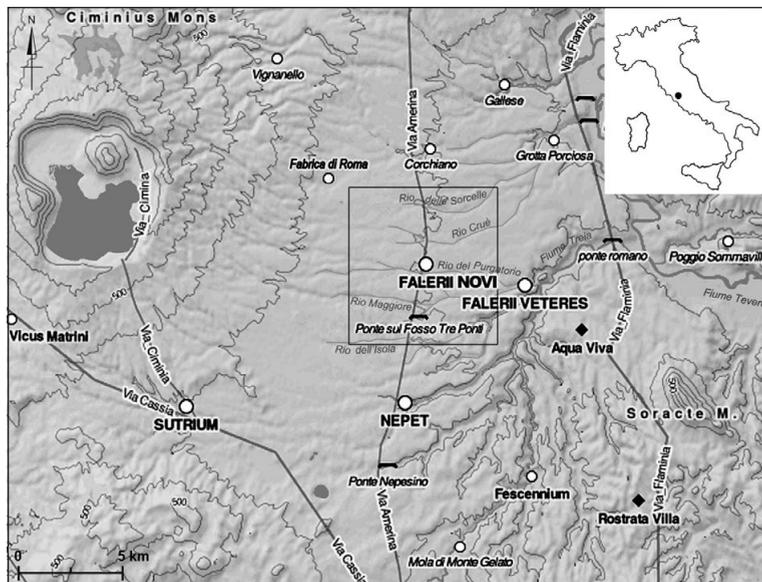


Fig. 1 – *Falerii Novi* e il territorio circostante al centro dell’agro falisco (rielaborazione della mappa tratta da <https://imperium.ahlfeldt.se/>).

Nello specifico, la ricerca si è basata sull’applicazione di tecniche di image processing su cinque immagini satellitari ad alta risoluzione, allo scopo di identificare tracce e altre anomalie archeologiche, attraverso l’enfaticizzazione delle caratteristiche spettrali, spaziali e radiometriche dei dati da remoto. La fase di fotointerpretazione è stata necessariamente supportata dallo spoglio delle fonti bibliografiche disponibili per il territorio in esame, e validata, dove possibile, da verifiche sul campo. Tali attività si sono successivamente tradotte nella produzione di una cartografia tematica, mediante la vettorializzazione e la classificazione in ambiente GIS delle tracce osservate.

Falerii Novi, situata nel territorio dell’attuale Fabrice di Roma (VT), fu fondata dai Romani nel 241/240 a.C., all’indomani della conquista dell’agro falisco, nel territorio ad O di *Falerii Veteres*-Civita Castellana (Fig. 1). Contestualmente alla fondazione della nuova città, venne costruita la via Amerina, l’asse stradale che, sfruttando in parte la viabilità preesistente, aveva lo scopo di garantire un più rapido collegamento tra Roma e l’Umbria (FREDERIKSEN, WARD-PERKINS 1957; DI STEFANO MANZELLA 1979, 1990; DE LUCIA BROLLI 1991; DE ANGELI 2017). *Falerii Novi* occupava un territorio pianeggiante, inciso dalle valli che drenavano l’acqua verso il fiume Treia a E, e quindi particolarmente vantaggioso per lo sfruttamento agricolo e la sistemazione di pascoli per l’allevamento.

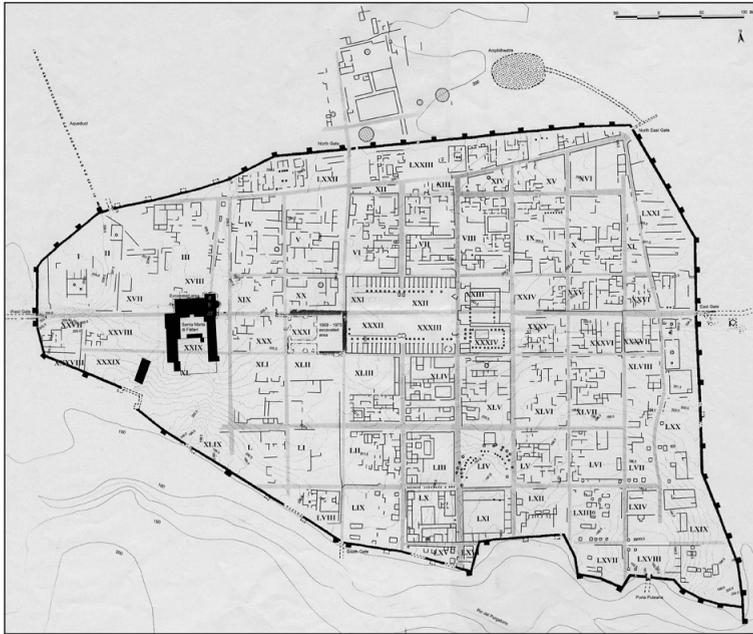


Fig. 2 – Planimetria della città di *Falerii Novi* elaborata sulla base delle prospezioni geofisiche condotte tra il 1997 e il 1998 (KEAY *et al.* 2000, fig. 7).

I resti archeologici oggi maggiormente evidenti sono costituiti dalla cinta muraria in tufo rosso che, con un'altezza conservatasi di circa 6 m, delimita un'area di circa 30 ha, lambita a S dalla valle del Rio Purgatorio. Altre strutture visibili sono quelle pertinenti al settore dell'isolato scavato nei primi anni Settanta dalla Soprintendenza Archeologica in un'area al centro della città (DE LUCIA BROLLI 1991), subito ad E della chiesa romanica di Santa Maria in Falleri; parte delle strutture del teatro e di altri limitati settori urbani, invece, furono messi in luce dai pesanti sterri ottocenteschi, per poi essere successivamente ricoperti (DI STEFANO MANZELLA 1979). Per il resto, tutto ciò che si conosce sulla struttura urbanistica della città è dato dai risultati delle prospezioni geofisiche, a partire dalla prima planimetria pubblicata nel 2000 (Fig. 2).

2. STRUMENTI E METODI

2.1 *Selezione dei dati*

Per testare le potenzialità del remote sensing sul sito di *Falerii Novi* sono state utilizzate cinque immagini satellitari ad alta risoluzione che riprendono

Satellite	ID immagine	Data di acquisizione	Ora di acquisizione	Risoluzione spaziale	Risoluzione spettrale	Angolo di off-nadir	Angolo di elevazione solare
QuickBird-2	1010010002036200	24/06/2003	09:52:35	0,62 m (PAN) 2,44 m (MS)	4 bande	7,34°	64,78°
GeoEye-1	1050410001B38400	18/07/2010	10:01:56	0,50 m (PAN) 2 m (MS)	4 bande	21,39°	63,45°
WorldView-2	1030050010F9BD00	12/07/2011	10:38:21	0,50 m (PAN) 2 m (MS)	8 bande	14°	64°
GeoEye-1	10504100027B3200	06/07/2013	17:30:45	0,50 m (PAN) 2 m (MS)	4 bande	26,02°	64°
WorldView-2	103001003A214300	10/12/2014	10:06:42	0,50 m (PAN) 2 m (MS)	8 bande	22,65°	22,92°

Tab. 1 – Tabella sintetica delle immagini satellitari utilizzate e delle relative caratteristiche.

il territorio in esame nell’arco di poco più di un decennio: si tratta, nello specifico, di un’immagine QuickBird-2 del 2003, una GeoEye-1 del 2010, una WorldView-2 del 2011, una GeoEye-1 del 2013 e una WorldView-2 del 2014 (Tab. 1).

La scelta delle immagini è stata dettata dalla necessità di esaminare il differente stato dei campi in periodi e anni diversi e di valutare la performance dei vari sensori nel registrare l’energia elettromagnetica riflessa dalla superficie del suolo. Alla base di questi criteri si è naturalmente tenuto conto di quelle peculiari proprietà delle immagini satellitari che sono imprescindibili per una lettura del territorio finalizzata propriamente all’indagine archeologica (SCARDOZZI 2016). Tali caratteristiche sono:

- la “risoluzione geometrica (o spaziale)”, che si riferisce alle dimensioni al suolo del pixel contenente il valore della radiazione elettromagnetica riflessa (pertanto, maggiore è la risoluzione geometrica, maggiore sarà anche la capacità di discriminare gli oggetti presenti sulla superficie terrestre); nel caso in oggetto, le immagini selezionate offrono una risoluzione geometrica compresa tra 50 e 60 cm;
- la “risoluzione spettrale”, data dal numero delle bande spettrali registrate dal sensore. Oltre alla singola banda dell’immagine pancromatica (in toni di grigio - PAN), il numero delle bande di una immagine multispettrale può invece variare da un minimo di 4 ad un massimo di 10, consentendo di osservare la superficie terrestre anche nelle porzioni dello spettro elettromagnetico non visibili. In questa ricerca si è preferito utilizzare una risoluzione spettrale a 4 bande (banda 1: Blu, banda 2: Verde, banda 3: Rosso, e banda 4: Vicino Infrarosso - NIR) che può ritenersi già sufficiente per l’identificazione delle tracce archeologiche, poiché sono inclusi il canale del Rosso e il canale non visibile del Vicino Infrarosso, ovvero quelli che più degli altri rispondono meglio ai fattori di mediazione delle tracce, come umidità e vegetazione;

- la “data di acquisizione”, che è importante per poter scegliere le immagini acquisite nei periodi dell’anno che offrono le migliori condizioni di visibilità del suolo agricolo e delle tracce archeologiche che si manifestano in superficie;
- l’“angolo di off-nadir”, che rappresenta la posizione e l’inclinazione del sensore rispetto alla superficie terrestre durante l’acquisizione della scena; tanto più il nadir è vicino ad una verticale, tanto meno l’immagine avrà distorsioni geometriche. Anche questo rappresenta chiaramente un aspetto determinante per la scelta delle immagini da utilizzare nell’ambito di uno studio archeologico di dettaglio e a grande scala, soprattutto se mirato alla restituzione grafica puntuale di alcuni elementi;
- l’“angolo di elevazione solare”, che rappresenta l’altezza del Sole sull’orizzonte al momento dell’acquisizione satellitare, fattore che influenza il tipo di illuminazione che caratterizza l’immagine. Ne consegue, per esempio, che un angolo di elevazione basso determinerà la presenza di luce radente, molto utile nell’identificazione di microrilievi prodotti dalla presenza di strutture sepolte.

Pertanto, un’attenta valutazione dei fattori appena descritti e una discreta conoscenza del ciclo vegetativo dei campi dell’area di indagine rappresentano presupposti fondamentali per questo tipo di ricerca, poiché indirizzano nella scelta delle immagini più adatte agli scopi richiesti.

2.2 Processing dei dati

Dopo una iniziale ispezione visuale e ancor prima di essere utilizzate in ambiente GIS nella fase di analisi e restituzione grafica delle anomalie osservate, le immagini satellitari scelte sono state sottoposte a una sequenza di elaborazioni, allo scopo di estrarre la maggior quantità di informazioni possibili utili all’indagine archeologica. Tali elaborazioni, consistenti in varie tecniche di enhancement, intervengono sulle particolari proprietà delle immagini, migliorando la leggibilità di possibili tracce archeologiche, enfatizzandone le caratteristiche e agevolando il processo di fotointerpretazione dell’intera scena. Le varie catene di processing sperimentate nel presente studio sono state applicate utilizzando il software proprietario ENVI 4.7 e si sono basate sulle metodologie di remote sensing più performanti nel campo di applicazione archeologico (CAMPANA 2004; LASAPONARA, MASINI 2012).

Per le finalità della presente ricerca si è scelto di testare tutte le categorie note in cui si suddividono le tecniche di miglioramento delle immagini. Sono state pertanto applicate le tecniche di miglioramento radiometrico e spaziale, attraverso il contrast stretching e il convolution filter, perché hanno migliorato la leggibilità della scena, agevolando la percezione anche di piccoli dettagli e di lievi differenze di tono. Per il miglioramento spettrale è stato applicato il calcolo dell’Indice di vegetazione NDVI su tutte e cinque le immagini disponibili che, enfatizzando la differente risposta spettrale della vegetazione nelle

varie bande, ha evidenziato maggiormente le tracce archeologiche legate alla presenza nel sottosuolo di strutture murarie, crolli o anche cavità, fossati, trincee, etc.

In alcune immagini multispettrali, per migliorare ulteriormente la discriminazione di pixel con valori simili di riflettanza e minimizzare il “rumore” dato dall’elevata correlazione positiva tra le diverse bande, si è scelto di applicare la Principal Component Analysis. Dal punto di vista matematico consiste in una trasformazione lineare che decorrela i dati multispettrali attraverso la traslazione e/o rotazione degli assi dello spazio originale in un nuovo sistema spaziale (DAINELLI 2011). Da questa trasformazione si ottengono, in pratica, nuove immagini decorrelate tra loro (denominate “componenti principali”), pari al numero dei canali processati, che consentono di discriminare meglio i dettagli di alcuni oggetti rappresentati, in quanto i pixel spettralmente simili delle bande originali si trovano più distanziati in quelle nuove. Queste ultime bande non rappresentano più il valore fisico originale (cioè la radianza), ma un valore artificialmente calcolato e ponderato sui nuovi assi di riferimento.

Quindi, ad esempio, l’applicazione della PCA a un’immagine multispettrale, costituita dalle quattro bande originali del Blu, del Verde, del Rosso e del Vicino Infrarosso, genera quattro nuove immagini, in ordine crescente di varianza, che assumono valori maggiori rispetto a quella delle bande originali. Da questi prodotti della trasformazione sono state utilizzate le prime due bande ottenute (la PCA1 e la PCA2). La prima (PC1) è quella che contiene la maggior parte delle informazioni, in quanto è il risultato della somma di tutte le bande, ciascuna con un peso proporzionale al grado di originalità dell’informazione in essa contenuta. La seconda (PC2) rappresenta il valore assoluto del discostamento in termini di riflettanza di ogni pixel rispetto all’asse della PC1 e quindi ha una varianza molto minore. La terza e la quarta rappresentano sostanzialmente elementi di rumore. In aggiunta alle tecniche di miglioramento qualitativo e quantitativo sono state applicate anche le consuete operazioni di data fusion, che consentono di combinare i dati satellitari aventi risoluzioni e contenuti informativi differenti, cioè l’immagine pancromatica con l’immagine multispettrale, in un’unica immagine pan-sharpened. La cosiddetta “trasformazione Gram Schmidt” è la tecnica di data fusion che si è scelto di applicare alle immagini selezionate.

2.3 Gestione dei dati nella piattaforma GIS

I dati sintetici georiferiti risultanti dal processing delle immagini sono stati inseriti come file raster (.geotiff) nel progetto GIS dedicato per essere ulteriormente esaminati in rapporto agli altri strati informativi della piattaforma, ovvero, il livello dei dati bibliografici (i punti dei rinvenimenti archeologici con annesse descrizioni), il livello della cartografia storica (raster georeferenziati manualmente) e moderna (ottenuta attraverso il caricamento di WMS-Web

Map Service), il livello degli altri dati telerilevati (foto aeree storiche georeferenziate manualmente e ortofoto recenti caricate come WMS) e infine il livello in cui sono state caricate le time-slice delle recenti prospezioni GPR che hanno interessato l'area urbana². Parallelamente alla lettura integrata delle immagini processate e alla fotointerpretazione si è proceduto quindi alla vettorializzazione di tutti quegli elementi ritenuti di natura archeologica confluiti nel livello "Tracce archeologiche". A ciascuna feature è stata associata una scheda attributi contenente le informazioni relative alla traccia digitalizzata.

Tale scheda attributi, appositamente modulata per le finalità ultime di conoscenza e monitoraggio da remoto dell'area indagata, si caratterizza da una parte descrittiva e una parte interpretativa: la prima contiene le informazioni oggettive, come dimensioni, forma e tipologia della traccia (da vegetazione, da umidità, da alterazione della composizione del terreno o da microrilievo) oltre che le informazioni di base riguardanti le immagini satellitari da cui è stato ricavato il dato oggetto della fotointerpretazione; nella seconda parte della scheda la traccia viene esaminata in relazione ai dati bibliografici e archeologici di contesto e, dove possibile, è integrata con i dati raccolti dalle verifiche sul campo.

3. RISULTATI

I risultati ottenuti dall'esame integrato dei dati archeologici noti e dei dati satellitari, opportunamente elaborati seguendo precise catene di processamento, sono di seguito presentati nel dettaglio e suddivisi per ciascuna immagine satellitare. Nei commenti relativi alla localizzazione delle anomalie e alle tracce riscontrate all'interno dell'area urbana si è fatto riferimento alle denominazioni convenzionali delle insule utilizzate nella prima planimetria redatta a seguito delle prospezioni geofisiche condotte nell'area tra il 1997 e il 1998 (Fig. 2).

3.1 Immagine satellitare *QuickBird-2 del 2003*

L'esame visuale dell'immagine pancromatica e di quella multispettrale a colori reali relative all'area interna e immediatamente esterna alla cinta muraria di *Falerii Novi* non ha messo in evidenza tracce di rilievo (Fig. 3, A). Tuttavia, la composizione in falsi colori nella sequenza delle bande 4-3-2 ha rivelato delle anomalie (Fig. 3, B), non necessariamente indicative della presenza di strutture interrato, ma interessanti per la comprensione dei processi di erosione e deposizione del suolo superficiale (e con esso degli

² I risultati delle prospezioni sono integralmente disponibili come file raster georiferiti e scaricabili gratuitamente dal portale Archaeology Data Service https://archaeologydataservice.ac.uk/archives/view/romancities_ahrc_2019/.

strati archeologici più esposti) in rapporto all'orografia dell'area urbana. Il successivo calcolo dell'indice NDVI ha enfatizzato ancora di più le differenti condizioni del suolo.

Così, nell'angolo nord-occidentale dell'area urbana, il settore di campo corrispondente alle *insulae* II, III, XVII e XVIII (Fig. 3, B, area 1) presenta

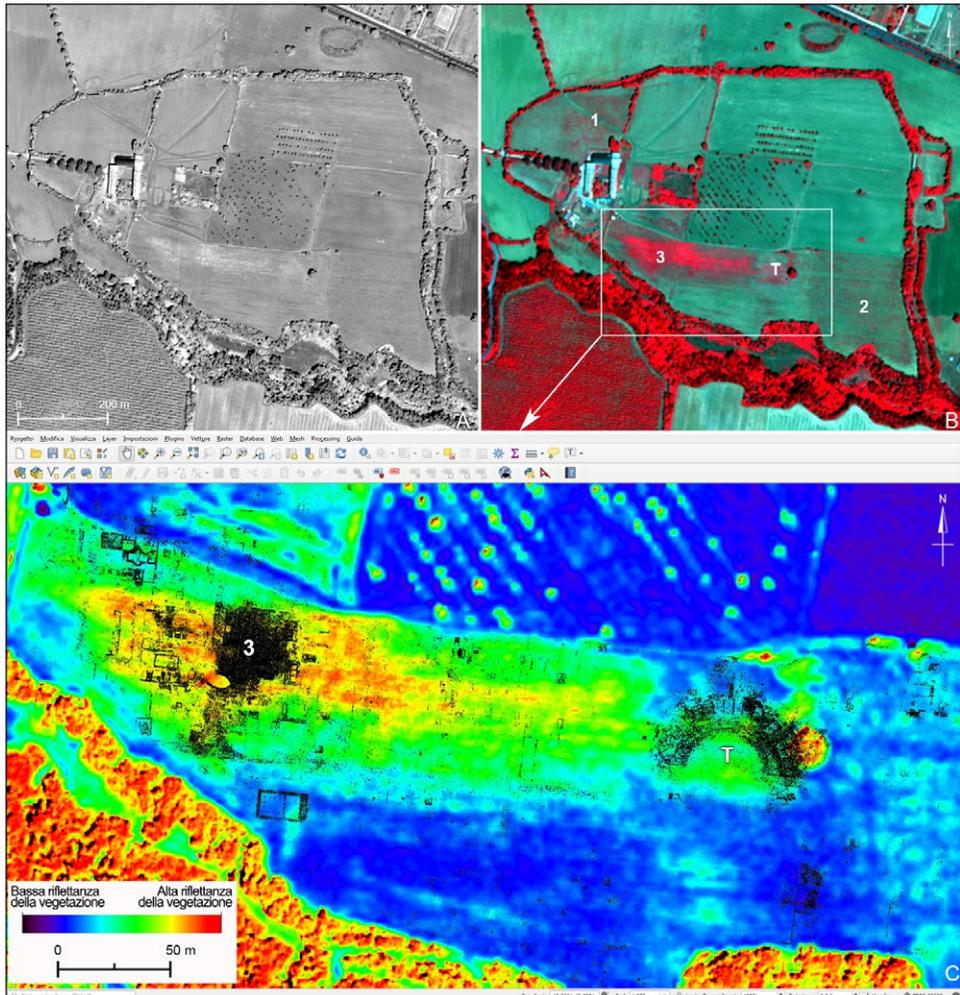


Fig. 3 – Area urbana di *Falerii Novi*. Differenze di visualizzazione tra l'immagine pancromatica (A) e l'immagine multispettrale in falsi colori (B) della QuickBird-2 del 2003. C) Schermata GIS con visualizzazione integrata del prodotto NDVI (mappa di colori “rainbow”) e delle strutture individuate dalle prospezioni GPR (anomalie in nero: da VERDONCK *et al.* 2020, fig. 4; “*Falerii Novi_field 4*” time slices da 13-14 ns a 23-24 ns - Archaeology Data Service https://archaeologydataservice.ac.uk/archives/view/romancities_ahrc_2019/).

una vegetazione superficiale leggermente più rigogliosa rispetto al settore occidentale dello stesso campo, corrispondente al punto più elevato della città (*insula* I). Questa condizione potrebbe imputarsi al fatto che i continui lavori di aratura e dissodamento del terreno hanno contribuito al fenomeno di erosione superficiale dei suoli posti a quote maggiori e al conseguente dilavamento di consistenti masse di terreno verso le aree più basse, che accolgono strati di *humus* sempre più spessi e percentuali maggiori di umidità con crescita più fitta della vegetazione. Stesse osservazioni possono essere dedotte per gli isolati posti nella parte più bassa della città, ovvero nel settore sud-orientale, anch'esso posto a quote inferiori rispetto ai terreni immediatamente circostanti (Fig. 3, B, area 2).

Una fortissima risposta spettrale soprattutto nella banda del Vicino Infrarosso, resa molto evidente tramite l'applicazione dell'indice NDVI, caratterizza invece il settore centro-meridionale della città, corrispondente alle *insulae* L, LI, LII e LIII. Grazie alla possibilità offerta dal GIS di integrare questi prodotti di processing con le cartografie storiche e con la recente planimetria elaborata a seguito delle ultime prospezioni GPR condotte sul sito (Fig. 3, C), si possono proporre alcune ipotesi sulla natura, solo apparentemente casuale, delle tracce osservate. L'eccessiva crescita rigogliosa della vegetazione (in particolare nelle *insulae* L e LI) può essere indicativa, in questo caso, del maggiore livello di erosione in cui versano gli strati archeologici di quest'area, che sappiamo essere stata oggetto di pesanti sterri tra il 1822 e il 1823 (DI STEFANO MANZELLA 1979) e che infatti nei risultati delle prospezioni geofisiche, accanto alle strutture meglio interpretabili (ad es. quelle pertinenti al complesso termale), restituisce anche dati con una forte componente di "rumore" imputabile forse ai crolli e alle macerie delle strutture antiche più superficiali (Fig. 3, C, n. 3) (VERDONCK *et al.* 2020, fig. 4, n. 5). Anche l'isolato occupato dalle strutture sepolte del teatro (LIV), oggi corrispondente a una depressione morfologica apprezzabile solo sul terreno, appare interessato da una crescita differenziata della vegetazione, che infatti si presenta più fitta solo in corrispondenza dell'interro che copre l'area dell'orchestra e i livelli inferiori della *cavea* (Fig. 3, C, "T").

3.2 Immagine satellitare GeoEye-1 del 2010

L'immagine in oggetto (così come le successive WorldView-2 del 2011 e GeoEye-1 del 2013 acquisite anch'esse nel mese di luglio) offre la possibilità di esaminare significative tracce da vegetazione, di natura archeologica, che si concentrano sul pianoro di Casa De Feno, posta nell'immediata area suburbana meridionale di *Falerii Novi* e subito a E della via Amerina; si tratta delle stesse tracce già individuate nell'ambito di un recente studio di fotointerpretazione delle riprese aeree e satellitari visualizzabili gratuitamente nel Portale Cartografico della Regione Lazio, nel portale e-Geos e in Google Earth

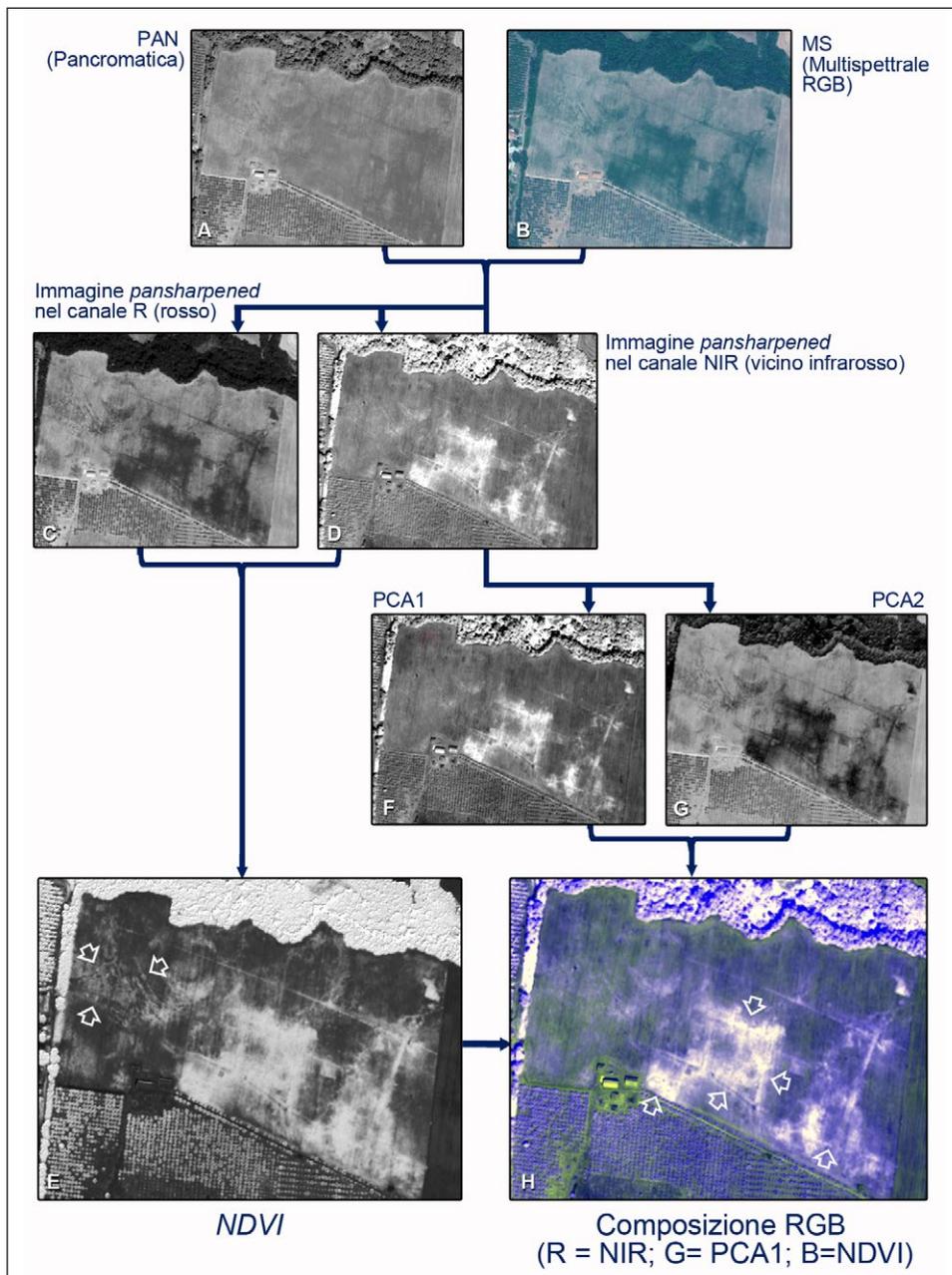


Fig. 4 – Schema delle varie fasi di processing applicate ai dati satellitari con dettagli del suburbio meridionale di *Falerii Novi* dell'immagine GeoEye-1 del 2010.

(MASTROIANNI 2016). In questo studio viene posta attenzione sulle tracce di due assi viari, molto vicini, che attraversano il pianoro in senso E-O, relativi a tratti della via di epoca falisca, riutilizzata in epoca medievale, che collegava la città di Sutri con *Falerii Veteres* (poi Civita Castellana); nella stessa area sono state osservate ulteriori tracce da vegetazione, di cui notevoli sono quelle interpretate come pertinenti a due ville rustiche prospicienti l'asse stradale antico, una più grande a N e una più piccola a S.

Nell'immagine satellitare selezionata, la copertura non omogenea della vegetazione in un campo destinato a pascolo e già interessato dalla falciatura del fieno è da imputarsi evidentemente alla crescita di graminacee spontanee a seguito di copiose piogge che hanno reso il suolo abbastanza umido da favorire anche a luglio lo sviluppo rigoglioso e differenziato di nuova vegetazione. Da una prima analisi visiva di ciascuna banda emerge che tali anomalie sono poco o per niente visibili nel canale del pancromatico (Fig. 4, A), meglio identificabili nel canale del Rosso (Fig. 4, C), ma maggiormente discriminabili nel canale del Vicino Infrarosso, attraverso cui la separabilità spettrale fra le tracce e il loro immediato intorno è più accentuata (Fig. 4, D). È stato quindi calcolato l'indice NDVI, che però non ha restituito risultati soddisfacenti: la parte centrale del campo, dove si concentrano le tracce, risente ancora molto della forte riflettanza della vegetazione nel canale del Vicino Infrarosso, che in alcuni punti diventa tanto eccessiva da rendere alcune aree sature e poco discriminabili.

Con questo risultato, tuttavia, una migliore leggibilità delle anomalie sembra interessare solo il settore più occidentale del campo, a ridosso della via Amerina, dove sembrano identificarsi tracce relative a sentieri che si diramano dal tracciato viario principale che attraversa il pianoro in senso E-O (Fig. 4, E) e interpretato come la strada che collegava Sutri con *Falerii Veteres*. Rispetto al NDVI, la scelta della Principal Component Analysis, applicata per minimizzare la ridondanza di informazione in alcune aree, è parsa più performante e, come previsto, tra le quattro nuove bande ottenute da questa trasformazione le migliori sono risultate la PCA1 e soprattutto la PCA2 (Fig. 4, F-G). A questo punto, sono stati effettuati alcuni tentativi di combinazione dei prodotti ottenuti dalle singole tecniche di enhancement in una composizione in falsi colori; questa operazione non ha migliorato di molto l'analisi delle anomalie, ma ha restituito complessivamente una percezione più immediata degli elementi presenti in traccia all'interno dell'area di interesse (Fig. 4, H).

La lettura delle immagini risultanti dalle elaborazioni, la conoscenza del contesto archeologico noto e delle caratteristiche geomorfologiche del pianoro esaminato hanno permesso di riconoscere in traccia la forma di più ambienti, che sembrerebbero appartenere ai due edifici prima citati. Tuttavia la visibilità e la distribuzione delle tracce in due nuclei distinti ma contigui potrebbero essere state condizionate dal differente grado di erosione superficiale dell'intero campo, che proprio in corrispondenza di

quelle due aree presenta le quote maggiori, e non si esclude per questo che esse possano verosimilmente appartenere ad un'unica villa rustica, delle dimensioni indicative di 230×118 m, e che la strada visibile in traccia si riferisca a un tracciato solo successivo alla fase di occupazione della villa. La presenza di una fattoria o una villa rustica suburbana è già nota nelle fonti bibliografiche: sino alla fine dell'Ottocento i resti *in situ* di un «rudero di fondamento quadrato a bozze di tufo» erano infatti ancora visibili esattamente in questo punto (GAMURRINI *et al.* 1972, fig. 274, n. 96), mentre, più di mezzo secolo dopo, Ward-Perkins identificò il sito con una fattoria romana sulla base esclusivamente della dispersione del materiale ceramico osservato a ridosso del casale moderno (FREDERIKSEN, WARD-PERKINS 1957, fig. 10). Tra il 1968 e il 1975, numerose sono le segnalazioni fatte alla Soprintendenza Archeologica dell'Etruria Meridionale a seguito di scavi clandestini nell'area, che hanno portato alla luce sarcofagi e resti di strutture di cui non esiste però alcuna documentazione grafica (BRUNETTI NARDI 1972, 1981); inoltre, materiale ceramico antico sparso sul pianoro è stato osservato anche negli ultimi sopralluoghi della Soprintendenza (DE LUCIA BROLLI, BIELLA, SUARIA 2012).

3.3 Immagine satellitare WorldView-2 del 2011

Anche questa immagine satellitare è stata acquisita in pieno periodo estivo e successivamente a giorni piovosi, motivo per cui le buone condizioni di visibilità hanno permesso di individuare alcune tracce archeologiche che erano state già identificate per mezzo delle elaborazioni dell'immagine GeoEye-1 del 2010. È stato seguito perciò lo stesso flowchart di elaborazione dei dati (fusione dei dati PAN e multispettrali, calcolo dell'indice NDVI e combinazione dei vari prodotti di data fusion) che ha consentito di ricavare informazioni spaziali più accurate sulla forma e sull'estensione delle anomalie.

Relativamente alle tracce individuate nel suburbio meridionale, il data fusion dell'elaborazione NDVI (Fig. 5, C) con la banda PAN (Fig. 5, A) e la banda del NIR (Fig. 5, B) ha prodotto una immagine in falsi colori in cui sono ancora più enfatizzate le anomalie e meglio definita la forma degli ambienti caratterizzanti l'edificio (Fig. 5, D). Dall'integrazione del dato satellitare con le informazioni cartografiche della piattaforma GIS si nota che il nucleo più cospicuo di tracce coincide con il settore del campo posto a quota maggiore. Evidentemente le arature hanno già intaccato in maniera consistente gli strati archeologici superficiali, distruggendo, frantumando e disperdendo i resti delle strutture murarie su tutto il pianoro.

A N della città, invece, nell'area di Casale Quartaccio, proprio nello stesso campo in cui alla fine degli anni '50 Ward-Perkins documenta i resti quasi totalmente distrutti della via Amerina (FREDERIKSEN, WARD-PERKINS

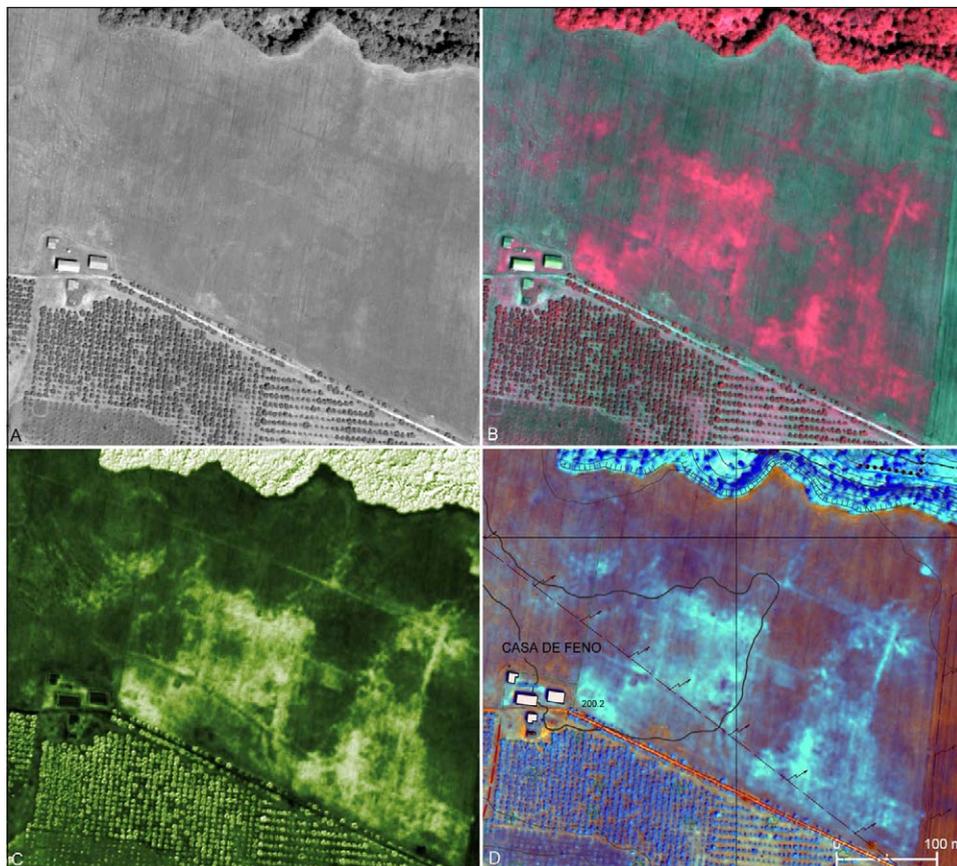


Fig. 5 – Suburbio meridionale di *Falerii Novi* nelle elaborazioni dell'immagine WorldView-2 del 2011: A) pancromatica (PAN); B) composizione in falsi colori (NIR: R=4; G=3; B=2) dell'immagine pansharpened; C) NDVI; D) composizione in falsi colori dei prodotti di data fusion (R=PAN + G=NIR + B=NDVI) con sovrapposizione del livello cartografico nel GIS: le tracce si concentrano maggiormente nel punto avente quota maggiore.

1957) individuati anche in traccia nella documentazione aerofotografica storica (SCARDOZZI 2003), le differenti bande spettrali dell'immagine variamente elaborate mettono in risalto anomalie di natura differente (per una lunghezza complessiva di 220 m), ma ugualmente pertinenti al tracciato della strada antica che attraversava il pianoro in senso NS. Nelle elaborazioni multispettrali l'esatto tracciato della strada è evidenziato nel settore più settentrionale del campo da una fascia maggiormente vegetata, corrispondente verosimilmente al cavo stradale antico, in parte spoliato dei basoli della massicciata e ora interrato (Fig. 6, A). L'immagine pancromatica, invece, resa più leggibile



Fig. 6 – Casale Quartaccio. Tracce della via Amerina nell’elaborazione NDVI (A) e nella pancromatica (B) della WorldView-2 del 2011. C) Cumuli di pietrame e vegetazione, indicati dalle frecce piccole nell’immagine A. D) Basoli frammentari sparsi nel campo.

applicando il contrast stretching (filtro gaussiano), consente di visualizzare lungo lo stesso tracciato, ma più a S, una sottile anomalia lineare, dovuta probabilmente al differente contenuto locale di umidità, visto che quel settore del campo si presenta privo di copertura vegetativa (Fig. 6, B). Oltre che dal dato bibliografico, l’interpretazione è qui confortata dall’indagine diretta sul campo, attraverso la quale è stato possibile verificare la presenza di basoli interi o frammentari sparsi lungo l’allineamento (Fig. 6, D). A questi si aggiungono tre cumuli di pietrame vario (tra cui anche basoli) disposti in mezzo al campo, perfettamente in asse con il tracciato ricostruibile della via

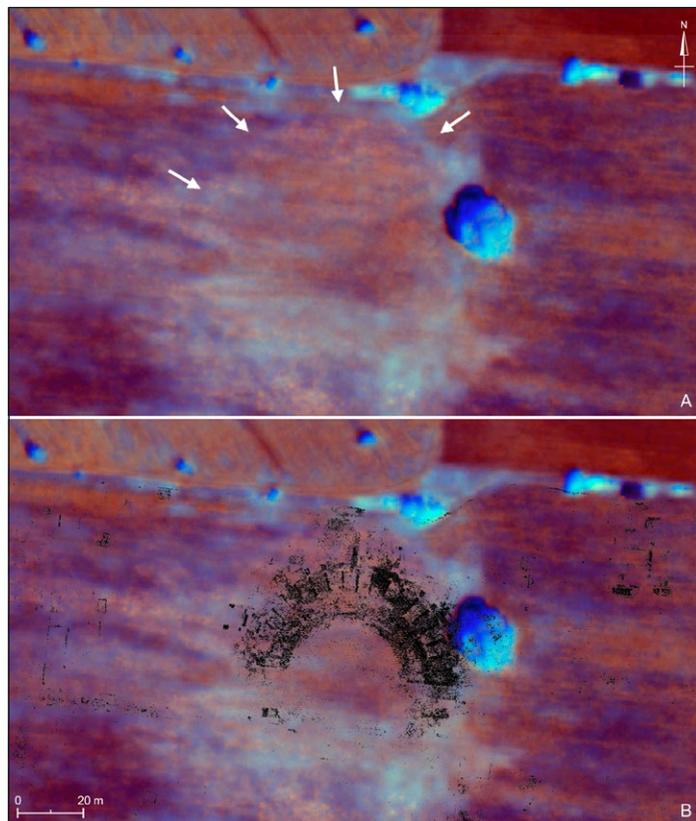


Fig. 7 – A) Tracce del teatro nel prodotto di data fusion dell'immagine WorldView-2 del 2011 (R=PAN + G=NIR + B=NDVI); B) visualizzazione integrata del prodotto satellitare e delle strutture del teatro individuate nelle prospezioni GPR (anomalie in nero: da VERDONCK *et al.* 2020, fig. 4 - "Falerii Novi_field 4" time slices da 13-14 ns a 23-24 ns - Archaeology Data Service https://archaeologydataservice.ac.uk/archives/view/roman-cities_ahrc_2019/).

Amerina e formati nel tempo contestualmente al disfacimento del selciato stradale antico (Fig. 6, C).

Anche per l'area all'interno delle mura di *Falerii Novi* è stato possibile fare alcune osservazioni in merito alla crescita disomogenea della vegetazione in corrispondenza delle strutture sepolte del teatro. Dal prodotto di data fusion PAN + NIR + NDVI, che ha enfatizzato i diversi valori di riflettanza dell'area, è stato possibile individuare con discreta esattezza il tracciato dell'emiciclo esterno del teatro (Fig. 7, A), che, come è possibile verificare grazie all'integrazione dei dati nella piattaforma GIS, coincide con i risultati ben

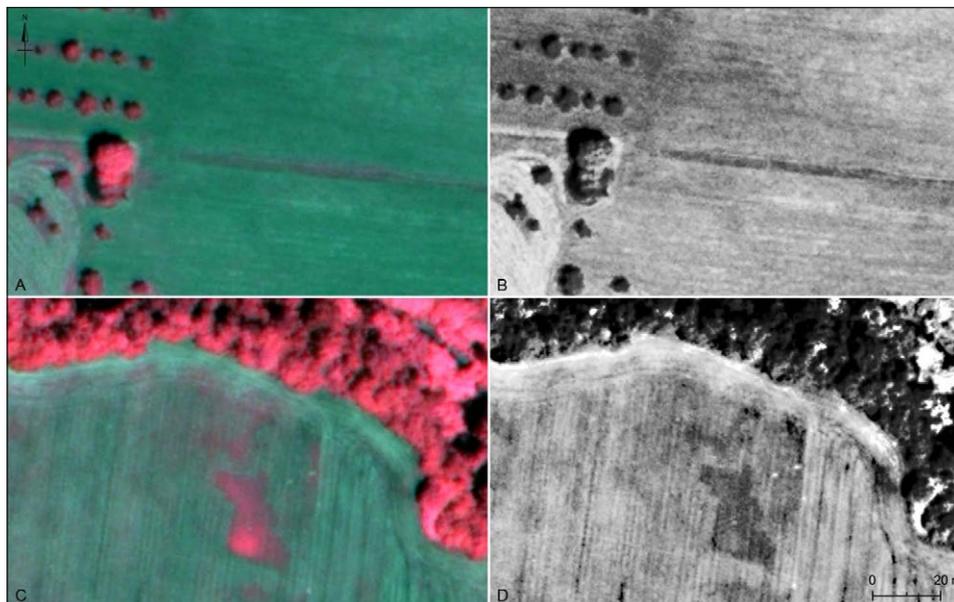


Fig. 8 – Dettagli delle tracce riferibili ad un tratto di strada sepolto all'interno dell'area urbana (A, B) e ad ambienti scavati nel suburbio meridionale della città, visualizzati nella composizione in falsi colori (NIR: R=4; G=3; B=2) dell'immagine pansharpened e nella pancromatica enfatizzata della WorldView-2 del 2011 (B, D).

più precisi delle recenti prospezioni geofisiche (Fig. 7, B). Sempre per l'area urbana, operazioni di miglioramento mediante l'applicazione dello stretching gaussiano sull'immagine pancromatica hanno consentito di discriminare la traccia prodotta da uno degli assi stradali sepolti orientati in senso EO (in particolare il tratto su cui si affacciano le *insulae* IX, X, XI da N e le *insulae* XXIV, XV, XVI da S). Se nell'immagine multispettrale il canale del Vicino Infrarosso aiuta a comprendere con immediatezza la natura dell'anomalia (Fig. 8, A), ossia un cavo stradale ricoperto da interro con crescita di vegetazione più fitta, l'immagine pancromatica migliorata consente di apprezzare maggiormente il dettaglio spaziale della strada (Fig. 8, B), misurabile per una larghezza di 2,80 m.

Un altro esempio di come il contrasto radiometrico della pancromatica sia risultato molto utile nella puntuale restituzione grafica delle tracce è quello di un'anomalia individuata subito a S dalla città, lungo il bordo meridionale del Rio del Purgatorio, anch'essa già individuata nell'esame delle immagini da Google Earth e interpretata come pertinente ad un incasso di cava (MASTROIANNI 2016). Si tratta di una marcata traccia da vegetazione in negativo, imputabile al riempimento di uno o più vani



Fig. 9 – Immagine WorldView-2 del 2014. A) nel riquadro bianco, campo interessato da crescita anomala e differenziata di vegetazione; B) dettaglio dell'area in esame: risultato dell'enhancement delle anomalie (1 e 2) mediante la composizione in falsi colori dei vari prodotti elaborati ($R=NIR+G=PCA1+B=NDVI$).

scavati nel banco roccioso (Fig. 8, C-D). La traccia può effettivamente riferirsi ad un piccolo settore di estrazione di materiale lapideo, del quale non si esclude l'ipotesi di un successivo riutilizzo per scopi funerari, come ambiente di accesso a una o più tombe rupestri (una sorta di atrio aperto), viste la forma, le sue dimensioni complessive (ca. 30×20 m) e lo stretto rapporto topografico con le numerose tombe scavate in basso sul fianco roccioso del fosso e pertinenti alla necropoli meridionale della città di *Falerii Novi*. Questa interpretazione risulta avvalorata se integrata con i risultati della campagna di rilevamento LiDAR condotta nel 2005, che, attraverso tecniche di rimozione della vegetazione, ha permesso di individuare ampi settori di cave antiche lungo le pareti della forra, mettendo in luce un massiccio intervento antropico nella trasformazione del paesaggio originario (OPITZ 2009). È stato infatti osservato che la coltivazione dei settori estrattivi, avvenuta contestualmente all'abbassamento del piano di campagna esterno alle mura, era funzionale non solo all'approvvigionamento del materiale costruttivo delle mura, ma consentiva al tempo stesso di disporre di poderosi fronti rocciosi entro cui ricavare numerosi gruppi di tombe a camera. Questi interventi conferivano alla città, sorta di fatto in un luogo totalmente pianeggiante, un significativo impatto visivo e simbolico, soprattutto per chi veniva da S.



Fig. 10 – Immagine aerea del 1 luglio 2019 (da Google Earth) in cui sono visibili nuove tracce riferibili al tempio (n. 1), individuato grazie alle recenti prospezioni GPR (di cui è riportato un dettaglio delle depth slices a 0,80-0,50 m nel riquadro: da VERDONCK *et al.* 2020, fig. 4) e nuove tracce relative al teatro (n. 2).

3.4 Immagine satellitare GeoEye-1 del 2013

Rispetto ai dati del 2010 e del 2011 sopra esaminati, l'immagine GeoEye-1 del 2013 riproduce l'area in esame nella stessa stagione, ma a distanza, rispettivamente, di tre e due anni. Nell'immagine pansharpended elaborata in falsi colori (4-3-2), le anomalie da vegetazione manifestatesi nel 2013 sono meno definite e hanno un aspetto più confuso se confrontate con quelle visibili negli anni precedenti. Questa circostanza può essere probabilmente imputabile alle continue lavorazioni agricole (che in questo caso si limitano alla sola movimentazione superficiale del terreno causata da erpicature poco profonde realizzate per la semina), le quali, però, hanno progressivamente eroso i depositi terrosi superficiali cancellando le tracce ben riconoscibili negli anni appena precedenti.

Nella stessa immagine risultano inoltre ancora parzialmente visibili le tracce del tratto viario urbano orientato in senso EO e del tratto suburbano della via Amerina a N della città, in corrispondenza di Casale Quartaccio.

3.5 Immagine satellitare WorldView-2 del 2014

Da un primo esame di questa immagine si nota che le tracce relative all'edificio suburbano meridionale sono del tutto invisibili nei dati WorldView-2

del 2014, dove la vegetazione, in uno stadio ormai avanzato di crescita (l'acquisizione è infatti avvenuta a ridosso dell'inverno), copre in maniera fitta e omogenea l'intera estensione del campo. Al contrario delle altre, però, la nuova immagine consente di porre maggiore attenzione su alcune tracce da vegetazione presenti nel suburbio nord-occidentale, facilmente visibili perché relative alle prime fasi di crescita dell'erba all'interno di un campo evidentemente interessato da pratiche di lavorazione differenti (Fig. 9, A). La combinazione tra canale del Vicino Infrarosso, prima banda della Principal Component Analysis e prodotto NDVI (NIR+PCA1+NDVI) ha messo in forte risalto le anomalie individuate e, sebbene sia difficile avanzare precise ipotesi interpretative, le tracce potrebbero tuttavia essere messe in relazione con le strutture suburbane individuate nello stesso campo, ma più a E, grazie all'esame delle foto aeree storiche (SCARDOZZI 2004) e alla seconda campagna di prospezioni geofisiche condotte a *Falerii Novi* (HAY *et al.* 2000).

Dalle foto aeree infatti è emerso un ampio settore abitativo in traccia (in precedenza occupato da una necropoli), organizzato lungo il tracciato della via Amerina uscente dalla Porta Nord e lungo i brevi tratti di strade secondarie ad essa perpendicolari. Le successive prospezioni geofisiche hanno ampliato il quadro delle conoscenze, confermando quanto individuato in traccia e mettendo in evidenza, nel settore a O della traccia extraurbana della via Amerina, alcune strutture di carattere funerario, alcune anomalie pertinenti probabilmente ad antichi fossi di delimitazione di campi e altre anomalie lineari ritenute più tarde. Solo nell'area interessata dalle tracce individuate sull'immagine WorldView-2 sia le foto aeree che le prospezioni geofisiche non hanno restituito dati, ma la stretta relazione topografica, in particolare dell'anomalia n. 2 con quanto già individuato, potrebbe essere tuttavia significativa (Fig. 9, B, n. 2). Nella traccia lineare che si vede a O dell'acquedotto potrebbe riconoscersi forse un asse stradale (Fig. 9, B, n. 1).

4. CONCLUSIONI

Il lavoro di selezione, elaborazione e analisi di cinque diverse immagini satellitari ha consentito di esaminare un palinsesto di tracce e altre anomalie. Una volta contestualizzate, verificate sul terreno quando è stato possibile, e messe in relazione con i dati già noti, la loro natura archeologica ha acquisito una maggiore affidabilità interpretativa.

Per quanto riguarda l'area urbana di *Falerii Novi*, sebbene non siano emerse tracce archeologiche di un certo rilievo, l'utilizzo strategico delle proprietà spettrali dell'immagine QuickBird-2 del 2003, enfatizzate mediante il calcolo dell'Indice di Vegetazione NDVI, ha consentito di individuare e distinguere le aree di maggiore erosione degli strati superficiali del suolo e quelle di maggiore deposizione del terreno colluviale. Questo

risultato mette in luce un fenomeno preoccupante per la conservazione del sito archeologico, che consiste nel progressivo “livellamento” del piano di campagna prodotto dalle continue lavorazioni agricole; ciò, oltre a modificare l’orografia originaria dell’area, ne sta cancellando irreversibilmente gli strati archeologici più esposti. A tal proposito, una recente immagine aerea del 2019, consultabile in Google Earth (Google Earth 2020 Google LLC) in cui sono invece nuovamente visibili le tracce del teatro e, per la prima volta, quelle relative al probabile tempio individuato dalle ultime prospezioni geofisiche in prossimità della porta meridionale (Fig. 10, n.1), documenta l’ulteriore perdita di suolo superficiale e la progressiva distruzione delle strutture antiche sepolte.

I data fusion dei vari risultati di elaborazione delle immagini satellitari acquisite tra il 2010 e il 2013, tutte nel mese di luglio, si sono invece rivelati piuttosto efficaci nell’individuazione di alcune tracce da vegetazione nel territorio circostante la città, in particolare quelle relative al tracciato della via Amerina a N e soprattutto quelle pertinenti a una probabile villa suburbana a S della città. Tale circostanza suggerisce che fattori come il tipo di uso del suolo (pascolo), le annesse pratiche di lavorazione e le condizioni climatiche dell’area rendono il mese di luglio particolarmente vantaggioso per l’individuazione di tracce da vegetazione. Queste ultime denunciano lo stadio ormai avanzato di danneggiamento degli strati archeologici; infatti, da una lettura integrata con foto aeree storiche e cartografia storica, emerge, non a caso, che il campo in cui è documentata la villa romana è stato interessato nei decenni precedenti da scassi agricoli per l’impianto di un vigneto, prima, e di altre coltivazioni arboree successivamente eradicata, poi.

L’immagine satellitare del 2014, acquisita in un periodo dell’anno differente, ha offerto invece la possibilità di osservare delle tracce da vegetazione in un settore specifico del suburbio settentrionale che non ha mai restituito alcun dato nelle ricerche precedenti.

ILARIA MICCOLI

Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
ilaria.miccoli@ispc.cnr.it

BIBLIOGRAFIA

- BRUNETTI NARDI G. 1972, *Repertorio degli scavi e delle scoperte archeologiche nell’Etruria meridionale*, II, Roma, CNR, 40-42.
- BRUNETTI NARDI G. 1981, *Repertorio degli scavi e delle scoperte archeologiche nell’Etruria meridionale*, III, Roma, CNR, 97-101.
- CAMPANA S. 2004, *Le immagini da satellite nell’indagine archeologica: stato dell’arte, casi di studio, prospettive*, «Archeologia Aerea», 1, 280-299.
- DAINELLI N. 2011, *L’osservazione della Terra. Telerilevamento. Manuale teorico-pratico per l’elaborazione delle immagini digitali*, Palermo, Dario Flaccovio Editore.

- DE ANGELI S. 2017, *La via Amerina-Annia e Falerii Novi. Osservazioni e proposte sull'origine e lo sviluppo di una via pubblica romana*, «Analysis Archaeologica. An international journal of Western Mediterranean archaeology», 3, 45-61.
- DE ANGELI S., BATTISTIN F. 2020, *Da CLIMA a RESEARCH: monitoraggio e valutazione del rischio nei siti archeologici mediante l'applicazione di tecnologie di remote sensing e GIS*, in A. RUSSO, I. DELLA GIOVAMPAOLA (eds.), *Monitoraggio e manutenzione delle aree archeologiche: cambiamenti climatici, dissesto idrogeologico, degrado chimico-ambientale. Atti del Convegno internazionale di studi (Roma 2019)*, Roma, L'Erma di Bretschneider, 275-279.
- DE LUCIA BROLLI M.A. 1991, *L'Agro Falisco*, Roma, Quasar.
- DE LUCIA BROLLI M.A. 1996, Falerii Novi. *Novità dall'area urbana e dalle necropoli*, «Rendiconti della Pontificia Accademia Romana di Archeologia», 68, 21-68.
- DE LUCIA BROLLI M.A., BIELLA M.C., SUARIA L. 2012, *Civita Castellana e il suo territorio. Ricognizioni archeologiche e archivistiche*, Roma, Officina Edizioni, 134.
- DI STEFANO MANZELLA I. 1979, Falerii Novi negli scavi degli anni 1821-1830 con un catalogo degli oggetti scoperti, un'appendice di documenti inediti e una pianta topografica, «Memorie della Pontificia Accademia Romana di archeologia», 12, 2, 17-46.
- DI STEFANO MANZELLA I. 1990, *Lo stato giuridico di Falerii Novi dalla fondazione al III sec. d.C.*, in AA.VV. (eds.), *La civiltà dei Falisci. Atti del XV Convegno di Studi Etruschi e Italici (Civita Castellana 1987)*, Firenze, Leo S. Olschki, 340-367.
- FREDERIKSEN M.W., WARD-PERKINS J.B. 1957, *The ancient road system of the Central and Northern Ager Faliscus*, «Papers of the British School at Rome», 25, 67-208.
- GAMURRINI G.F., COZZA A., PASQUI A., MENGARELLI R. 1972, *Carta Archeologica d'Italia (1881-1897). Materiali per l'Etruria e la Sabina, Forma Italiae, Serie II. Documenti*, 1, Firenze, Leo S. Olschki.
- HAY S., JOHNSON P., KEAY S., MILLET M. 2010, Falerii Novi: *Further survey of the northern extra-mural area*, «Papers of the British School at Rome», 78, 1-38.
- KEAY S., MILLETT M., POPPY S., ROBINSON J., TAYLOR J., TERRENATO N. 2000, Falerii Novi: *A new survey of the walled area*, «Papers of the British School at Rome», 68, 1-94.
- LASAPONARA R., MASINI N. 2012, *Satellite Remote Sensing: A New Tool for Archaeology*, New York, Springer.
- MASTROIANNI D. 2016, Falerii Novi: *spunti per un update topografico vettorializzato della città romana. Nuovi dati dall'area meridionale urbana ed extraurbana*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 197-208 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF27/10_Mastroianni.pdf).
- OPITZ R. 2003, *Integrating lidar and geophysical surveys at Falerii Novi and Falerii Veteres (Viterbo)*, «Papers of the British School at Rome», 77, 1-27.
- SCARDOZZI G. 2003, Falerii Novi. *Fabrica di Roma, Viterbo*, in M. GUAITOLI (ed.), *Lo sguardo di Icaro. Le collezioni dell'Aerofototeca Nazionale per la conoscenza del territorio*, Catalogo della mostra, Roma, Campisano Editore, 394-402.
- SCARDOZZI G. 2004, Falerii Novi: *georeferenziazione di tracce aerofotografiche relative all'area extraurbana settentrionale*, «Archeologia Aerea», 1, 145-154.
- SCARDOZZI G. 2016, *An introduction to satellite remote sensing in archaeology: State of art, methods and applications*, in F. BOSCHI (ed.), *Looking to the Future, Caring for the Past. Preventive Archaeology in Theory and Practice. Proceedings of the 2013-2014 Erasmus IP Summer School in Preventive Archaeology: Evaluating Sites and Landscapes. Methods and Techniques for Evaluating the Archaeological Value*, Bologna, Bononia University Press, 217-239.
- VERDONCK L., LAUNARO A., VERMEULEN F., MILLETT M. 2020, *Ground-penetrating radar survey at Falerii Novi: A new approach to the study of Roman cities*, «Antiquity», 94, 375, 705-723.

ABSTRACT

This paper presents some results obtained by the application of remote sensing methodologies in the study and monitoring of the Roman city of *Falerii Novi* and its surrounding area. This landscape changes quickly and for this reason is suitable for non-invasive investigation, which ensure the regular tilling of the land and allow the monitoring of the conservation of the ancient buried structures. Specifically, the research concerns the experimental application of the recent image processing methodologies on five high-resolution satellite images (one QuickBird-2, two GeoEye-1 and two WorldView-2 acquired between 2003 and 2014). The aim of this processing phase is to enhance spectral, spatial and radiometric properties of the images and so, to facilitate the identification of the archaeological marks related to buried structures. The photointerpretation was necessarily supported by the examination of the bibliographic sources, and was validated, where was possible, by field checks. In general, no significant archaeological marks have emerged in the urban area, but the strategic use of the spectral properties of the images has allowed the identification of the areas with the greatest erosion of the surface soil and those of greatest deposition of the colluvial soil. In the extra-urban area, on the other hand, vegetation marks relating to a probable suburban villa in the immediate territory to the South of the city and to the route of the Via Amerina to the North have been identified.

FROM SURFACES TO VOLUME: TOWARDS A VOLUMETRIC RECONSTRUCTION OF THE ARCHAEOLOGICAL DEPOSIT

1. INTRODUCTION

Over the last ten years, digital documentation by means of image-based modelling techniques (from now on referred as digital photogrammetry) has rapidly established as a reliable documentation method for archaeological excavations (KATSIANIS *et al.* 2008; FORTE *et al.* 2012; DE REU *et al.* 2014). Recent advances in data acquisition have meanwhile highlighted the necessity to develop new management and analysis workflows for 3D data. These new workflows should comprise a multitude of parameters and allow a balance between expected geometric resolution, acquisition and processing time and the needs of the archaeological practice, which also include the management of the personnel on the field and of the equipment (ROOSEVELT *et al.* 2015; SAPIRSTEIN, MURRAY 2017). Another equally important aspect, which also affects how fieldwork practice is conducted, is planning in advance what characteristics the 3D data should have to enable further post-processing analysis. It still appears that there is a gap between those works interested in developing methods feasible and sustainable for the digital documentation of the archaeological excavation and those focused on the post-processing analysis on 3D data, often based on small test-sample contexts (ORENGO 2013; DELL'UNTO *et al.* 2017; GAVRYUSHKINA 2021).

This article presents a protocol developed for a systematic application of digital photogrammetric recording to the documentation of an extensive archaeological excavation, in which all the steps are optimized to obtain a 3D volumetric reconstruction of the archaeological deposit. This is achieved by generating 3D data with the purpose of reconstructing the enclosed physical space occupied by each Stratigraphic Unit (SU), representing the smallest volumetric entity in which the stratigraphic deposit is subdivided. This fine subdivision of the stratigraphy enables a better representation of the complexity of the stratigraphic and spatial relationships, keeping at the same time unaltered the topological relations among the units. The protocol enables an entirely new volumetric approach of recording, visualizing, and analysing the stratigraphic space, moving forward from a representation of the stratigraphic deposit based on interfaces and empty spaces to a new one based on solid geometric models. The procedures were developed and successfully applied during four archaeological excavation seasons at the medieval site of Vettricella, in central Italy.

This article is divided into two main sections: in the first part, we discuss operational steps in fieldwork activities, defined in order to make the

documentation feasible and compatible with the needs of the archaeological practice. We aimed at presenting how difficulties and issues are tackled to successfully apply this protocol to a wide range of archaeological contexts, not limited only to small trenches and test pits. In the second part, we describe the procedure adopted for processing 2.5D surfaces into solid 3D geometries, which can be used for visualization and for analytical quantitative approach. Lastly, we provide some useful insights on how 3D geometries of the volume can be applied to support the archaeological interpretation of the site, with some practical examples drawn from the site of Vetricella.

2. BACKGROUND

2.1 *Digital documentation at Vetricella*

Vetricella (Scarolino, GR) medieval site is located in Southern Tuscany, in central Italy, and it was detected for the first time in 2006 during an aerial photographic campaign (Fig. 1). After a few years of minor investigations made largely by archaeological test-pits, in 2016 the project nEU-Med and the project Lok-Med¹ started a series of new extensive excavation campaigns. In order to keep up with the new workload, a digital recording protocol based on digital photogrammetry was developed, allowing to document more than a thousand SUs over the course of four excavation seasons to date (2016-2019) (MARASCO, BRIANO 2020).

Vetricella was an early medieval fortified site made of perishable material features, dated to between the mid-8th and 12th centuries AD. Excavations have detected evidence of a central rectangular tower-shaped building enclosed by a defensive system made of three concentric circular ditches. Moreover, the presence of a burial ground, productive structures and a huge amount of findings (pottery, coins, metals, animal bones, seeds and glass shards) suggests that the site might be identified with the centre of the *curtis regia* of Valli (BIANCHI, HODGES 2020).

The area covered by the archaeological activities measures about 60×50 m and covers approximately 3000 m², including most of the space delimited by the second ditch. The area was then subdivided into four sectors arranged in a radial pattern from the central place, which overlaps with the centre of

¹ 'nEU-Med. Origins of a new economic union (7th-12th centuries): resources, landscapes, and political strategies in a Mediterranean region' (2015-2021) is an ERC Advanced project (grant agreement No. 670792). 'Lok-Med. The Lands of Kings and Emperors in a Mediterranean region (9th-11th centuries). Fiscal estates and economic growth' (2017-2022) is funded by MIUR, FARE, SH section (2017, D.D. n. 2811). The projects (see respectively <https://www.neu-med.unisi.it/it/progetto-neu-med/> and <https://www.neu-med.unisi.it/it/lok-med/>) are led by the Dipartimento di Scienze storiche e dei Beni Culturali of the Università degli Studi di Siena by Prof. Richard Hodges and Prof. Giovanna Bianchi.

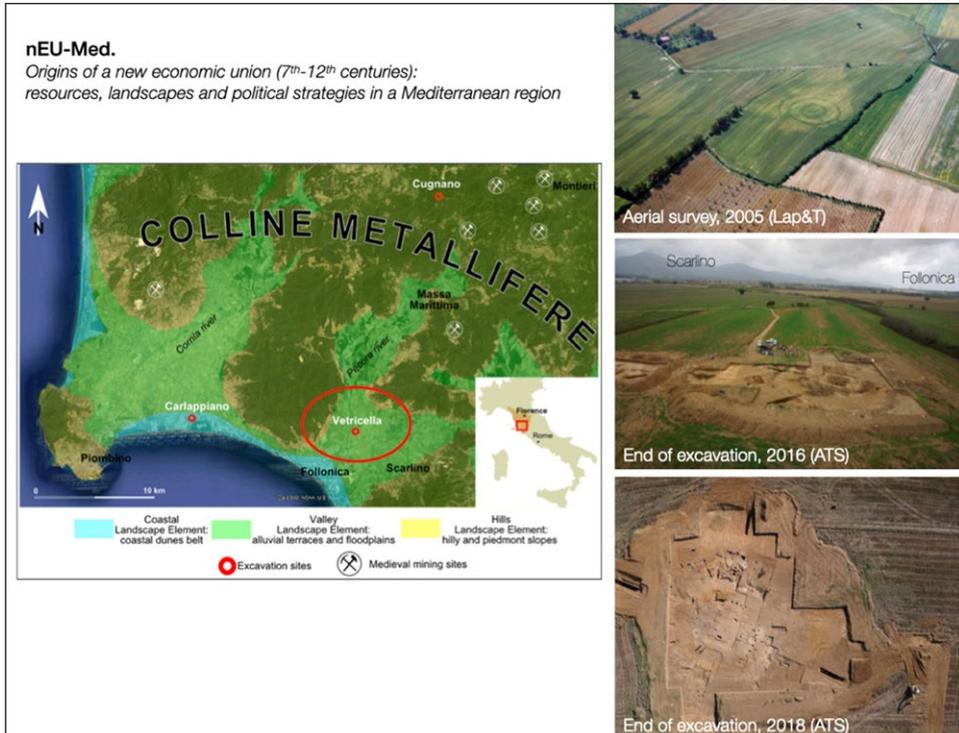


Fig. 1 – The area investigated by the ERC Advanced nEU-Med project. On the right, aerial views of one of the key sites of the project, the medieval site of Vetricella (Scarlino, Grosseto, Italy) (<http://www.neu-med.unisi.it/>).

the settlement. Within each sector, several minor excavation areas have been opened to better investigate some important contexts. Moreover, in selected parts of the site, especially along the path of the ditches, some trenches and test pits were simultaneously opened, leading to a deeper comprehension of the stratigraphic relationships (Fig. 1).

2.2 The volumetric approach

The stratigraphic deposit can be represented as a continuous physical space in which archaeologists identify spatial discontinuities among separate depositional processes, interpreted as unitary natural or anthropogenic events (BARCELÓ 2000). Discontinuities are recognized principally for changes in colour, shape and texture, thus leading to the identification of the boundaries of the SUs. The physical space occupied by a SU is therefore enclosed between two adjacent discontinuities, namely the upper and the lower surfaces, shared

with contiguous contexts (NOBLES, ROOSEVELT 2021). Archaeological documentation with digital photogrammetry is generally carried out by recording surfaces at various stages of the excavation. Surfaces are arbitrarily selected by archaeologists after the identification of SUs and for each SU generally only its upper face is recorded before its removal.

The aggregation of all the surfaces recorded in the whole archaeological deposit returns, however, just the false impression of a reconstructed 3D space, because each SU is modelled through a single surface and its actual physical space remains empty. The volume of the SU is intangible and it can be only visually reconstructed by interpreting a series of surfaces and empty spaces.

To overcome these issues, we propose a method to fill the empty space within the surfaces by reconstructing the volume occupied by each element of the stratigraphy, obtaining a 3D model that encompasses the volume of the SU. The real effort is trying to integrate the processing of 2.5D raw surfaces into volumetric 3D models within the documentation procedure, trying to keep compatibility with timings and needs of the archaeological fieldwork practice. This aspect is particularly important in order to provide ready to use data for enabling post excavation analysis.

3. DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC SURVEY AT VETRICELLA

In this section, we are going to uncover some of the most important steps of the protocol, underlying some main aspects such as: SUs recording, organization of the fieldwork activities and logistical issues. The volumetric approach aimed at reconstructing the 3D solid geometries of each SU has required the definition of new procedures that enable the exploitation of the potential of 3D data in post excavation analysis. All these operations must be integrated into the fieldwork activities without overlooking other important archaeological aspects and consolidated practices, by carefully balancing data accuracy, processing time and amount of data produced. We divided the main fieldwork activities into two main blocks: the first block of operations takes place before the removal of each SU, whereas most of the processing steps in digital photogrammetry can be performed later.

In order to create 3D solid geometries, it is necessary to record the top and the bottom surface of each SU. During the excavation, the top surface of each SU is recorded, framing the condition of the unit before its removal, while the top surface of the context underneath serves as the bottom surface. This simple pattern works flawlessly in case of two perfectly overlapping SUs, although it becomes more complicated for a SU with multiple physical relationships with several SUs underneath. In this case, the bottom surface would be made by the combination of the upper surface of all the underlying units. To keep the data management simple and to adapt the method to all the

possible stratigraphic relationships, photogrammetric acquisition is carried out with particular attention to the extension of the area recorded.

For each SU, the extension of the photo survey should include the actual boundaries of the SU and the extension of the last overlying SU previously removed, for which this model serves as a bottom surface. With this data structure, the displacement of 3D models in chronological order would result in an accurate reconstruction of the evolution of the excavation activity, where SUs are encompassed completely by two consequent surfaces. This method has proven to be particularly effective for reducing data production and to limit the targeted area of the photogrammetric processing. In fact, only one model is recorded for each SU and the area modelled with digital photogrammetry is limited to the merged extension of two consequential units.

Coded targets are usually placed outside each spatial context's extent and measured with total station in local coordinates system. We experienced that the management of 3D models georeferenced in local coordinates reduces the incompatibility encountered in some software at handling large geographic coordinates. After the procedure of elaboration is completed, the models can be translated to geographic coordinates by applying a fixed translation matrix.

The delineation of the boundaries of a SU is an important step of the archaeological excavation and it is based on the evaluation of some parameters of the dirt, such as colour, texture and composition. On a 3D model, the same process of delineation is less accurate, since the archaeologist must rely mostly on colour information. In developing the procedure, we dedicated particular attention on how to report on the 3D models these evaluations, keeping the relationship with the relevant on-field interpretation phase. This task is done on-site by measuring with a total station a trail of points tracing the unit's boundary and the relevant archaeological features. At a second stage, in post-processing analysis, points can be used as guidelines to perform the cutting of the models and for interpreting the most relevant features. Even though the programmatic acquisition of several surfaces enables the automatic delineation of the extension of each SU (see § 4), these points constitute the only reference to delineate the boundaries of negative SUs because of the absence of a tangible volume.

Another important issue is how to incorporate a highly specialized form of documentation in a working environment composed of students and researchers, often unaccustomed to handling such technologies. The complexity of the protocol requires the presence of qualified staff who supervise all the processing steps, ensuring data standard quality and homogeneity. Operations of planning, management and processing of the digital data are conducted by archaeologists specialized in digital photogrammetry, while other collateral activities can be supported also by non-trained archaeologists. At Vetricella, two to three specialized archaeologists rotated across the excavation to supervise the documentation of all the areas.

Lastly, the protocol should consider the possibility to handle the documentation directly on-site at the ‘trowel’s edge’, a recommended condition widely supported by many authors (BERGGREN *et al.* 2015; DELL’UNTO *et al.* 2017; TAYLOR, DELL’UNTO 2021). Ready-to-use documentation requires that the photogrammetric processing is completed directly on the field in order to create a synergy with the archaeological excavation practice. After the image acquisition, data is immediately processed on-site with notebooks powered by an electric generator. Photogrammetric elaboration is generally launched before the removal of each SU. Archaeologists who work in the corresponding area are often challenged to evaluate the preliminary results of the ‘image alignment’ step in terms of visual quality and spatial coverage, while point density and camera optimization are inspected by the staff. If the model complies with the requirements, the excavation can continue with the removal of the SU, otherwise it is possible to integrate the photo dataset taking additional pictures of the context.

The last steps of the processing, which include georeferentiation and dense point cloud reconstruction, are often completed after the reprise of the digging activities. Having the models ready to consult on the field has proven to be of great benefit for the archaeological practice, influencing fieldwork strategies and the interpretation of contexts.

4. FROM SURFACES TO VOLUMES

The aim of the workflow described in this section is to elaborate point clouds into solid 3D geometries, enabling the reconstruction of the volumes encompassed within overlapping surfaces (Fig. 2). The workflow is composed, at the moment, of a series of manual and software driven operations, while the development of the method aims at gradually introducing a higher level of automation. Programmatic procedures will enable faster processing, therefore producing ready-to-use documentation for a wider range of contexts. Moreover, the intervention of the archaeologist will be rerouted to less technical but not least important operations, such as quality control and interpretation of the outcome.

From the photogrammetric software (in this case Agisoft Metashape: <https://www.agisoft.com/>), georeferenced point clouds with associated RGB colour information are exported as .ply file (Polygon File Format) in binary format, a standard particularly suitable for large sets of point cloud data. Point cloud names are reported in a scheme diagram designed on top of the Harris matrix of the excavation, beside the name of each SU. Point clouds of the upper and lower surfaces are stored in dedicated folders named after the code of each SU, according to the scheme diagram structure. This scheme monitors the storage of the data and allows to quickly recall each point cloud needed for the elaboration of the volumetric 3D point cloud.

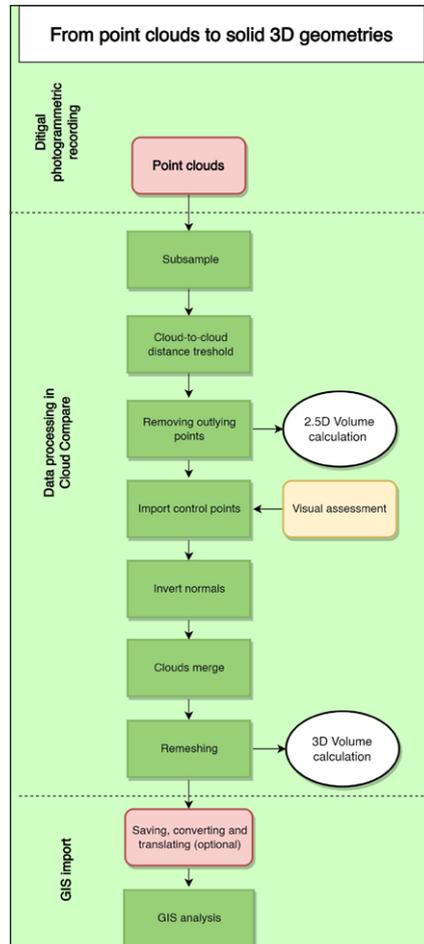


Fig. 2 – Schematic workflow for the processing of point clouds into solid 3D geometries.

For each SU, the two point clouds that form the top and bottom of the spatial context are imported into CloudCompare (CC), a 3D point cloud and mesh processing open source software (<https://www.danielgm.net/cc/>) (Fig. 3a). CC can handle extremely dense point clouds and geographic coordinates associated with 3D models. Anyway, as already mentioned, in our case we preferred to work in local coordinates and then translating to geographic coordinates only at the end of the processing, just before exporting to a GIS software. Point clouds are initially subsampled to reduce the workload of

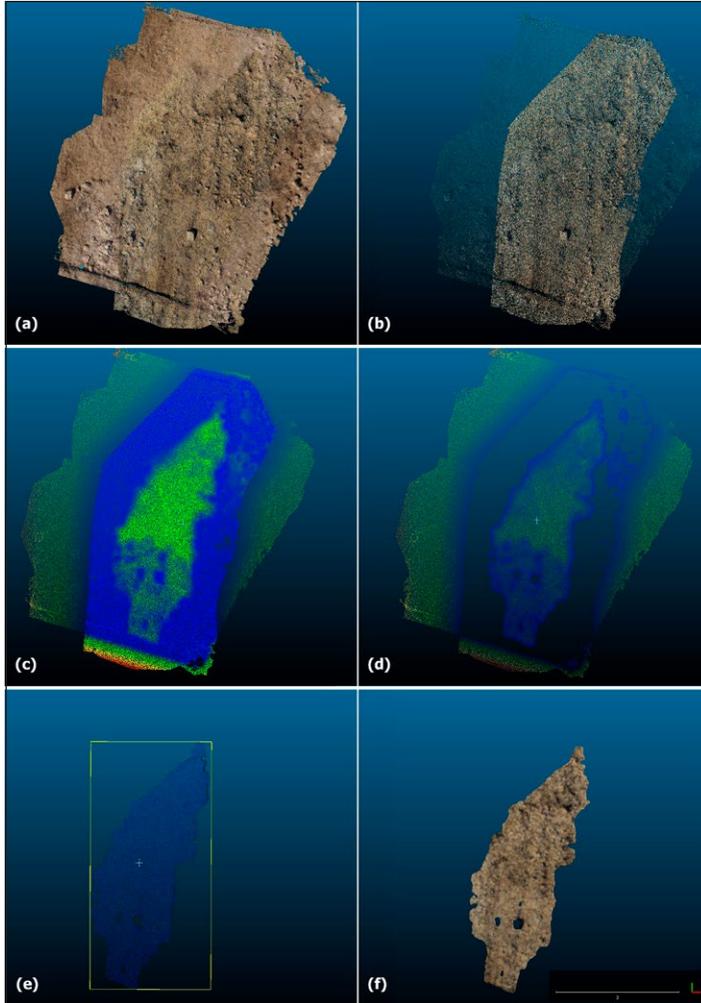


Fig. 3 – Main phases of the processing steps in CloudCompare: a) import of points clouds; b) subsampling; c) cloud-to-cloud distance calculation; d) distance threshold; e) cleaning and merging; f) remeshing.

subsequent elaboration steps, by setting a minimum space between points of 0.02m (Fig. 3b). This threshold has been set arbitrarily according to the needs of our research, whereas some small adjustment in point density can be done for contexts with particular characteristics.

The next step is aimed at detecting and cutting the portions of the surfaces that encompass the volume of the SU and delimitate its physical space. Firstly,

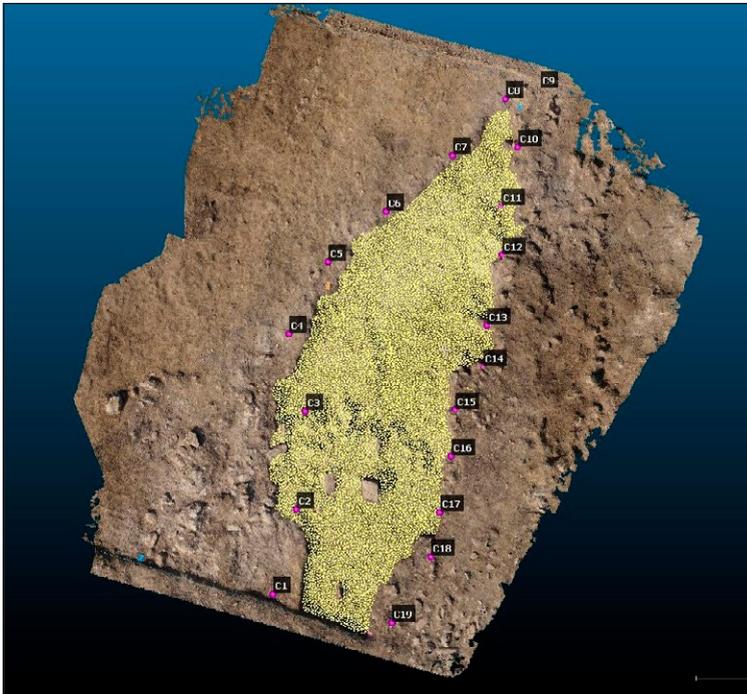


Fig. 4 – Control points measured on-site to check the reliability of the process.

a cloud-to-cloud distance is calculated between the two clouds, returning for each point the minimum distance measured from any point of the other point cloud (Fig. 3c). Then a distance threshold is set to clean out all the points that indicate perfectly overlapping between the point clouds. This operation removes all those points that show a limited oscillation between the point clouds, and that consequently are not directly pertaining to the SU itself, but likely belong to those parts of the stratigraphy that remained unaltered during the course of the removal of the SU (Fig. 3d). In this case, we chose a 0.03m threshold for most of the contexts, a value just enough larger than the sampled point resolution of the clouds. Isolated points or groups of points can be then deleted by computing the ‘Segmentation - connected components’ tool, setting a rather high octree level.

Further manual cleaning and visual assessment of the data is highly recommended at this stage of the process to ensure the consistency with the archaeological interpretation of the SU. This evaluation can be assisted by importing onto the point clouds the associated reference points that were previously recorded on-site along the boundary of the unit and on the most

relevant features (see § 3). Reference points can be used to verify the extension of the boundaries of processed point clouds, especially in the case of very thin SUs, where the result of the cloud-to-cloud distance algorithm may not be able to clearly distinguish overlapping points from non-overlapping ones (Fig. 4).

After completing the check, the normals of the points of the lower surface are inverted and the two point clouds are merged to create the 3D point cloud of the volumetric space of the spatial context (Fig. 3e). Subsequently, the point cloud is interpolated into a solid geometry mesh using the Poisson Surface Reconstruction method and volume can be calculated (Fig. 3f). Alternatively, merged point cloud can be imported back again for remeshing into Agisoft Metashape, which offers a different remeshing algorithm that in our experience had provided generally better performance. By importing the new solid geometry mesh into the same Metashape project of the upper point cloud, it is possible to generate a texture of the upper surface of the mesh, improving display quality of the data. Models are then saved as COLLADA file (.dae) for ESRI ArcGIS interoperability and imported into a geodatabase.

Alongside the elaboration of solid geometries for visualization purposes, models can be measured to obtain the volume in cubic units for quantitative

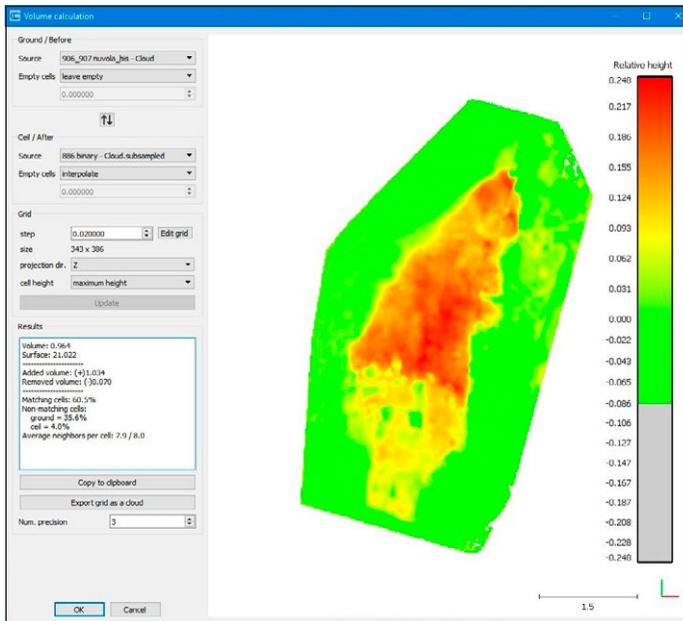


Fig. 5 – Volume calculation with ‘2.5D Volume’ tool. The red colour corresponds to the greater distance between the surfaces. The total volume is returned in cubic meters.

analysis. At Vetricella we experienced that both visual entities and quantitative volumetric data provide valuable support for the archaeological interpretation of the site (see § 5). However, specific research questions that may be addressed exclusively to quantitative data require the implementation of more immediate methods for volume calculation. In CC, the rasterization process of the point clouds operates without the need of creating a solid geometry. The tool, called 2.5D volumetric calculation, at first sets a grid of arbitrary resolution and for each cell constructs an elementary parallelepiped. The process uses the cell footprint multiplied by the difference in height between the points of the two clouds, namely the upper and the lower surface of the units. The total volume of the model is then computed as the sums of the contribution of each cell. By using a dense resolution grid (i.e. <0.05m), volume calculation obtained with this method has returned negligible difference in result to that obtained with solid geometry calculation (Fig. 5).

5. DISCUSSION

5.1 *Management and visualization of volumetric models*

Models created with this procedure can then be managed and visualized in different ways, according to the need of the project and to the preference of the user in terms of software and display types. In this case study, we opted for a geodatabase GIS management system for three reasons: i) models can be matched with attributes for queries and thematic displaying; ii) models are interfaced with all the other spatial and alphanumeric data obtained from the excavation; iii) geodatabase storage system helps in keeping tidy a great amount of data. ESRI ArcGIS was chosen for its good 3D visualization performance and the capabilities of importing georeferenced 3D models in various formats (CAMPANARO *et al.* 2016; GAVRYUSHKINA 2021; KATSIANIS, KOTSAKIS, STEFANOPOULOS 2021).

The layered structure of the GIS system allows to reconstruct the entire stratigraphic deposit through solid 3D geometries, with the intent to favour a better understanding of the physical relationships between those elements by representing the complexity of the archaeological record. Imported models result in a succession of interconnected objects, organized along both the vertical and horizontal axis. By displaying all excavation models together, the upper layers result in covering the lower ones, making it difficult, if not impossible, to read the relationships among the inner units. The solution to this problem was to put each 3D model into a separate feature class. This data structure returns a succession of autonomous layers, one for each 3D model, that can be turned on or off depending on the specific need, enabling the comprehension of the stratigraphic relationships among all the units of the deposit (Fig. 6). It is possible, for example, to turn off the layers closest to

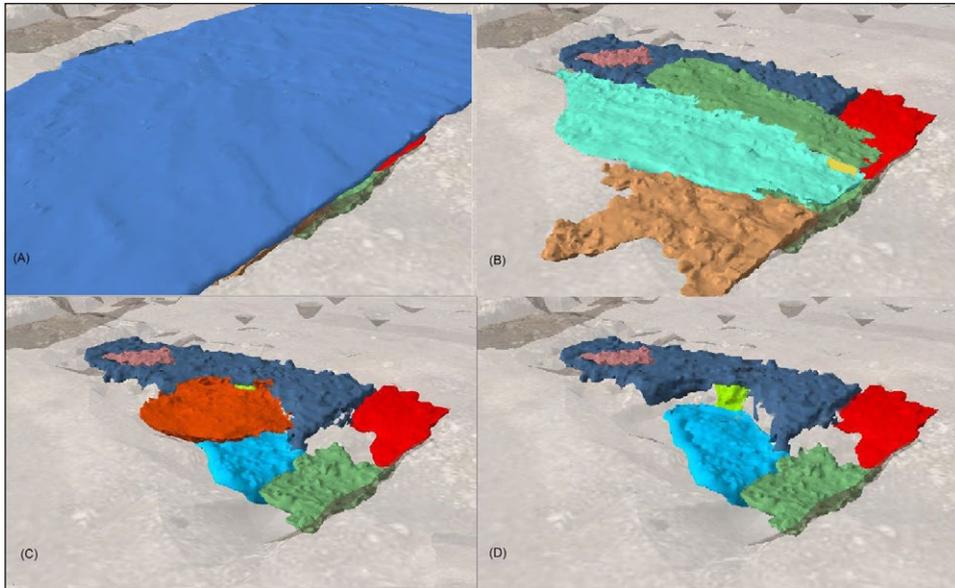


Fig. 6 – Reconstruction of the archaeological deposit of Vetricella with solid 3D geometries. The stratigraphic sequence is unveiled by gradually removing overlapping layers, reproducing the events of the excavation.

the camera view, unveiling gradually the immediately lower layers, or to turn on only some distinctive elements for studying specific contexts. 3D models retain information colour from the photogrammetric recording, but we have experienced that those relationships are better emphasized with contrasting false colours. A unique colour can be assigned to each individual element to facilitate its identification within the deposit.

Among the most useful features offered by the geodatabase management system, there is the capability to correlate 3D models with other spatial datasets and attributes elaborated during specialized studies or post-excavation analysis of the stratigraphy. This feature enables both spatial and attribute-based queries providing a more comprehensive way of exploring the 3D dataset. It will also be possible to isolate a specific group of SUs according to common characteristics, thus simplifying the study of specific sections of the deposit. Moreover, attributes can be used for thematic displaying of the models, by assigning graduated colours according to the value of certain parameters. In the examples we are going to propose, thematic displaying has been associated with the use of the volumetric data, showing how solid 3D geometries can be employed for both their visual and quantitative properties in the aid of the archaeological interpretation of the site.

5.2 Case-study: from volume to material's standardization

We are going to present some practical examples drawn from the site of Vetricella, in which data produced with the above protocol have been used in support of the interpretation of the stratigraphic deposit and of its depositional processes. Besides the aid in the visualization of the stratigraphic and spatial relationships, the protocol returns accurate quantitative volumetric data for all the SU of the excavation. Our goal is to test how this new variable can assist the archaeological analysis of the site.

One of the main challenges in the comparison of different contexts is that they may differ significantly in spatial extension (including the z-dimension). Different extensions indirectly influence the number of the finds retrieved during the excavation, making the comparisons based on quantities almost unreliable. Volumetric data can be used to normalize the quantity of finds of each SU, relating them to a minimum common unit of volume, obtaining a density value. Density is generally calculated as the ratio between weight of the finds and the volume of dirt of the deposit of origin (CECI, SANTANGELI VALENZANI 2016), but more in general it can be used to normalize every numeric/quantitative variable.

In this study we used the volumetric data to normalize the attributes of pottery weight, that is the sum of the weight of the pottery shards, and of the minimum number of vessels (MNV), that is the minimum number of whole finds identified by the shard's reassembly. Pottery was chosen among all the

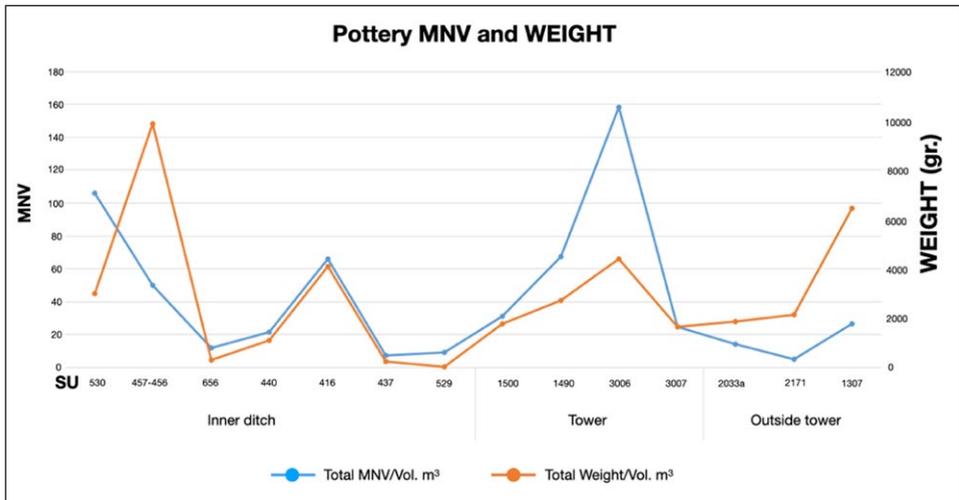


Fig. 7 – The graph shows the comparison between two trends of normalized values: orange line represents the total weight of ceramic sherds per cubic meters, while light blue indicates the total minimum number of vessels (MNV) per cubic meters.

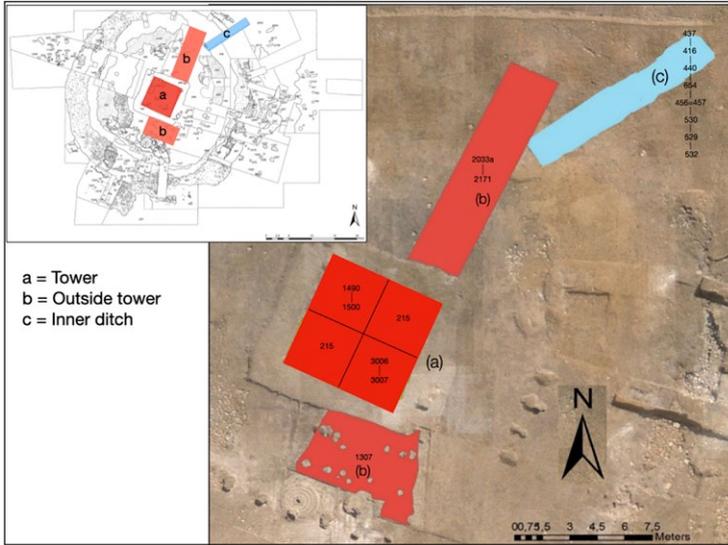


Fig. 8 – Localization of the contexts analysed with the method of standardization of the volume with respect to the values of weight and number of minimum vessels.

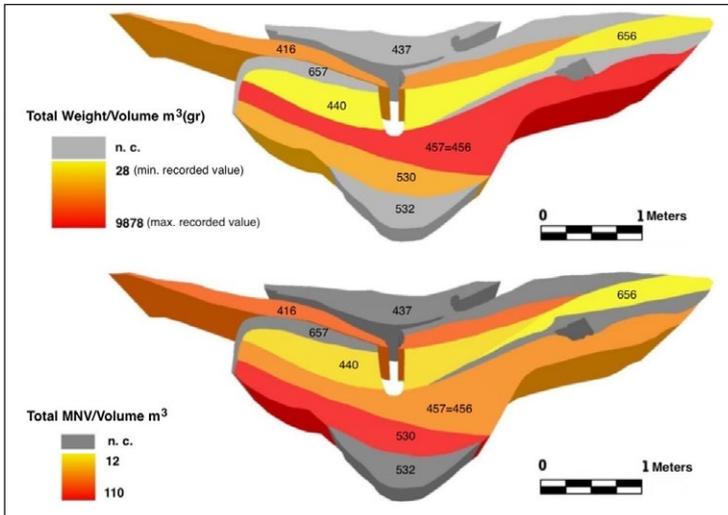


Fig. 9 – 3D reconstruction of the ditch fillings. The different colour gradient, from lighter to darker, corresponds to the ratio of a certain variable to the volume of the unit. In the upper case (minimum weight value = light yellow; maximum weight value = red), and in the lower case (minimum number of MVN = yellow; maximum number of MVN = red).

find's categories because of its high frequency distribution which makes it more suitable for analytical approaches. The results of the calculations are summarized in the chart (Fig. 7). We focused on two important contexts of the central part of the site: the filling of the most inner ditch, which was interpreted as an intentional backfilling of the unused defensive structure, and the stratigraphy of the tower and the adjacent areas, most likely formed by the sedimentation of the occupation floor. All these contexts were drawn from the same chronological phase of occupation, dating to the first half of the IX century AD (Fig. 8).

In the first case, the different spatial extensions of the units of the filling inside the trench is emphasized by the display of solid geometries (Fig. 9). Thematic displaying based on normalized values highlights the difference in finds density, greatly helping in distinguishing units with a greater anthropic impact from the others. The values of MNV and of weight appear to vary accordingly and clearly point out the different characteristics of the SUs 440 and 656. These units were probably subjected to depositional processes with a greater impact of natural factors.

In the second case, it is possible to spot some differences across the occupation floor (Fig. 10). The contexts placed on the southern side of the tower (SU 1307) show a higher pottery density than the contexts of the

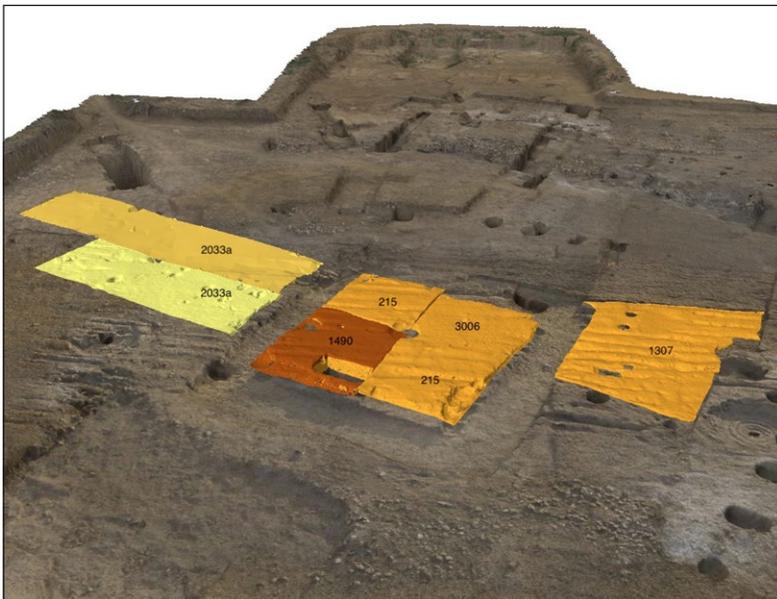


Fig. 10 – Floors inside and outside the central tower. Different colours refer to the different concentration of MNV with respect to the volume of the units.

northern side (SU 2033a). At the same time, within the rectangular perimeter of the tower, the NW sector (SU 1490) shows an unusually high MNV number. Differences in density may indicate a differentiation of the use of the spaces which need to be further investigated with the aid of other tools and information.

6. CONCLUSION

This contribution has demonstrated that a volumetric way of recording, visualizing, and analysing the archaeological stratigraphy can be implemented in compatibility with the timing and the needs of an extensive archaeological excavation. The volumetric approach developed for the site of Vetricella introduces a little extra workload to the conventional 3D recording procedure, however greatly expanding the potential of the use of 3D data for post-excavation analysis.

The representation of the 3D volumetric space of the archaeological deposit with solid 3D geometries enabled a better visualization of the stratigraphic and physical relationships than just the use of raw surfaces. Despite the lack of a real 3D topological implementation for spatial queries, a GIS management solution offers some useful visualization methods by adding further levels of information to the models, allowing us to display and query the data on attribute values and spatial position. Volume quantitative information constitutes an important additional variable to standardize the number of finds and other units' properties, which results in great help in determining the depositional processes of formation of the contexts and in evaluating a differentiation in the use of the space for wide occupation floors.

Future developments in the protocol include the gradual switching towards a programmatic approach in order to reduce the intervention of the archaeologist during the post-processing phase and to speed up the delivering of a ready-to-use documentation.

GIULIO POGGI, FABRIZIO FALCHI,
LUISA RUSSO, MIRKO BUONO

Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali
Università degli Studi di Siena
giulio.poggi@unisi.it, ffalchi20@gmail.com
luisarus87@gmail.com, mbuono92@gmail.com

REFERENCES

BARCELÓ J. 2000, *Visualizing what might be. An introduction to Virtual Reality in archaeology*, in J.A. BARCELO, M. FORTE, D. SANDERS (eds.), *Virtual Reality in Archaeology*, British Archaeological Reports 843, Oxford, Archaeopress, 9-36.

- BERGGREN Å., DELL'UNTO N., FORTE M., HADDOW S., HODDER I., ISSAVI J., TAYLOR J.S. 2015, *Revisiting reflexive archaeology at Çatalhöyük: Integrating digital and 3D technologies at the trowel's edge*, «Antiquity», 89, 344, 433-448 (<https://doi.org/10.15184/aqy.2014.43>).
- BIANCHI G., HODGES R. 2020, *The nEU-Med Project: Vetricella, an Early Medieval Royal Property on Tuscany's Mediterranean*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- CAMPANARO D.M., LANDESCHI G., DELL'UNTO N., LEANDER TOUATI A.M. 2016, *3D GIS for cultural heritage restoration: A 'white box' workflow*, «Journal of Cultural Heritage», 18, 321-332 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.006>).
- CECI M., SANTANGELI VALENZANI R. 2016, *La ceramica nello scavo archeologico. Analisi, quantificazione e interpretazione*, Roma, Carocci Editore.
- DELL'UNTO N., LANDESCHI G., APEL J., POGGI G. 2017, *4D recording at the trowel's edge: Using three-dimensional simulation platforms to support field interpretation*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 12 (<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.03.011>).
- DE REU J., DE SMEDT P., HERREMANS D., VAN MEIRVENNE M., LALOO P., DE CLERCQ W. 2014, *On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice*, «Journal of Archaeological Science», 41, 251-262 (<https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.08.020>).
- FORTE M., DELL'UNTO N., ISSAVI J., ONSUREZ L., LERCARI N. 2012, *3D Archaeology at Çatalhöyük*, «International Journal of Heritage in the Digital Era», 1, 3, 351-378 (<https://doi.org/10.1260/2047-4970.1.3.351>).
- GAVRYUSHKINA M. 2021, *The potential and problems of volumetric 3D modeling in archaeological stratigraphic analysis: A case study from Chlorakas-Palloures, Cyprus*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 21, March, e00184 (<https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00184>).
- KATSIANIS M., KOTSAKIS K., STEFANO F. 2021, *Reconfiguring the 3D excavation archive. Technological shift and data remix in the archaeological project of Paliambela Kolidros, Greece*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 36, March, 102857 (<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102857>).
- KATSIANIS M., TSIPIDIS S., KOTSAKIS K., KOUSSOULAKOU A. 2008, *A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS*, «Journal of Archaeological Science», 35, 3, 655-667 (<https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.06.002>).
- MARASCO L., BRIANO A. 2020, *The stratigraphic sequence at the site of Vetricella (Scarlino, Grosseto). A revised interpretation (8th-13th centuries)*, in BIANCHI, HODGES 2020, 9-22.
- NOBLES G.R., ROOSEVELT C.H. 2021, *Filling the void in archaeological excavations: 2D point clouds to 3D volumes*, «Open Archaeology», 7, 1, 589-614 (<https://doi.org/10.1515/opar-2020-0149>).
- ORENGO H.A. 2013, *Combining terrestrial stereophotogrammetry, DGPS and GIS-based 3D voxel modelling in the volumetric recording of archaeological features*, «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», 76, 49-55 (<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.07.005>).
- ROOSEVELT C.H., COBB P., MOSS E., OLSON B.R., ÜNLÜSOY S. 2015, *Excavation is destruction digitization: Advances in archaeological practice*, «Journal of Field Archaeology», 40, 3, 325-346 (<https://doi.org/10.1179/2042458215Y.0000000004>).
- SAPIRSTEIN P., MURRAY S. 2017, *Establishing best practices for photogrammetric recording during archaeological fieldwork*, «Journal of Field Archaeology», 42, 4, 337-350 (<https://doi.org/10.1080/00934690.2017.1338513>).
- TAYLOR J., DELL'UNTO N. 2021, *Skeuomorphism in digital archaeological practice: A barrier to progress, or a vital cog in the wheels of change?*, «Open Archaeology», 7, 1, 482-498 (<https://doi.org/10.1515/opar-2020-0145>).

ABSTRACT

3D recording methodologies have been successfully integrated into the archaeological fieldwork practice, resulting in a widely accepted series of advantages for the documentation of the excavation. However, post-processing analysis is often neglected and recording protocols do not consider possible developments for exploiting the potential of 3D data. At the excavation of Vetricella, in Italy, the ERC nEU-Med project developed a digital documentation protocol aimed at reconstructing the volumetric physical space occupied by each stratigraphic unit, generating more than a thousand contexts over the course of four archaeological seasons. In this contribution we are going to present how the volumetric approach has influenced the whole methodology of documentation since the recording stage, introducing a standardized workflow aimed at reconstructing solid geometries from 3D surfaces. In this protocol a great attention is paid to the strategies, timings and needs of the fieldwork practice, without overlooking important archaeological aspects such as data accuracy and the chance to generate data for more quick on-field interpretation. The final outcome is a new visualization and analysis of the space with the use of volumetric models, which results in greater accuracy in displaying physical and stratigraphic relationships, as well as generating volumetric quantitative data. In the end, some examples drawn from Vetricella will be employed to show how solid 3D geometries and volumetric quantities can be used in support of the archaeological interpretation of the site.

“FIELD DATA COLLECTION APP” E RICOGNIZIONI ARCHEOLOGICHE: GEOPAPARAZZI

1. INTRODUZIONE

L'uso di device mobili (smartphone, tablet) per la documentazione sul campo non è una novità in archeologia. A partire dagli anni Dieci del nuovo millennio, con la loro sempre maggiore diffusione, sono state sviluppate numerose esperienze, definite attorno ai concetti della “paperless archaeology” (ad es. MOTZ, CARRIER 2014; WALLRODT 2016; PAČLÍKOVÁ, PREUSZ 2017; MORGAN, WRIGHT 2018) e della “mobilisation” della pratica archeologica (ad es. AVERETT, COUNTS, GORDON 2016). Dopo un ulteriore quinquennio, la diffusione, la diminuzione dei costi, il miglioramento delle prestazioni e della qualità delle fotocamere, uniti allo sviluppo di applicazioni open source, hanno reso questi strumenti meno innovativi per la ricerca sul campo, ma più efficaci. Nell'attuale panorama è possibile passare da app basate sull'intelligenza artificiale (ANICHINI *et al.* 2021) a soluzioni che sfruttano app di messaging come Telegram (MALATESTA, ROSATI 2021), solo per citare alcuni casi.

Uno degli ambiti di ricerca in cui l'utilizzo di device mobili risulta più fruttuoso è quello legato alle ricognizioni di superficie. In questa pratica, la possibilità di impiegare sistemi GPS sempre più efficienti, anche in assenza di copertura di rete, e la presenza di powerbank potenti e portatili consentono una precisione di localizzazione adeguata alla scala della cartografia territoriale (1:5.000 o 1:20.000) e un uso continuativo dei device. In questo contributo si descrive l'uso dell'applicazione open source Geopaparazzi all'interno dei progetti “Archeologia di confine” e “Archeologia delle migrazioni contemporanee non documentate”, entrambi condotti dal Laboratorio MAPPA (<https://www.mappalab.eu/archeologia-contemporanea/>) in collaborazione con le cattedre di Metodologia della Ricerca Archeologica, Antropologia Culturale e Ripresa e il Laboratorio Multimediale dell'Università di Pisa. In seno ai progetti, che mirano a indagare la materialità dell'età contemporanea (cfr. *infra* § 4), la app è stata utilizzata in due contesti geografici differenti – quello montano del versante versiliese delle Alpi Apuane (LU) e quello marittimo dell'isola di Lampedusa (AG) – e con due metodologie di ricognizione diverse. In entrambi i casi ci si è trovati a lavorare in condizioni prive di connessione di rete, ma con una buona copertura GPS.

Nelle ricognizioni realizzate sul territorio montano della Versilia, si è lavorato per Unità Topografica (UT), intesa come unità minima spaziale riconoscibile in cui è scomponibile il territorio, secondo un modello di ricognizione “senza siti” (non-site o siteless survey), in cui i manufatti vengono

raccolti per unità di superficie. In questo caso, è stato necessario abbinare alla logica puntiforme del posizionamento quella areale definita dai tracciati corrispondenti alle dimensioni spaziali della UT. Nelle ricognizioni costiere svolte a Lampedusa, pur non abbandonando il modello per UT, ha prevalso una siteless survey, principalmente basata su una ricognizione a “livello di manufatto”, con geolocalizzazione puntuale e schedatura sul campo di ogni singolo oggetto rinvenuto.

2. GEOPAPARAZZI

Geopaparazzi (https://www.geopaparazzi.org/geopaparazzi/index.html#_community) è un'applicazione open source dedicata unicamente a sistemi operativi Android e sviluppata da HydroloGIS s.r.l. con lo scopo di creare uno strumento portatile e facile da utilizzare che permetta la raccolta dei dati sul campo in modo professionale e veloce; destinata a geologi e ingegneri, la app è adatta anche a ricognizioni di diversa natura, come per esempio quelle archeologiche. In particolare, Geopaparazzi rappresenta la “versione leggera di BeeGIS”, un software open source mobile-GIS (DE DONATIS *et al.* 2010; DELUCCHI, ANTONELLO, FRANCESCHI 2012), funziona con il GPS integrato del device mobile e consente di settarne le impostazioni attraverso l'applicazione open source GPSTest (<https://github.com/barbeau/gpstest>). Questa mostra le informazioni in tempo reale relative ai satelliti GNSS (GPS, Galileo, GLONASS, QZSS, BeiDou/COMPASS, IRNSS/NavIC) e SBAS (ad es., GAGAN, Anik F1, Galaxy 15, Inmarsat 3-F2, Inmarsat 4-F3, SES-5) visibili dal device e permette di misurare l'errore di posizione del dispositivo rispetto a quella effettiva.

Nel dettaglio, Geopaparazzi consente di creare progetti; scrivere note, scattare fotografie e disegnare schizzi georeferenziati attraverso una coppia di coordinate con sistema di riferimento WGS 84; acquisire tracciati GPS; visualizzare mappe, anche offline. Essa infatti supporta di default mappe di OpenStreetMap (OSM) che può memorizzare in locale in un MBTiles database; può caricare dati vettoriali SpatiaLite; scaricare i dati in diversi formati come per esempio .kmz, .gpx, .gpap, immagini, .pdf. Geopaparazzi si interfaccia con i software GIS, in particolare con gvSIG (<http://www.gvsig.org/it/web/guest/home-it>).

Tutte le note, le foto, i disegni e i tracciati acquisiti vengono salvati in un file di progetto in formato .gpap al quale può essere associata una serie di metadati, tra cui il nome del progetto, la sua descrizione, le note, il nome dell'autore, il nome dell'ultimo/a compilatore o compilatrice, mentre in automatico vengono inseriti la data e l'ora della creazione associate a un codice identificativo alfanumerico del dispositivo. I progetti permettono una gestione ordinata dei dati; ad esempio, è possibile creare un nuovo progetto per ogni

giorno o partecipante o area di indagine. Il punto di forza di Geopaparazzi è la possibilità di programmare moduli personalizzati per la creazione di note e schede di documentazione complesse e georeferenziate, che rispecchino le esigenze dei ricercatori e delle ricercatrici.

I moduli personalizzati devono essere sviluppati in formato .json seguendo le indicazioni riportate nel manuale fornito dagli sviluppatori dell'applicazione (<https://www.geopaparazzi.org/geopaparazzi/>). Il formato .json è facilmente accessibile e non richiede un'elevata alfabetizzazione informatica, non essendo necessaria una conoscenza approfondita di linguaggi di programmazione (SMITH 2015, 1). Il file .json è composto da una serie di tag che l'applicazione riesce a decifrare, consentendo all'utente di visualizzare correttamente l'interfaccia, compilare moduli personalizzati, scattare fotografie, disegnare, tracciare il percorso GPS. I tag supportati da Geopaparazzi permettono di scegliere il formato del campo, che può essere testuale (testuale con etichetta di vario formato, multistringa), numerico, data, ora, checkbox, a selezione singola o multipla, con vocaboli chiusi.

Oltre a ciò, sono supportati campi con fotografie, disegni a mano libera e screenshot della mappa. Per ogni campo è possibile indicare se sia una chiave primaria e impostare alcuni tipi di vincoli come ad esempio l'obbligo di compilare il campo o il controllo dell'intervallo di un campo numerico. Se necessario, i campi possono essere indicati come nascosti: anche se presenti, non sono visualizzati nell'interfaccia utente. Questa funzione può essere utile per i valori generati in automatico dall'applicazione come la longitudine e la latitudine. I campi possono essere suddivisi in sottosezioni, in modo da rendere il modulo più ordinato. A titolo esemplificativo, all'interno di un modulo dedicato alla schedatura archeologica si può creare una sezione “reperti”, che comprende le sottosezioni “ceramici”, “metallici”, etc. composte da un campo checkbox (presente/assente), un campo “tipologia” di tipo testuale associato a una lista valori a selezione multipla, un campo numerico “numero di frammenti”, e così via.

Per poter visualizzare e utilizzare il modulo all'interno dell'applicazione, una volta completato, il file .json deve essere rinominato con il nome di default “tag.json”, in modo da essere riconosciuto dall'applicazione, e poi importato all'interno della cartella di Geopaparazzi presente sul device mobile.

3. LA CREAZIONE DEI MODULI PERSONALIZZATI: SCHEDA UT, SCHEDA TRACCIA, SCHEDA OGGETTO

La scelta di Geopaparazzi come “field data collection application” per le ricerche da noi condotte sul campo è legata proprio alla sua duttilità nella creazione di moduli personalizzati, che ha reso possibile convertire in formato digitale le schede necessarie per la documentazione. Nello specifico sono state

create, nel corso dei due anni di utilizzo, tre schede: una per la documentazione delle UT (scheda UT); una per la documentazione di generiche tracce del paesaggio antropizzato (scheda Traccia); una per la documentazione dei manufatti di età contemporanea (scheda Oggetto).

3.1 Scheda di Unità Topografica

L'UT (Fig. 1) rappresenta un concetto dai confini flessibili che può essere definito come «l'insieme delle azioni svolte dall'uomo all'interno di una stessa unità di superficie» (GATTIGLIA, STAGNO 2005, 454). Nel concreto, è possibile documentare come UT sia elementi presenti all'interno di uno spazio geografico fisicamente delimitato, ad es. una carbonaia, un cippo, una trincea, sia elementi presenti in un'area circoscritta dal ricercatore o dalla ricercatrice in base alla presenza di attività umane e al rapporto che intercorre tra le stesse. Un casolare, un metato e un muro a secco collocati a pochi metri uno dall'altro possono essere messi in relazione e costituire un'unica UT.

Per la documentazione, la scheda UT (Fig. 2) – illustrata in GATTIGLIA, STAGNO 2005, a cui si rimanda per una descrizione dettagliata, in particolare dei *thesauri* utilizzati – è stata convertita in formato digitale. In sintesi, la scheda contiene una serie di voci relative alla posizione geografica e topografica (*Provincia, Comune, Toponimo, Microtoponimo, Altitudine, Situazione topografica, Altri elementi di localizzazione e Strade d'accesso*), al contesto ambientale (*Materie prime, Litologia, Pedologia, Vegetazione/Usi del suolo*), cui segue una sezione dedicata alla metodologia di ricognizione (*Ricognizione n°, Metodo, N° ricognitori, Equidistanza, Condizioni di visibilità, Data e ora, Condizioni di luce*) e alla descrizione dell'UT (*Definizione, Cronologia iniziale e finale, Dimensioni, Orientamento, Andamento del terreno, Descrizione,*



Fig. 1 – Due esempi di UT. A sinistra, la fotografia di un'area di caccia, composta dalla baracca, dal cartello affisso all'albero e da elementi non visibili nella fotografia come pali innocenti e cassette in legno. A destra, una struttura in pietra e cemento. La struttura, interpretata come rimessa per attrezzi o ricovero per animali e delimitata fisicamente, è stata considerata parte di un'unica UT assieme a un casolare collocato a pochi metri di distanza.

```
328 {
329   "key": "</Metodo/>",
330   "values": {
331     "items": [
332       {
333         "item": ""
334       },
335       {
336         "item": "Intensivo"
337       },
338       {
339         "item": "Estensivo"
340       },
341       {
342         "item": "Shovel test"
343       }
344     ]
345   },
346   "value": "",
347   "type": "string"
348 },
349 {
350   "key": "</N. Ricognitori/>",
351   "value": "",
352   "type": "integer"
353 },
354 {
355   "key": "</Equidistanza/>",
356   "value": "",
357   "type": "integer"
358 },
359 {
360   "key": "</Condizioni di visibilità/>",
361   "value": {
420   {
421     "key": "</Data/>",
422     "value": "",
423     "type": "date"
424   },
425   {
426     "key": "</Ora/>",
427     "value": "",
428     "type": "time"
429   },
430   {
431     "key": "</Condizioni di luce/>",
432     "value": "",
433     "type": "string",
434     "mandatory": "yes"
435   },
436   {
437     "key": "</Definizione/>",
438     "value": "",
439     "type": "string"
440   },
441   {
442     "key": "</Cronologia Iniziale-Finale/>",
443     "values": {
444       "items": [
445         {
446           "item": ""
447         },
448         {
449           "item": "Preistoria"
450         },
451         {
452           "item": "Protostoria"
453         }
454       ]
455     }
456   }
457 }
```

Fig. 2 – Estratto del file tags.json della scheda UT visualizzato in Text Editor.

Stato di conservazione, Grado di Leggibilità, Reperti, suddivisi in maniera analitica secondo la tipologia dei manufatti, *Dati Ambientali*, in cui viene inserita una sintetica descrizione del paesaggio circostante l'UT, *Interpretazione, Prospettive di ricerca e Problemi di tutela*). Nella parte finale della scheda trovano spazio le eventuali *Fonti indirette* e la *Bibliografia consultate*, il *Direttore scientifico* e il *Responsabile Scheda*.

Trovandoci a operare con una pratica sul campo consolidata, ma con uno strumento digitale nuovo, si è scelto di agire secondo i principi della metodologia agile (Manifesto for Agile Software Development: <http://agilemanifesto.org/>). A partire dalla scelta del formato di ogni campo, fino alla posizione dei campi strutturata in base alla sequenza di operazioni da svolgere ordinatamente nella pratica archeologica, la scheda UT sull'applicazione è il risultato di un continuo perfezionamento, avvenuto nel corso dei due anni di utilizzo e determinato dal confronto tra i partecipanti alle ricognizioni, dalle necessità e dalle difficoltà riscontrate sul campo e nella fase di post-processamento dei dati.

Per consentire una più rapida ed efficace esecuzione delle procedure, alcuni campi sono stati impostati come obbligatori. Durante il lavoro di sistematizzazione e rielaborazione del dataset prodotto nella prima campagna di ricognizione in Versilia, è emerso, infatti, che alcuni valori, come per esempio quelli relativi alle condizioni di luce, alle condizioni di visibilità o al nome del responsabile della scheda, risultavano frequentemente incompleti

e, in molti casi, irrecuperabili. Probabilmente, data la necessità di svolgere il lavoro sul campo rapidamente, il compilatore o la compilatrice sembravano attribuire maggiore importanza alla descrizione e all'interpretazione dell'UT rispetto ad alcuni dati considerati complementari.

Nelle campagne successive, dove possibile, sono stati inseriti campi con valore preimpostato (ad es. la "Provincia" o il "numero di ricognizione") e campi a selezione singola o multipla con valori preimpostati (ad es., il campo "pedologia"; il campo "cronologia iniziale/finale", che può essere compilato scegliendo uno o più valori tra "preistoria", "protostoria", "periodo etrusco", "periodo ligure", "periodo romano repubblicano", "periodo romano imperiale", "alto medioevo", "basso medioevo", "età moderna", "età contemporanea", "età subcontemporanea", "età subattuale", "età attuale"). In genere, si seleziona un valore cronologico per indicare il termine *post quem* dell'UT e un valore cronologico posteriore al primo per indicarne il termine *ante quem*. La possibilità di allegare immagini scattate direttamente con il device è stata sfruttata inserendo un campo "foto" utilizzato per acquisire lo schizzo cartaceo eseguito sul campo e almeno un'immagine di riferimento dell'UT. La documentazione fotografica completa da affiancare a quella realizzata con Geopaparazzi è stata, invece, effettuata con una fotocamera reflex digitale e riagganciata all'UT in fase di post-processamento dei dati.

3.2 Scheda Traccia

Oltre alla scheda UT è stato creato un sistema di schedatura breve, che consente una documentazione rapida del dato (Fig. 3). La scheda Traccia comprende i campi "definizione" e "foto", oltre a quelli compilati automaticamente dall'applicazione tra cui "data", "ora" e "coordinate". In questo caso, l'unica documentazione fotografica è quella effettuata tramite l'applicazione.

3.3 Scheda Oggetto

La scheda Oggetto è stata specificatamente creata per le ricognizioni realizzate a Lampedusa e legate al progetto di "Archeologia delle migrazioni contemporanee non documentate" (<https://www.mappalab.eu/archeologia-delle-migrazioni-contemporanee-non-documentate/>). La scheda è nata dall'analisi dei risultati della prima ricognizione svolta nell'ottobre 2020, dove la scheda UT era risultata inadeguata a documentare il tipo e la quantità di tracce materiali presenti lungo le coste lampedusane, evidenziando come alcuni campi, non solo non fossero essenziali o compilabili, ma allungassero inutilmente i tempi di lavoro sul campo. Essendo le schede ministeriali non pensate specificatamente per descrivere come reperti archeologici oggetti legati al passato più prossimo o al presente, è stato necessario costruire una scheda mirata. La scheda Oggetto, quindi, risponde alla necessità di avere uno strumento che consenta il rapido censimento degli oggetti contemporanei

(generalmente di tipologia meno usuale per gli archeologi, come ad es. contenitori plastici, confezioni alimentari, indumenti, etc.), registrandone la posizione e le informazioni ritenute archeologicamente essenziali, per comprenderne le dinamiche deposizionali e le associazioni di contesto.

La scheda Oggetto rappresenta un buon compromesso tra velocità di compilazione e accuratezza nella registrazione del dato soprattutto laddove l'elevata quantità di materiali presenti risulta un fattore determinante. La scheda è composta da campi in prevalenza obbligatori e organizzati in modo da rendere la descrizione dei reperti schematica e omogenea (Fig. 4). La descrizione fisica dell'oggetto è stata suddivisa in più sezioni con vocabolari chiusi, dando particolare importanza alla registrazione di elementi come quelli riferibili alle informazioni merceologiche, la presenza e la trascrizione



Fig. 3 – Screenshot della schermata di Geopaparazzi aperta su una Traccia. La Traccia è organizzata in un'unica sezione suddivisa in sei campi.

Foto sul campo	 <p>IMG_20211124_134625.jpg</p>
Definizione Oggetto	Felpe da bambino
Posizione	Raggiungibile
Luogo di ritrovamento	Spiaggia
Luogo di ritrovamento se non presente nell'elenco	
Condizioni meteorologiche	Soleggiato
Visibilità	Scarsa
Contesto di ritrovamento	Isolato
Contesto di ritrovamento se non presente nell'elenco	
Stato di conservazione	Integro
Dimensioni	45x63 cm
Colore	Bianco, Blu, Arancione
Superficie	Liscia
Materiali	Fibre
Tipologia	Capo di vestiario
Presenza marchi	Sì
Posizione marchio	Sul petto a sinistra, etichetta
Leggibilità marchio	

Fig. 4 – Estratto della scheda Oggetto in formato .pdf di una felpe da bambino documentata sulla spiaggia presso Cala Pisana (Lampedusa).

di marchi o altre scritte, lasciando al campo “descrizione”, impostato come testo libero, solo la caratterizzazione di elementi particolari.

Anche la rappresentazione del contesto di ritrovamento è stata scorporata in più voci per standardizzare maggiormente la categorizzazione e velocizzare la registrazione. Nel caso di contesti articolati, quali accumuli o dispersioni, è stato scelto di attribuire anche un numero di UT, associata a una o più schede Oggetto e richiamata con un campo numerico all’interno di quest’ultima. Appurata l’impossibilità di poter prelevare ogni reperto, particolare attenzione è stata data alla documentazione fotografica, effettuata direttamente con l’applicazione, sfruttando l’elevata qualità delle fotocamere installate sui device mobili. In più campi è stato previsto l’inserimento di fotografie che potessero rappresentare sia l’interezza dell’oggetto, sia i dettagli caratterizzanti.

Lo strumento è stato utilizzato anche per la schedatura di oggetti prelevati dal contesto originario e analizzati successivamente in laboratorio. In questi casi è stata esclusa la funzione GPS, inserendo manualmente le coordinate del luogo di ritrovamento. Tutti i campi della scheda con le loro specifiche sono stati pubblicati nella documentazione allegata ai moduli rilasciati sul repository GitHub del Laboratorio MAPPA (<https://github.com/mappaLab>).

4. L'UTILIZZO SUL CAMPO

Come premesso, l'applicazione e i suoi moduli personalizzati sono stati testati in due ambiti diversi: in Versilia, nel corso di tre campagne di ricognizione (ottobre-novembre 2020, maggio-giugno 2021, ottobre-novembre 2021), e a Lampedusa (Provincia di Agrigento) nel corso di una ricognizione nel mese di novembre 2021, per un totale di 8 settimane di lavoro. I due contesti sono differenti sia dal punto di vista geografico e ambientale, sia dal punto di vista della tipologia dei dati raccolti. Per quanto riguarda la Versilia, le ricognizioni sono state effettuate principalmente nei comuni di Camaiore, Seravezza e Stazzema (Provincia di Lucca) e, in particolare, sulle aree di media montagna caratterizzate dalle quote comprese tra 600 e 1300 m, attraverso un modello di ricognizione per UT, che ha portato a documentare elementi del paesaggio antropizzato nella lunga diacronia compresa tra la protostoria e il presente, con una maggioranza di tracce di età moderna e contemporanea (carbonaie, casolari, trincee, appostamenti, marginette, etc.).

Per quanto riguarda Lampedusa, si è trattato di ricognizioni svolte lungo spiagge sabbiose, scogliere rocciose, altipiani brulli e in contesto urbanizzato, che hanno registrato principalmente oggetti, nella forma di dispersioni o accumuli, e rari contesti riconducibili a UT. Le ricognizioni si inseriscono in due progetti di ricerca. Il primo, legato all'area montana della Versilia, è volto a indagare la cosiddetta “montagna di mezzo”, intesa come luogo poliedrico e polisemico, caratterizzato dal suo essere né propriamente collinare, né di alta quota, visto come il risultato di una successione di abbandoni che ne hanno censito la marginalità economico-sociale. L'obiettivo delle ricognizioni di superficie è stato la raccolta diacronica dei dati archeologici, con una particolare attenzione per le tracce comprese tra l'età ellenistica e la tarda antichità, che risultano ancora carenti ai fini della ricostruzione storica, e per quelle di età contemporanea per le quali la documentazione archeologica è quasi inesistente. Particolare attenzione si è inoltre posta nello studio del confine nazifascista della Linea Gotica, inteso non solo come serie di marcatori di carattere militare, ma più estesamente nella sua accezione di “paesaggio sociale” che, tra il 1944 e il 1945, è stato teatro di una convivenza forzata tra soldati, civili e partigiani, le cui tracce tangibili intrecciano i resti di bunker, trincee di appostamento, strutture di controllo, con rovine di insediamenti,

strutture produttive legate all'economia degli alpeggi, rifugi e nascondigli, fino a giungere ai memoriali del dopoguerra.

Il secondo progetto, è invece volto a registrare le tracce materiali del fenomeno migratorio leggibili sull'isola di Lampedusa, con l'obiettivo di indagarne le diverse manifestazioni tipologiche e spaziali, le relazioni all'interno dei vari contesti e con chi le ha prodotte, il rapporto con l'isola, i suoi abitanti e le più ampie dinamiche politiche ed economiche che si intrecciano nel Mediterraneo centrale. Le ricognizioni a Lampedusa hanno così documentato e localizzato oggetti personali, natanti, oggetti legati al viaggio, elementi connessi con la definizione di confini e barriere interne ed esterne all'isola, aree di sepoltura, etc. Entrambi i progetti sono tuttora in corso.

Nella campagna di ricognizione svolta in Versilia nel 2021 sono stati utilizzati un massimo di due smartphone (un Samsung S9 e un Huawei p smart 2019 dotati di accesso alla posizione del dispositivo), mentre a Lampedusa sono stati utilizzati sistematicamente cinque smartphone (due Samsung S9, un Huawei p smart 2019, uno Xiaomi mi10 lite, un POCO x3 pro). Nelle prime due ricognizioni in Versilia (autunno 2020, primavera 2021) il numero di dispositivi adoperati è stato variabile.

Non potendo lavorare su un progetto condiviso (sia per questioni di connessione, sia perché Geopaparazzi non lo consente in maniera diretta, ma solo attraverso applicazioni terze che obbligano a procedure complesse), si è scelto di operare attraverso una routine quotidiana che prevedesse la creazione di un progetto nominato con le iniziali dell'operatore o operatrice e la data, in modo che all'interno di ogni progetto, su ogni singolo device, venissero salvate le schede georeferenziate. Infine, per ogni squadra di ricognizione, il tracciamento dei percorsi era attivato su un solo device. Essendo questa una funzione energivora, perché per ottenere un'elevata precisione è necessario lasciare il device con lo schermo sempre acceso sull'applicazione e la geolocalizzazione attivata, una dotazione di powerbank è stata essenziale. In particolare, sono stati utilizzati un powerbank ANKER PowerCore da 20W con una capacità di 20.000 mAh in grado di ricaricare completamente fino a 5 smartphone a elevate prestazioni e un Cellularline FreePower Slim da 5000 mAh.

Oltre ai singoli tracciati relativi ai percorsi effettuati, necessari a documentare le aree effettivamente ricognite, è stata rilevata l'estensione spaziale di ogni UT attivando la funzione tracciato su ogni device e percorrendo a piedi il limite dell'UT stessa. In questo modo, a ogni grafo puntiforme legato alla coppia di coordinate della singola scheda è stato associato un grafo lineare che in fase di post processamento potesse essere trasformato in un poligono in ambiente GIS. In tutte le campagne, nel lavoro post-ricognizione, sono stati utilizzati due computer: uno per l'importazione dei dati in GIS (in questo caso QGIS 3.4 e gvSIG 2.5.1), l'altro per la pulizia dei dati raccolti e la produzione di un file .csv.

I dati sono stati esportati dall’applicazione in tre formati differenti: .gpap, usato per l’importazione dei dati su QGIS; .kmz, file compresso .zip, che contiene un file .kml facile da convertire in un file di testo; .pdf, importante perché consente di verificare il dato originale. Il download dei dati e il loro backup sono stati effettuati quotidianamente al termine dell’attività sul campo.

La conversione del file .kml in un file di testo (.csv), usufruibile per la creazione di un database, può essere eseguita utilizzando dei software online o desktop, come, per esempio, KML To CSV Converter Software (<https://www.sobolsoft.com/convertkmlcsv/>). Grazie a questi strumenti è possibile ottenere un file di testo in modo automatico e veloce, apportando successivamente una pulizia minima dei dati. In alternativa è possibile effettuare la conversione e la pulitura del file .kml tramite un editor di testo. Per questa procedura occorre un tempo maggiore rispetto al metodo automatico, ma essa non richiede conoscenze di programmi particolari;

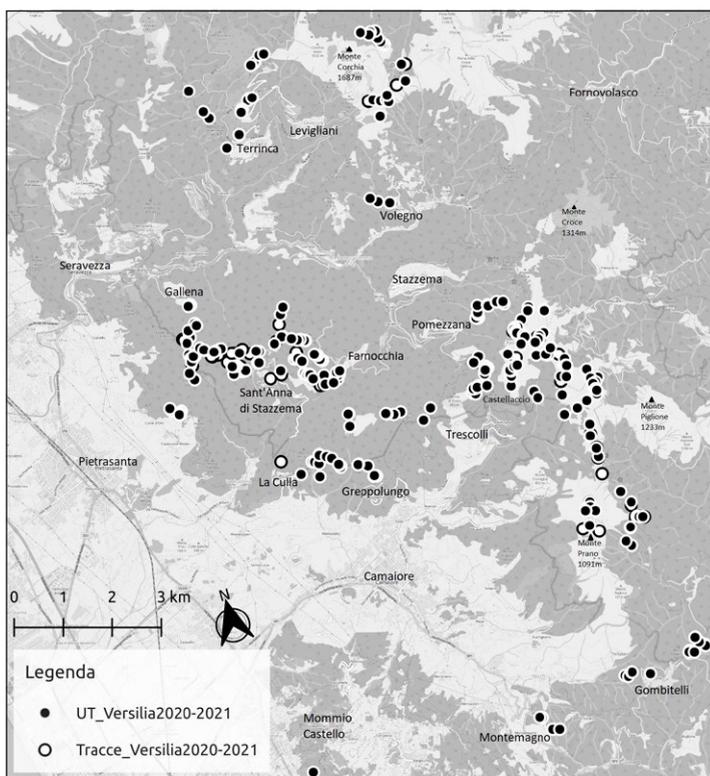


Fig. 5 – Geolocalizzazione delle UT (in nero) e delle Tracce (in bianco), documentate in Versilia negli anni 2020-2021.

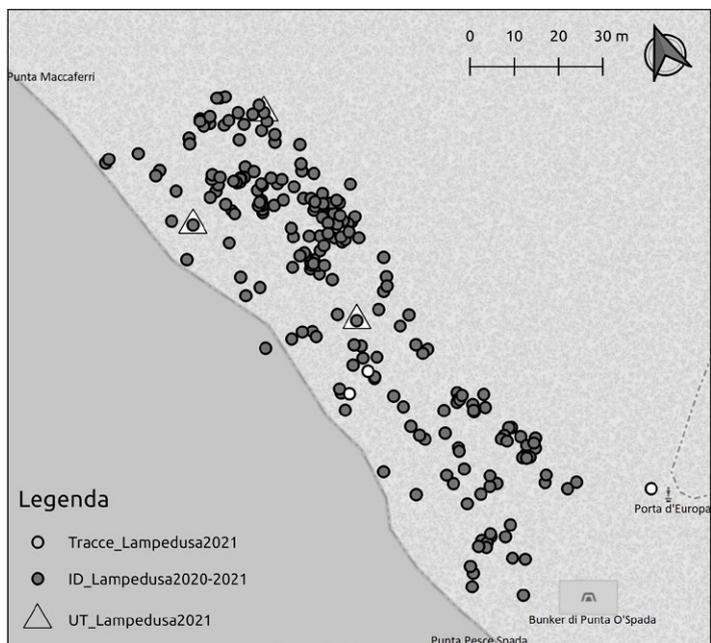


Fig. 6 – Geolocalizzazione degli oggetti (ID, in nero), delle UT – rappresentate in forma simbolica (triangolo), e non nella loro reale estensione per permetterne la visualizzazione – e delle Tracce (in bianco), documentati nella scogliera tra Punta Maccaferri e Punta Pesce Spada (Lampedusa). In un’area di circa 140 m sono stati documentati 220 oggetti. La traccia collocata più a SO dell’immagine rappresenta la Porta d’Europa. I ricognitori e le ricognitrici hanno lavorato mantenendo un’equidistanza di circa 3 m.

l’utente ha così più controllo sui dati e può apportare modifiche al contenuto dove necessario già in fase di formazione del file di testo. La pulitura consiste nell’eliminazione delle informazioni di stile tipiche di un file .kml. In questo caso è stato utilizzato l’editor di testo Sublime Text 3 (<https://www.sublimetext.com/>), in particolare la funzione “trova e sostituisci” (con la possibilità di usare anche le espressioni regolari).

5. RISULTATI

Le campagne in Versilia sono state svolte in un totale di 24 giorni effettivi di ricognizione distribuiti su 7 settimane, con la partecipazione di 22 persone tra docenti, dottorandi, studenti e studentesse di Archeologia, Storia e Scienze dei Beni Culturali dell’Università di Pisa per un totale di 150 km di percorsi ricogniti. Il lavoro è stato realizzato da squadre di 4 persone, ripartite sulle diverse mansioni di documentazione delle UT: compilazione della scheda UT,

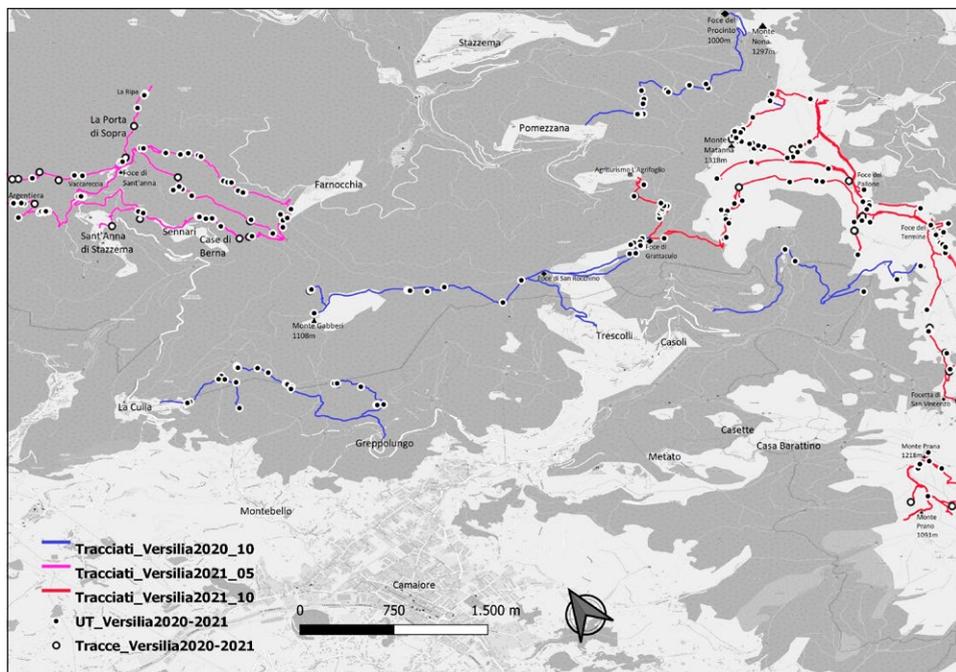


Fig. 7 – Tracciati dei percorsi GPS durante le ricognizioni in Versilia 2020-2021.

realizzazione della documentazione grafica e di quella fotografica. A Lampedusa la app è stata testata nel corso di una campagna di ricognizione di 7 giorni con un team di 6 persone.

Grazie al metodo descritto, sono state documentate sul campo, direttamente in formato digitale, 328 UT e 55 tracce nel corso delle tre campagne in Versilia (Fig. 5) e più di 700 oggetti, 11 UT e 15 tracce a Lampedusa (Fig. 6). Al termine del processamento dei dati, è stato possibile ottenere un database completo di tutti gli elementi schedati (UT, Tracce, Oggetti) partendo dal file .csv e un progetto GIS comprensivo di un file puntuale con il posizionamento delle UT, un file lineare con il tracciato delle aree ricognite, un file poligonale con la descrizione spaziale delle UT, utilizzando i dati vettoriali prodotti dalla app. Nel corso delle varie campagne, il tracciamento dei percorsi GPS (Fig. 7) è progressivamente migliorato, risultando sempre più accurato e aderente ai percorsi effettuati.

Nell'area versiliese, la raccolta dati ha permesso l'immediata comprensione della disposizione spaziale delle tracce archeologiche evidenziando, in particolare per l'età contemporanea, l'intricato groviglio di link relazionali tra le tracce che rimandano all'economia montana e quelle che

definiscono la struttura insediativa del sistema degli alpeggi. Più nello specifico, la sovrapposizione a questo complesso sistema economico, sociale e insediativo degli elementi riconducibili alle strutture militari della Linea Gotica visualizza la profonda cicatrice prodotta dalla guerra in quest'area e sembra definirsi come fattore determinante per il definitivo spopolamento della "montagna di mezzo" che, attraverso vari processi di risignificazione, appare oggi solo come complementare al palinsesto ambientale, in una dinamica di parziale rifrequentazione principalmente a carattere non produttivo.

Riflessioni diverse emergono, invece, dai dati raccolti a Lampedusa dove è stato privilegiato lo sguardo nei confronti degli oggetti come elementi narranti. Diversamente da quanto accade per una traccia già storicizzata, la messa a sistema dei dati raccolti ha permesso di ottenere una "fotografia" di un presente contingentato, la contestualizzazione di ogni oggetto e delle sue relazioni in un determinato momento. Senza l'utilizzo di uno strumento tanto efficace per rapidità di registrazione delle informazioni, quanto preciso per localizzazione, non sarebbe stato possibile registrare contesti di natura estremamente mutevole come quelli che il mare e i venti che battono l'isola concorrono quotidianamente a creare e trasformare. La schedatura degli oggetti, così come l'analisi delle loro relazioni nei diversi contesti analizzati, sta permettendo (il lavoro è ancora in corso) di aggiungere alla lettura di un fenomeno particolarmente complesso, quale quello delle migrazioni non documentate lungo il corridoio del Mediterraneo centrale, il contributo dell'archeologia, attraverso uno studio puntuale delle relazioni che intercorrono nei vari contesti materiali e che, sincronicamente per spazio e tempo, si intrecciano con i diversi fenomeni sociali che concorrono a scrivere la storia dell'isola.

6. DISCUSSIONE E PROSPETTIVE

Dopo quasi due anni di utilizzo sul campo è possibile fare alcune considerazioni. In primo luogo, l'utilizzo di Geopaparazzi (e in generale delle applicazioni "field data collection") nelle ricognizioni archeologiche rappresenta una risorsa significativa che apporta un risparmio di tempo durante l'attività di documentazione sul campo, ma soprattutto nel lavoro post-ricognizione. I dati, infatti, si presentano già in formato digitale, pronti per essere puliti e riorganizzati riducendo errori di battitura (anche grazie all'utilizzo di sistemi di dettatura offerti da Google nella compilazione dei campi a testo libero, laddove la connessione dati lo permette) e annullando quelli di trascrizione. L'immediato legame tra la parte testuale e la documentazione fotografica, come ad esempio nella scheda Oggetto, rappresenta un ulteriore vantaggio. La precisione nel posizionamento GPS risulta elevata, anche in situazioni come quelle montane caratterizzate da una cospicua copertura vegetazionale.

Il confronto tra i tracciati effettuati lungo i sentieri e gli stessi sentieri cartografati su OSM dimostra una sovrapposizione pressoché totale. Allo stesso modo, i tracciati di alcune UT, come quelle riferibili a casolari o a edifici presenti nella cartografia CTR, presentano generalmente scarti inferiori a 1 m. Un livello di errore sicuramente più che accettabile per il tipo di indagine e per la scala spaziale di riferimento (quale ad es. un intero comprensorio montano). Alcune accortezze legate al posizionamento, come il controllo della copertura satellitare e la permanenza in una stessa posizione durante le operazioni di schedatura, migliorano l'accuratezza del dato.

Un secondo punto di forza evidenziato è legato al fatto che i software necessari per tutto il procedimento, dalla raccolta del dato alla pulitura della documentazione, risultano intuitivi, pur richiedendo uno sforzo maggiore e un livello minimo di alfabetizzazione digitale rispetto alla trascrizione delle tradizionali schede cartacee.

Infine, i risultati raggiunti sono il frutto di un work in progress, di un continuo lavoro di équipe, di riflessioni e verifiche giornaliere rese possibili dall'estrema semplicità nella creazione di moduli personalizzati in formato .json che, a sua volta, permette una continua iterazione di processi di creazione, test, modifiche, tipica della metodologia agile. Diversamente da sistemi più rigidi, l'implementazione dei moduli è un'operazione semplice e veloce, che non compromette la struttura dei dati. Questo approccio risulta estremamente utile in archeologia dove, a fronte di una pianificazione preventiva della struttura dei dati da raccogliere, l'estrema varietà delle emergenze da documentare rende necessarie continue implementazioni. La rapidità con cui è possibile modificare i moduli rappresenta, inoltre, un ulteriore valore aggiunto che aumenta l'operatività sul terreno, ad esempio, predisponendo campi precompilati come quelli legati alla localizzazione (comune, provincia, anno, responsabile del progetto) a seconda delle esigenze.

Di fronte a un'esperienza complessivamente positiva, non si possono tralasciare alcune problematiche. Nel corso delle ricognizioni a Lampedusa, per esempio, sono emerse difficoltà nell'apertura e visualizzazione del contenuto dei file .kml e .gpap. L'estrema duttilità di Geopaparazzi nel gestire ed esportare in formati diversi, ha comunque permesso di estrarre i dati dal file .pdf generato dall'applicazione, pur in assenza di competenze informatiche elevate per comprendere l'origine del problema. Tra i tanti sistemi per convertire i file .pdf in .csv, sono stati testati il software Tabula (<https://tabula.technology/>) e un metodo manuale che è consistito nel copiare e incollare l'intero documento su Sublime Text 3 eliminando con la funzione “trova e sostituisci” il testo non necessario. Data l'impaginazione e la presenza di più file .pdf, il secondo metodo è risultato quello più veloce. Nonostante la difficoltà, il procedimento di conversione di 5 file (circa 185 oggetti e 1 UT) ha richiesto il lavoro di una sola persona per 3 ore, meno di quanto avrebbe

richiesto l'operazione di trascrizione da documentazione cartacea. In casi come questo, il .pdf rappresenta il mezzo principale dal quale attingere per recuperare i dati salvati. È inoltre emerso che, in assenza di un progetto condiviso da tutti i partecipanti, sarebbe auspicabile ridurre al minimo il numero di dispositivi in modo da rendere meno dispersiva l'esportazione e la rielaborazione dei dati. La differenza nel numero di device utilizzati è legata alle necessità operative: nelle ricognizioni in Versilia era sufficiente un device per ogni squadra (in media un device ogni 3 o 4 persone), mentre nelle ricognizioni a Lampedusa, data la densità delle tracce e l'elevato numero di oggetti da documentare, era necessario un device per ogni operatore.

Un secondo elemento critico legato all'utilizzo di dispositivi mobili in ricognizione è il consumo della batteria, soprattutto a causa dell'attivazione della geolocalizzazione per diverse ore consecutive. Tuttavia, la durata della batteria degli smartphone di ultima generazione permette un uso continuativo per quasi un'intera giornata di lavoro, a cui si aggiunge l'ausilio dei powerbank. Per fare un esempio concreto, durante le ricognizioni in Versilia la carica di uno smartphone Huawei p smart 2019, con tracciamento GPS attivo per l'intera giornata lavorativa (circa 8 ore), è stata in grado di durare per il tempo necessario con l'utilizzo di quasi metà dell'energia fornita da un powerbank Cellularline FreePower Slim 5000 mAh completamente carico. Per le ricognizioni a Lampedusa, il tracciamento GPS non è stato necessario, ma, data l'elevata presenza di elementi da documentare, l'uso del powerbank è stato comunque fondamentale. Considerata la possibilità di usufruire delle funzioni dell'applicazione Geopaparazzi anche offline, è possibile disattivare la connessione dati per ottimizzare la durata della batteria. Tuttavia, in questo caso non sarà possibile utilizzare il GPS assistito (A-GPS) per il quale occorre avere una connessione Internet attiva.

Le scelte di strutturazione informatica del dato hanno sempre una valenza metodologica sulla pratica archeologica sul campo. Da questo punto di vista, la presenza della scheda Traccia ha comportato un certo grado di discrezionalità nel suo utilizzo, soprattutto nella prima campagna di ricognizione, quando per motivi di tempo o perché l'elemento era già noto in altre fonti (ad es. sulla CTR), si è deciso di evitare la compilazione della scheda UT. In generale, però, questo sistema di documentazione rapido è stato utile nei casi in cui si è reso necessario segnalare la presenza di un'evidenza "minima" come ad esempio lapidi, cippi di confine, incisioni lungo i sentieri, ma anche per segnalare, seppur preliminarmente, elementi "maggiori" come casolari o miniere che non era possibile indagare dettagliatamente perché illeggibili a causa della vegetazione troppo fitta o irraggiungibili in quanto pericolanti per l'avanzato stato di abbandono. Documentare in modo meno approfondito non significa, infatti, attribuire una minore importanza, ma ottimizzare le proprie risorse, segnalando comunque la presenza di un dato per un successivo intervento.

essere installata anche su dispositivi iOS e prevede una serie di funzioni che non sono presenti sull'applicazione precedente, come la possibilità di accedere alle informazioni del tracciato GPS, scaricare i dati in formato geopackage e visualizzare shapefile. Anche se è possibile continuare a utilizzare Geopaparazzi, SMASH, che è attualmente in sviluppo, offre una migliore funzionalità. Questo consentirà di impiegare i moduli realizzati anche su SMASH, evidenziando una volta in più l'importanza di adottare e sviluppare software open source. I moduli stessi, pubblicati in maniera aperta sul GitHub del laboratorio MAPPA (<https://github.com/mappaLab>), potranno essere facilmente riutilizzati.

Considerato che durante il lavoro post-ricognizione si utilizzano i software QGIS e gvSIG desktop, un ulteriore sviluppo potrebbe essere quello di avvalersi di QField (<https://qfield.org/>) o gvSIG Mobile (<http://www.gvsig.com/it/prodotti/gvsig-mobile>), applicazioni per dispositivi mobili rilasciate dagli stessi sviluppatori dei software desktop che facilitano l'operazione di esportazione dei dati senza necessità di scaricare ulteriori programmi. Finora, abbiamo deciso di concentrarci sull'uso di Geopaparazzi in quanto permette di creare moduli personalizzati e intuitivi in tempi brevi (circa 4 ore per i moduli più complessi) e anche perché, generando file .gpap, sono assenti limiti di caratteri per i campi testuali, a differenza per esempio di QField in cui il formato shapefile ha una limitazione di 254 caratteri per campo. Tuttavia, QField e gvSIG offrono prestazioni migliori da un punto di vista dell'organizzazione, analisi e visualizzazione dei dati spaziali. Sarebbe interessante integrare sul campo i diversi sistemi di documentazione disponibili, come sperimentato con risultati soddisfacenti in ambito turistico (TROJAN, GRAMA, CHRASTINA 2019), in modo da ottenere risultati più precisi e accurati sia da un punto di vista della documentazione relativa alla descrizione del dato, sia a quella relativa alla sua collocazione nello spazio.

Durante la documentazione di un'UT, momento che richiede al tempo stesso velocità e qualità per poter adoperare diverse applicazioni contemporaneamente e in modo corretto, è necessaria la presenza di almeno un dispositivo e una persona responsabile per ciascuna applicazione utilizzata. Oltre che per motivi logistici (se ognuno sa qual è il proprio compito fin dall'inizio della giornata, nessuna azione necessaria alla documentazione viene dimenticata), i dispositivi mobili possono avere differenti margini di errore della posizione GPS: uno stesso punto rilevato da due smartphone potrebbe avere coordinate simili, ma non uguali tra loro. Utilizzando un solo dispositivo per ogni applicazione è possibile conoscere ed eventualmente correggere l'errore sistematico dell'intero dataset documentato. Per un maggiore ordine del dato e una maggiore semplicità di elaborazione, sarebbe auspicabile dedicare un device esclusivamente al tracciato del percorso GPS e altri alla documentazione e alla rilevazione del perimetro delle UT.

In conclusione, nonostante la necessità di disporre di una quantità sufficiente di device mobili, la sinergia di diverse applicazioni (GUARINO, ROSATI 2021) permetterebbe di ottenere una maggiore qualità nella documentazione del dato, renderebbe più veloce la schedatura, aumenterebbe la quantità dei dati raccolti e ridurrebbe i tempi di rielaborazione post-ricognizione. Uno degli aspetti fondamentali dei software open source come Geopaparazzi, SMASH, QField e gvSIG è proprio l'elevata interoperabilità tra le diverse applicazioni che consente così un uso versatile e flessibile delle funzioni disponibili.

ELISA PAPERINI

Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere, Università di Pisa
eli.paperini@gmail.com

FRANCESCA ANICHINI, GABRIELE GATTIGLIA

MAPP Lab, Università di Pisa
francesca.anichini@unipi.it, gabriele.gattiglia@unipi.it

Ringraziamenti

Elisa Paperini ha curato l'organizzazione generale dell'articolo, la stesura della bozza e la realizzazione dei moduli .json; Gabriele Gattiglia ha curato l'introduzione, il paragrafo finale Discussione e prospettive assieme a Elisa Paperini e si è occupato di una revisione complessiva, assieme a Francesca Anichini, che ha inoltre curato con Elisa Paperini la strutturazione della scheda Oggetto. Un ringraziamento va a tutti coloro che hanno partecipato alle ricognizioni sul campo e in particolare a Raffaele Voccia che si è occupato della gestione dei dati GIS e a Chiara Giovannetti che si è occupata della documentazione fotografica.

BIBLIOGRAFIA

- ANICHINI F., DERSHOWITZ N., DUBBINI N., GATTIGLIA G., ITKIN B., WOLF L. 2021, *The automatic recognition of ceramics from only one photo: The ArchAIDE app*, «Journal of Archaeological Science: Report», 35, 102788 (<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102788>).
- AVERETT E.W., COUNTS D., GORDON J. 2016, *Mobilizing the Past for a Digital Future: The Potential of Digital Archaeology*, Grand Forks, The Digital Press at The University of North Dakota.
- DE DONATIS M., ANTONELLO A., LANTERI L., SUSINI S., FOI M. 2010, *BeeGIS: A new open source and multiplatform mobile GIS*, in D.R. SOLLER (ed.), *Digital Mapping Techniques '09-Workshop Proceedings (Morgantown, West Virginia, 2009)*, Reston, U.S. Geological Survey, 241-246.
- DELUCCHI L., ANTONELLO A., FRANCESCHI S. 2012, *State of the art of Geopaparazzi*, in *XIII Meeting GRASS e GFOSS (Trieste 2012)* (<https://grass-italia.comopolimi.it/meeting2017/17antonello.pdf>; <http://hdl.handle.net/10449/21209>).
- GATTIGLIA G., STAGNO A.M. 2005, *La documentazione scritta nella ricognizione archeologica sul territorio: un "vecchio" sistema di schedatura*, «Archeologia Medievale», 32, 453-459.
- GUARINO G., ROSATI P. 2021, *QField, PyArchInit and Bradypus, interchange of protocols and workflows for academic research*, «Archeomatica», 13, 3, 14-15.

- MALATESTA S.G., ROSATI P. 2021, *ArcheoBot experimental tools for archaeology and cultural heritage*, «Environmental Sciences Proceedings», 10, 1, 8 (<https://doi.org/10.3390/environsciproc2021010008>).
- MONTAGNETTI R., GUARINO G. 2021, *From QGIS to QField and vice versa: How the new android application is facilitating the work of the archaeologist in the field*, «Environmental Sciences Proceedings», 10, 1, 6 (<https://doi.org/10.3390/environsciproc2021010006>).
- MORGAN C., WRIGHT H. 2018, *Pencils and pixels: Drawing and digital media in archaeological field recording*, «Journal of Field Archaeology», 43, 2, 136-151.
- MOTZ C.F., CARRIER S.C. 2014, *Paperless recording at the Sangro Valley project*, in G. EARL, T. SLY, A. CHRYSANTHI, P. MURRIETA-FLORES, C. PAPADOPOULOS, I. ROMANOWSKA, D. WHEATLEY (eds.), *Archaeology in the Digital Era. CAA 2012. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 40th Conference (Southampton 2012)*, Amsterdam, Amsterdam University Press, 25-30.
- PAČLÍKOVÁ K., PREUSZ M. 2017, *Paperless archaeology on Castrum Novum*, «Museum: Museum & Regional Studies», 5, 2.
- SMITH B. 2015, *Beginning JSON*, New York, Apress.
- TROJAN J., GRAMA V., CHRISTINA P. 2019, *Mapping of sustainable tourism in Romanian cities in the field. The synergy of using QField and QGIS in situ*, «Journal of Tourism, Hospitality and Commerce», 10, 2, 52-58.
- WALLRODT J. 2016, 1.1. *why paperless: Technology and changes in archaeological practice, 1996-2016*, in E.W. AVERETT, D. COUNTS, J. GORDON (eds.), *Mobilizing the Past for a Digital Future: The Potential of Digital Archaeology*, Grand Forks, The Digital Press at The University of North Dakota, 33-50.

ABSTRACT

This paper aims to demonstrate how field data collection applications can represent a good resource in archaeological surveys. As an alternative to the classic paper documentation, using a smartphone application saves time both during the survey (automatic geolocation, GPS tracking) and in the post-processing (easier data import in a computer software, reduction of typo-errors and prevention of transcription errors). The focus of this paper is Geopaparazzi, an open source application for Android that allows customized and easy collection of field data by using a smartphone; collected data are ready to be processed by computer software like GIS. Geopaparazzi 6.1.0 was tested in four archaeological survey campaigns, three in Versilia (Italy, Tuscany) and one in Lampedusa (Italy, Sicily). The two environments are profoundly different: Versilia is a mountain landscape, and Lampedusa is a small island. Moreover, the data collected are different but these differences helped to understand how adaptable the application can be.

ARCHEOLOGIA FUNERARIA E TECNOLOGIE DIGITALI: LA TOMBA DEL PRINCIPE DI CORINALDO DALLA DOCUMENTAZIONE ALLA FRUIZIONE

1. PREMESSA

A breve distanza di tempo dalla scoperta della necropoli picena e romana di contrada Nevola a Corinaldo (Ancona) (BOSCHI 2020a; BOSCHI *et al.* 2020) proseguono le ricerche del progetto ArcheoNevola dell'Università di Bologna, all'insegna della valutazione archeologica preventiva e della documentazione digitale del sito¹.

Identificata con sistemi di prospezione non invasiva, gli scavi ne suggeriscono una fase originaria picena (seconda metà del VII sec. a.C.) e una più tarda frequentazione in età romana medio-imperiale (II-IV sec. d.C.). Il nucleo funerario piceno si compone di monumenti delimitati da fossati circolari, in antico coperti da calotte terrose. L'esplorazione del circolo maggiore (30 m di diametro), centrale rispetto al complesso dei monumenti descritti dalle indagini geofisiche, ha restituito la fossa-corredo celebrativa di un personaggio di indubbio lignaggio aristocratico (BOSCHI *et al.* 2020) su cui si sono concentrate le prime applicazioni di rilievo digitale di seguito esposte.

Il continuo confronto tra i risultati delle tecniche di remote sensing e il campione dell'area sottoposta a verifica stratigrafica sta favorendo la comprensione reciproca dei dati (BOSCHI 2020c), oltremodo coadiuvata dall'adozione di una piattaforma GIS per la raccolta, la disamina e la condivisione delle informazioni (Fig. 1). Le ultime indagini permettono di ipotizzare per la fase picena un insieme di fossati circolari disposti a grappolo (BOSCHI c.s.b), mentre l'utilizzo di sistemi di documentazione tridimensionale durante lo scavo (laser scanner, fotogrammetria) garantisce un record digitale di valido ausilio sia per il restauro sia per la ricostruzione archeologica del contesto, affrontata con vari livelli di analisi. Questo è ben dimostrato, nella micro-scala, dal lavoro in corso sulla tomba principesca e sul suo copioso corredo – oggetto di una prima esposizione museale (BOSCHI, VENANZONI 2021) – e, a una scala più ampia, dallo studio sull'intero paesaggio funerario, analizzato anche negli aspetti ideologici e rituali.

¹ Il progetto ArcheoNevola (direzione: F. Boschi) nasce da un protocollo di intesa e di collaborazione tra l'Università di Bologna (Dipartimento di Storia Culture Civiltà), il Comune di Corinaldo, il Consorzio Città Romana di Suasa e la Fondazione Flaminia di Ravenna. Le attività di ricerche e scavi, in corso dal 2017, sono condotte in regime di concessione ministeriale e in stretta collaborazione con la Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio delle Marche (funzionario archeologo dott.ssa Ilaria Venanzoni). A tutte le istituzioni e alle persone coinvolte rivolgiamo sempre i più sentiti ringraziamenti.

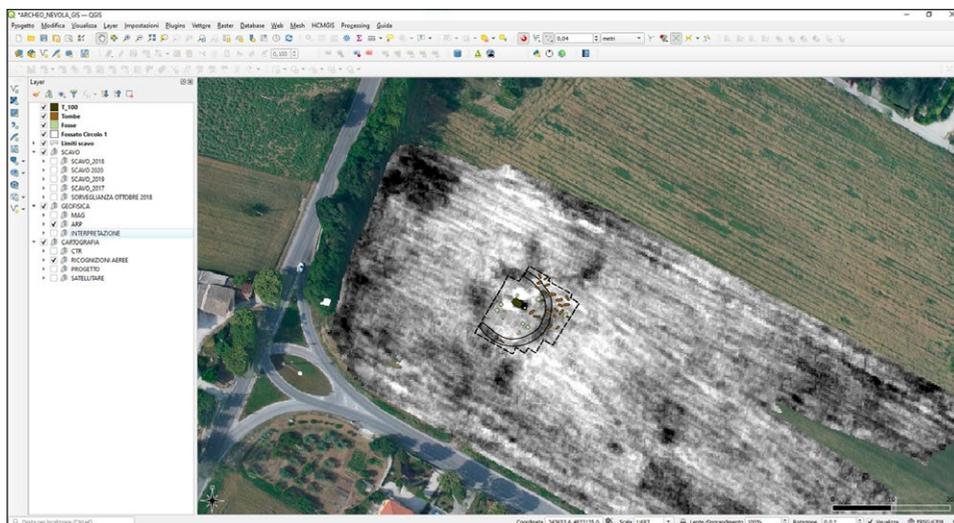


Fig. 1 – La necropoli di età orientalizzante e romana di Corinaldo nella banca dati GIS del Progetto ArcheoNevola. Nello screenshot, i risultati delle campagne di scavo 2018-2019 e la sovrapposizione alla mappatura geofisica in cui si osservano le tracce riferibili ai fossati circolari dei monumenti tombali della fase picena.

In previsione delle prossime ricerche sul campo e della definizione di un programma di valorizzazione del sito, il contributo raccoglie i primi appunti su possibili scenari virtuali di trasmissione della conoscenza e di fruizione da adottare per il caso di Corinaldo, anche sulla scorta di alcune rilevanti esperienze maturate dalla ricerca italiana in altri contesti funerari.

2. TOMBE E NECROPOLI DAL REALE AL VIRTUALE. ESPERIENZE IN ARCHEOLOGIA E SPUNTI DI RIFLESSIONE

La necropoli orientalizzante di Corinaldo, con le sue tombe delimitate da fossati circolari a circoscrivere fosse-deposito con ricco corredo, impone attente valutazioni sia di carattere conservativo ed etico per la strategia e la prosecuzione degli scavi (CARVER 2009), sia ai fini della valorizzazione e fruizione del sito (MANACORDA 2007) (Fig. 2).

Le più recenti e articolate riflessioni teoriche sulla documentazione digitale per l'archeologia funeraria (da ultimo cfr. BALDONI 2021) hanno rimarcato l'efficace contributo delle soluzioni 3D per affrontare molteplici aspetti dei contesti analizzati, dalla topografia degli spazi occupati, alle forme dei sepolcreti e delle sepolture, alle relazioni tra le tombe e le espressioni della ritualità associata. A queste importanti ricadute si aggiunge il valido



Fig. 2 – Panoramica del sito della necropoli di Contrada Nevola durante lo scavo del circolo maggiore e di parte del sepolcreto di età romana.

concorso alla tutela e alla valorizzazione delle aree di necropoli, emerso anche fin dall’inizio dell’esperienza corinaldese e a cui è prevalentemente dedicata la disamina qui contenuta.

La natura “non strutturale” del record archeologico sepolto e le esigenze di salvaguardia innescate dalla necessità di recupero di reperti esposti al rischio di distruzioni o di ruberie clandestine sono caratteristiche spesso comuni ai contesti funerari. Tali aspetti possono scoraggiare qualunque forma di musealizzazione in sito o anche indirizzare verso scelte drastiche che scongiurino possibili pericoli, come la completa, o quasi, decontestualizzazione dei beni dal luogo di rinvenimento (NICCOLUCCI 2007).

I progetti di valorizzazione e fruizione digitale di monumenti tombali o di beni mobili separati dal contesto originario sono sempre più numerosi, e il consolidamento in archeologia di tecnologie di visual computing sta permettendo una “lettura alternativa” anche per questa categoria di siti, offrendone un efficace aiuto alla visita e una narrativa che sa essere di grande impatto emotivo e di forte valore comunicativo (FORTE, BELTRAMI 2000; GABELLONE 2020).

Uno tra i primi esempi in Italia fu la ricostruzione virtuale della tomba menfita del Generale Horemheb (GOTTARELLI 1996), che agli inizi degli anni Novanta divenne parte integrante del progetto museale della Nuova Sezione Egizia del Museo Civico Archeologico di Bologna e inaugurò una nuova stagione di orientamenti della ricerca museografica.

Le esperienze condotte poi su alcune realtà monumentali d'eccezione, come la tomba etrusca Regolini-Galassi di Cerveteri nell'ambito di *Etruscaning 3D* (HUPPERETZ *et al.* 2012; PIETRONI 2013) o i monumenti funerari ipogeici della necropoli magnogreca di Taranto con il progetto *Marta Racconta. Storie virtuali di tesori nascosti* (GIANNOTTA, GABELLONE, DELL'AGLIO 2014; GABELLONE, GIANNOTTA, FERRARI 2014) hanno seguito le orme di altri progetti nazionali artefici delle modellazioni virtuali della tomba sumera di Meskalamdug, dal cimitero reale di Ur (GABELLONE, SCARDOZZI 2007; CULTRARO, GABELLONE, SCARDOZZI 2009) o di quelle egizie di Kha e di Nefertari (GABELLONE *et al.* 2016), giocando anche sull'aspetto emozionale.

In tutti questi casi, infatti, l'inaccessibilità dei contesti o la lontananza nel tempo del momento della scoperta di quei luoghi di sepoltura e dei tesori in essi celati vengono superate e dimenticate grazie ai mezzi espressivi offerti dalla computer animation, permettendo al visitatore di sentirsi parte della storia e di condividere la suggestiva atmosfera di un passato ormai perduto. Le ricadute percettive, interattive e psico-cognitive della fruizione culturale nell'archeologia virtuale sono da tempo oggetto di dibattiti e riflessioni, spesso affrontate da archeologi o specialisti nel campo dei beni culturali che sempre più attivamente partecipano alla crescita della disciplina come utenti-sviluppatori (FORTE 2004; GARAGNANI *et al.* 2021).

Restando in ambito funerario, il coinvolgimento emotivo del pubblico può essere ricercato con varie soluzioni anche su singoli oggetti e manufatti estrapolati dal contesto di provenienza o dalla sede espositiva. Questo è ben dimostrato dalla ricostruzione e contestualizzazione virtuale del calesse dalla tomba principesca XI della necropoli sabina di Colle del Forno (EMILIOZZI, MOSCATI, SANTORO 2007), restituito dalla Ny Carlsberg Glyptotek di Copenaghen e protagonista della mostra recentemente inaugurata a Rieti (BETORI, RICORDARI 2021, con le nuove proposte interpretative). Analogamente dimostrativa è l'applicazione di successo del mapping 3D (laser scanner e fotogrammetria) e della tecnica olografica al Sarcofago degli sposi da Cerveteri (FISCHNALLER 2014; REMONDINO, NOCERINO, MENNA 2014; COSENTINO 2016), conservato permanentemente al Museo Nazionale di Villa Giulia e riprodotto virtualmente all'interno della sala della Cultura di Palazzo Pepoli, Museo della Storia di Bologna, nell'ambito della fortunata mostra *Il viaggio oltre la vita. Gli Etruschi e l'aldilà tra capolavori e realtà virtuale* (2014-2015). Un esempio felice di interazione tra l'analisi archeologica tradizionale e la tecnologia d'avanguardia, che ha ribadito le potenzialità della realtà virtuale in archeologia, soprattutto in alcune circostanze specifiche complicate da questioni logistiche, legislative, di rimozione o spostamento, o anche da semplici esigenze di budget.

L'Ateneo di Bologna è protagonista anche della formula ideata e adottata per la visita virtuale della città etrusca di *Kainua*-Marzabotto che, attraverso

la stereoscopia digitale e l'utilizzo di Cardboard viewers installati su dispositivi mobili, offre al pubblico che si reca nel sito la suggestiva esperienza di una passeggiata immersiva nell'antico abitato così come nella necropoli orientale, di cui viene riprodotto digitalmente lo scenario scandito da numerose stele funerarie infisse nel terreno (GAUCCI 2017). Una soluzione di particolare efficacia e potenzialmente low cost, che tra le ricerche bolognesi ritroviamo nel programma di fruizione della necropoli fenicio-punica meridionale di Tharros (Oristano), con la ricostruzione virtuale delle tombe a camera di personaggi d'élite della colonia cartaginese, dei loro corredi e rivestimenti sepolcrali, scelta per far fronte ai problemi di "ingerenza" turistica del sito e all'azione erosiva esercitata dall'aerosol marino sulle strutture tombali ipogee scavate nel bancone roccioso (FARISELLI, BOSCHI, SILANI 2016)².

La sepoltura di un esponente dell'aristocrazia italica preromana, in questo caso enotria di fine V secolo a.C., è al centro poi del restauro virtuale proposto per la tomba 227 di Chiaromonte (Potenza), di cui si è ricomposto in veste di grafica tridimensionale il ricercato apparato vascolare di ceramica figurata e di bronzo, oggi tra le maggiori attrazioni del museo arqueo-antropologico locale (VITALE, MADEO 2020).

Restringendo il focus sull'archeologia funeraria medio-adriatica e sull'ambito culturale piceno, tra le Marche e l'Abruzzo settentrionale le aree archeologiche che hanno investito, benché in modo ancora tradizionale, verso il pubblico godimento dei luoghi sono poche, complici le fattezze dei monumenti tombali di età orientalizzante e il rinvenimento di molti degli stessi nel seno di procedure di archeologia preventiva o di cantieri di emergenza. Tra i pochi casi si richiamano la bella cornice della necropoli "I Pini" di Sirolo-Numana, oggetto di un rinnovato programma di ricerche e di valorizzazione (BALDONI, FINOCCHI 2019), e certamente l'esempio importante di Campovalano a Campli (Teramo), nel cui parco ritroviamo la ricostruzione reale e in scala 1:1 dei tumuli terrosi delimitati da circoli di pietre e di una delle camere sepolcrali, fedelmente riprodotta anche nella consistenza dei corredi funerari (CHIARAMONTE TRERÈ, D'ERCOLE, SCOTTI 2010; D'ERCOLE 2021).

Aldilà di poche eccezioni, le situazioni archeologiche più frequenti di questo orizzonte cronologico e culturale sono assai complesse e, in linea generale, il loro ritrovamento è stato seguito dall'inevitabile recupero delle testimonianze materiali sopravvissute, a volte già compromesse e rimaneggiate e per lo più in stato frammentario. Situazioni nelle quali può aver senso chiedersi se e quanto valga la pena insistere con progetti di musealizzazione in loco o se piuttosto non sia più ragionevole e sostenibile ricorrere alle soluzioni offerte dal mondo

² Per una prima notizia sul progetto di fruizione del sito tramite tecniche di realtà virtuale (direzione degli scavi e ricerche di A.C. Fariselli, Università di Bologna) si veda <https://www.lanuovasardegna.it/tempo-libero/2018/04/19/news/un-app-per-vedere-tharros-in-3d-1.16734935>.

digitale. La più recente esperienza di ricostruzione virtuale condotta sulla necropoli picena Quagliotti-Davanzali di Sirolo-Numana (FINOCCHI, BALDONI 2017; BALDONI 2021), con gli importanti risultati interpretativi conseguiti per i molteplici aspetti analizzati, rappresenta la migliore dimostrazione delle opportunità offerte dall'archeologia digitale proprio nell'ambito considerato e in relazione alle sue problematiche specifiche, non sempre favorevoli a una fruizione in loco. Dalla disamina archeologica multiscalare del contesto alla sua modellazione, combinando dati d'archivio e nuove acquisizioni, il caso anconetano costituisce un ottimo esempio di ponderato accostamento di differenti sistemi narrativi, in cui anche le tecnologie informatiche giocano un ruolo chiave (in particolare cfr. i contributi di Garagnani, Silani e Zampieri in BALDONI 2021).

Le ricerche in atto nella necropoli di Corinaldo guardano dunque a questo e altri studi in previsione dei prossimi step di narrazione della recente scoperta e di valorizzazione del sito, attorno a cui è alta l'attenzione di tutte le istituzioni partner del progetto. A tal fine, le indagini archeologiche sulla tomba principesca sono state condotte ricorrendo a una documentazione digitale rigorosa realizzata con tecniche di rilievo 3D, che si sta già rivelando variamente preziosa e che potrà essere proficuamente impiegata anche per rappresentazioni future.

3. DOCUMENTAZIONE TRIDIMENSIONALE DELLA TOMBA DEL PRINCIPE DI CORINALDO

Lo scavo del circolo maggiore (cd. Circolo 1) del complesso di fossati circolari identificati nella necropoli di Contrada Nevola, condotto durante le campagne estive 2018 e 2019, ha rappresentato una straordinaria occasione di programmazione consapevole e di riscontro dei dati acquisiti dopo una prima valutazione. Non solo. È stata un'opportunità di riflessione sul ruolo di un approccio conoscitivo integrato per l'archeologia preventiva e per il dialogo proficuo con tutti gli interlocutori coinvolti nelle operazioni di trasformazione territoriale (BOSCHI 2020b). Infine, ha fornito la non scontata possibilità di veder interagire quotidianamente sul cantiere archeologi e restauratori e di sperimentare modalità di documentazione digitali e tridimensionali della stratificazione in corso di scavo, in particolare della tomba principesca e del suo corredo, con indubbi vantaggi sia per le esigenze di analisi archeologica sia di conservazione e ricomposizione dei manufatti recuperati (sul tema si vedano CATTANI 2004; FIORINI 2012; LIMONCELLI 2012; CURCI, FIORINI 2013).

Le potenzialità del rilievo tridimensionale di contesti funerari sono ben note e variamente dimostrate da applicazioni archeologiche votate a diverse scale di analisi e livelli di dettaglio, che possono riguardare singoli elementi



Fig. 3 – Un momento dello scavo della fossa-deposito della tomba principesca e interventi di primo restauro in sito (fotografia di Pierluigi Giorgi).

deposti, l'insieme dell'apparato di corredo, o interi luoghi di sepoltura (CUPITÒ, LEONARDI 1999; PUTZOLU, VICENZUTTO 2013; FARISELLI *et al.* 2017; RABBIA, SAMMARTANO, SPANÒ 2020).

L'esplorazione della fossa-deposito della “tomba del Principe” di Corinaldo, con i suoi quasi cento oggetti, ha catalizzato le energie di archeologi e restauratori per tre settimane della campagna 2018, durante le quali sono stati affrontati lo scavo, la documentazione e la rimozione dei reperti, dopo essere stati sottoposti a minuziosi interventi di ripulitura e di primo consolidamento realizzati in sito (Fig. 3).

Anche questa attività ha imposto costanti confronti e compromessi tra specialisti e operatori, con il proposito condiviso di garantire la protezione e la sicurezza del patrimonio ancora sepolto, riducendone il più possibile i tempi di indagine e recupero, e al contempo preservandone la corretta analisi archeologica, così come lo stato e le connessioni degli oggetti, pressoché tutti in grave stato di frammentarietà.

Per far fronte alle varie esigenze, lo scavo della fossa-deposito che occupava la parte centrale del circolo maggiore è stato documentato a più riprese e con precisione millimetrica mediante l'utilizzo di laser scanner 3D testando



Fig. 4 – Rilievo e documentazione tridimensionale della tomba del Principe di Corinaldo con laser scanner.

differenti strumentazioni – sistemi a differenza di fase (Faro CAM2 Focus 3D) e a tempo di volo con tecnologia ibrida WFD (Leica Scanstation P30) (Fig. 4) – e combinandovi poi la tecnica fotogrammetrica. Il rilievo della tomba ha previsto l'esecuzione di 8 scansioni di inquadramento con un passo di 6 mm/10 m mediante il laser scanner Leica P30, mentre le varie fasi di asportazione del corredo sono state documentate con il laser scanner Faro, con cui sono state prodotte altre 7 scansioni che hanno adottato lo stesso passo di 6 mm/10 m. A seguito della registrazione delle scansioni, data anche la distanza media dell'oggetto del rilevamento inferiore a 2 m, si è ottenuto un modello finale in cui la nuvola di punti risultante presenta una densità pari a 1-2 mm.

Le numerose scansioni, ripetute da vari punti di presa via via che l'esplorazione veniva approfondita e successivamente combinate fra loro, hanno favorito la ricostruzione dell'insieme del corredo in tutti i suoi elementi costitutivi, anche nei casi di avvenuto prelievo di reperti per esigenze di conservazione o di restauro. Infatti, pur intendendo documentare la fossa-deposito nella sua integrità e complessità, lasciandone in posto l'intero contenuto prima di procedere alla sua rimozione, per qualche oggetto più superficiale e maggiormente esposto si è dovuto ricorrere a un'asportazione "precoce" per arrestarne la decoesione ormai avviata. Per questi pochi casi le scansioni laser, realizzate prima e dopo la rimozione dei manufatti, ne hanno permesso l'esatta "ricollocazione" e di apprezzarne le originarie relazioni con il resto del contesto, nelle tre dimensioni, anche in una fase successiva allo smontaggio.

L'integrazione di un rilievo fotogrammetrico – che ha comportato l'acquisizione di 190 scatti, poi elaborati con il software Agisoft Metashape – acquisito con camera digitale full-frame (fotocamera *full-frame mirrorless* Sony a7R), alla nuvola di punti laser scanner (Fig. 5), ha permesso di produrre un modello digitale della tomba navigabile in ambiente tridimensionale, che ne consente la visualizzazione stereoscopica (Figg. 6-7).

Concluso lo scavo e proseguendo con lo studio e i restauri in laboratorio, il prodotto digitale ottenuto sta rappresentando ancora oggi un'importante base documentaria che supporta sia l'analisi archeologica votata alla comprensione delle dinamiche di deposizione e degli aspetti connessi alla ritualità funeraria, quanto la ricomposizione dei singoli reperti, proprio in virtù dell'opportunità offerta dal modello di percepirne il volume, le dimensioni e la posizione nello spazio.

Un esempio di questa duplice utilità viene dall'elmo in bronzo a calotta composita, databile alla seconda metà del VII secolo a.C., in via di restauro (BOSCHI, VENANZONI 2021, 66-69). Rinvenuto schiacciato e scomposto in numerosi frammenti, con il sussidio della documentazione ottenuta dal rilievo laser e fotogrammetrico è stato ricostruito nel volume, dimensioni e aspetto originari (Fig. 8), a loro volta ispiratori della fedele riproduzione in bronzo realizzata da un maestro orafo, sulla stregua della collaborazione tra archeologi e restauratori che si sono cimentati in una fruttuosa esperienza di archeologia sperimentale. La ricostruzione virtuale dell'elmo è stata anche alla base della progettazione di un supporto espositivo del reperto ed è proceduta in sintonia con i primi interventi di restauro, una volta riconosciute le maggiori deformazioni subite e la complessità geometrica e materica del manufatto.

La prossemica dei riti e la gestualità che hanno accompagnato la vita dei monumenti funerari, le fasi connesse alla deposizione di defunti ed esequie e anche la loro frequentazione successiva costituiscono un altro focus delle ricerche in atto, in vario modo coadiuvate, per il circolo maggiore, dal modello 3D della tomba principesca. Infatti, oltre a fornire precise informazioni



Fig. 5 – Esempio di nuvola di punti della fossa-deposito generata dal rilievo laser scanner.



Fig. 6 – Modello digitale 3D della fossa-deposito da rilievo laser scanner e fotogrammetria (acquisizione ed elaborazione di Michele Silani).



Fig. 7 – Modello digitale 3D della tomba. Vista generata dal lato orientale della fossa-deposito (acquisizione ed elaborazione di Michele Silani).



Fig. 8 – Elmo a calotta composta in bronzo, parte del corredo della tomba principesca, dallo scavo al primo restauro e il contributo del rilievo digitale per lo studio archeologico e il restauro. Disegno grafico e modellazione 3D di Mirco Zaccaria.

di carattere metrico di geometrie e volumi, esso garantisce un valido ausilio per la ricomposizione originaria degli elementi di corredo e per la comprensione dei processi post-deposizionali che ne hanno provocato il collasso e il dislocamento. Questo è ad esempio il caso dei resti del *currus*, tra i principali simboli del potere e del rango aristocratico del defunto, di cui si conservano i cerchioni delle due ruote chiodate, i morsi equini, parte del telaio in ferro, e altre componenti lignee del parapetto: un complicato insieme di elementi a cui l'analisi archeologica e il restauro stanno tentando di restituire forma, aspetto e significato originari, anche in forza della documentazione digitale della fossa-deposito che continua a offrire una testimonianza accurata della deposizione anche a scavo compiuto.

La navigazione 3D del contesto permette infatti di apprezzare la posizione verticale di una delle due ruote (nell'angolo S-E della fossa), così rinvenuta, collocata sul rado letto di ciottoli distribuiti sul fondo, e di comprendere i conseguenti meccanismi di frattura e collasso delle altre parti dei cerchioni, probabilmente causati dalla pressione superiore e da meccanismi geotecnici legati al terreno poco permeabile. Pare dunque verosimile ritenere che il carro sia stato collocato dentro la fossa non smontato, secondo una pratica già ampiamente attestata nell'ambito culturale piceno (COLONNA 1997;

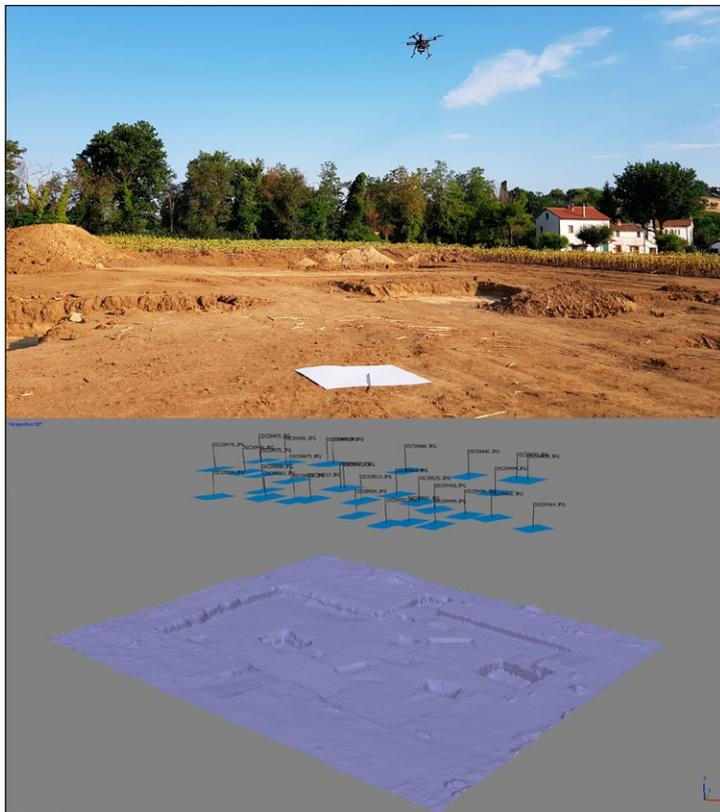


Fig. 9 – Aerofotogrammetria da drone: acquisizione sul campo con quadricottero (in alto), schema dei punti di presa e DSM dell’area di scavo (campagna 2018) (in basso).

SILVESTRINI, SABBATINI 2008, in particolare 234-244) e, in via del tutto ipotetica, come possibile baricentro della maggior parte dei reperti metallici di accompagnamento (situla, elmo, schiniere, ascia, spiedi), tutti rinvenuti in sua stretta associazione. Una supposizione analoga è già stata avanzata da T. Sabbatini per la tomba principesca 182 da Matelica (località Crocifisso) – con cui la sepoltura di Corinaldo rivela strette assonanze sia nell’articolazione topografica della necropoli e nel monumento funerario sia, soprattutto, nella composizione e assetto degli elementi del corredo – il quale osserva la forte connessione tra le numerose armi di offesa e difesa che accompagnavano la deposizione e il carro, su cui ritiene potessero essere collocate o appese (SABBATINI 2008, 207). Per il caso corinaldese si tratta ovviamente di un’ipotesi di lavoro da approfondire ma che deriva dall’analisi critica dei dati raccolti e

della disposizione degli oggetti di corredo, e che sembra trovare nell'esempio matelicese un suggestivo parallelo.

A rimarcare il contributo della documentazione prodotta, dal modello digitale risulta ben percepibile anche la diversa quota di giacitura dei due dolii (nell'angolo N-O della fossa), evidentemente incavati rispetto al piano medio del fondo per favorirne l'alloggiamento e, probabilmente, deposti prima di altri elementi del copioso insieme.

Tornando agli aspetti pratici della documentazione, lo stesso flusso di lavoro che ricorre alla combinazione di tecniche digitali di rilievo terrestre è stato applicato all'estensione totale della necropoli finora messa in luce dagli scavi e anche per la documentazione analitica delle tombe del sepolcreto di età romana, su cui sono in corso analisi e approfondimenti (BOSCHI *et al.* 2020).

Infine, l'area funeraria di Contrada Nevola è stata oggetto di un rilievo aerofotogrammetrico realizzato da piattaforma UAV (Unmanned Aerial Vehicle), impiegando un quadricottero con camera digitale ad alta risoluzione per lo scatto delle immagini dall'alto e da dispositivo telecomandato a distanza. Anche in questo caso il prodotto finale ottenuto è un modello digitale 3D, DSM (Digital Surface Model), da cui è stato possibile estrarre un'ortofoto ad alta precisione (risoluzione pari a 1 cm) dell'area di cantiere (Fig. 9).

4. VERSO LA RICOSTRUZIONE DEL PAESAGGIO FUNERARIO E DELLA RITUALITÀ

Tra le linee di ricerca inaugurate dal progetto ArcheoNevola sono lo studio territoriale in atto sull'intera vallecchia del Nevola e zone limitrofe (BOSCHI 2022) e quello sul paesaggio funerario della necropoli di Contrada Nevola nella sua evoluzione diacronica (BOSCHI c.s.a). Entrambi i temi fanno prezioso riferimento alla letteratura di ambito geomorfologico esistente (COLTORTI 1991) e agli studi topografici condotti dalla scuola bolognese (DALL'AGLIO *et al.* 2012; SILANI 2017; GIORGI 2020).

Il sito, nella media valle del torrente Nevola, occupa la parte più rilevata di un terrazzo fluviale e una strategica posizione rispetto all'antica viabilità di fondovalle e intervalliva, oltre che al sistema d'acque e a un agevole punto di guado del corso principale (BOSCHI *et al.* 2020, 6-8).

La descrizione dell'assetto della necropoli nelle sue fasi di frequentazione principali viene costantemente alimentata dall'approccio integrato adottato. La messa a sistema dei dati porta a ritenere che i monumenti piceni con fosso circolare e tumulo, caratteristici della fase iniziale, possano aver funto da coagulo anche per la più tarda occupazione romana. Restano però da definire nel dettaglio le fattezze delle tombe picene e delle calotte di copertura e le modalità di come siano sopravvissute nei secoli (BOSCHI 2021).

Nel caso del circolo maggiore, sottoposto a scavo, il mancato rinvenimento di resti e oggetti personali riferibili al morto lascia ancora qualche

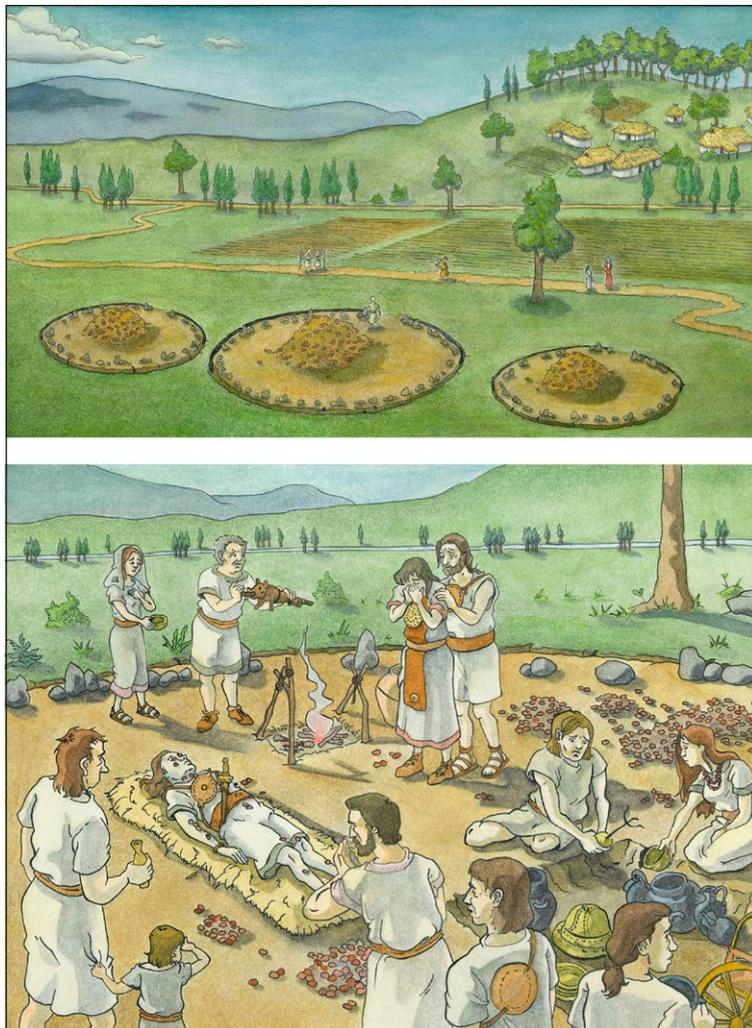


Fig. 10 – Ricostruzione grafica della necropoli di Corinaldo in età orientalizzante: il paesaggio funerario e la ritualità (illustrazioni di Chiara Simoncelli).

dubbio sulla posizione occupata dalla salma, ma diversi indizi fanno propendere per una soluzione che richiama per stretti confronti le più notevoli tombe principesche di Matelica e in particolare, di nuovo, la tomba 182 dalla località Crocifisso. Qui il defunto era adagiato accanto ma separatamente alla ricca fossa-deposito, e su un apprestamento più superficiale (SABBATINI 2008). La medesima dinamica applicata alla tomba di Corinaldo, corroborata

dall'assenza di residui scheletrici o di tracce indicatrici di una struttura lignea sopraelevata alla fossa, permetterebbe di giustificare la perdita del defunto, che deve essere stato esposto all'azione distruttiva delle arature moderne come largamente attestato nei contesti funerari piceni dello stesso orizzonte cronologico.

La fisionomia della necropoli di fase orientalizzante comincia a delinearsi grazie alla combinazione di indagini non distruttive e stratigrafiche, permettendo di ragionare sia in termini di ricostruzione dello spazio funerario sia delle pratiche rituali che vi si svolgevano. A tal proposito, la fotografia aerea e la geofisica sembrano rivelare un'interruzione nella continuità dei fossati circolari (almeno per i tre cerchi principali e ben riconoscibili sulle restituzioni da remote sensing), che occorrerà verificare mediante scavo. Le piccole buche funzionali ad atti rituali rinvenute all'interno del cerchio maggiore avvalorano la possibilità che il monumento fosse uno spazio accessibile e forse frequentato nel tempo, anche oltre la tumulazione del personaggio celebrato (BOSCHI 2021).

Mentre sono in corso ulteriori analisi e approfondimenti, dall'integrazione dei dati finora raccolti prendono forma le prime immagini dell'antico paesaggio funerario che ricostruiamo come illustra la Fig. 10, anche nei tratti distintivi della ritualità associata. La necropoli picena raggruppava monumenti con fossato circolare e accumulo di copertura nella parte centrale, probabilmente costituito dal terreno di risulta dallo scavo della trincea anulare e da materiali di rinforzo, tra cui scaglie di selce di colore rossastro copiosamente rinvenute in dispersione superficiale e nello strato di arativo. Accumuli che, per quanto contenuti in altezza, dovevano forse fungere anche da segnaletici visibili a distanza, simbolo della valenza funeraria del luogo e di marcatori del territorio (CHIARAMONTE TRERÈ, D'ERCOLE 2003; NASO 2011; D'ERCOLE 2021). Su quest'ultimo punto e sulla duratura percettibilità dei più antichi monumenti vengono in aiuto anche le sepolture di età romana, di cui le indagini rivelano un rapporto ricercato e non casuale rispetto alle preesistenze: un altro aspetto di particolare fascino che si intende appurare e su cui verteranno le prossime ricostruzioni del paesaggio funerario e delle sue trasformazioni nel tempo (BOSCHI c.s.a).

5. CONCLUSIONI

Le indagini nella necropoli di età orientalizzante e romana di Corinaldo, in corso dal 2018, continuano ad approfondire la conoscenza dell'area funeraria, insistendo su un approccio multi-scalare e diacronico e sull'impiego di tecnologie di valutazione preventiva e di documentazione digitale del record archeologico anche in considerazione dei programmi di valorizzazione in divenire.

Il sito di Contrada Nevola rientra nel novero di quei luoghi che non sono inclusi in Parchi archeologici o in cantieri scuola di archeologia convenzionali, e che per di più sono stati sorprendentemente identificati, benché – nel caso specifico – con l’ausilio di soluzioni di diagnostica preliminare, nell’ambito di dinamiche moderne di trasformazione territoriale. Siti nei quali, dovendo anche fare i conti con il carattere poco durevole delle testimonianze monumentali, conservare in posto le tracce materiali riportate alla luce non rappresenta sempre la strada migliore da intraprendere né, tantomeno, una scelta da considerare scontata nelle prospettive di sviluppo dell’area o di trasmissione della conoscenza acquisita. Ecco che assumono significato, anche solo come spunto di lavoro o di possibile indirizzo, le opportunità offerte dall’archeologia virtuale, oramai sempre più protagonista di nuovi programmi di fruizione digitale di beni e scenari archeologici, spesso preferiti perché economicamente più sostenibili ma altresì accorti nel migliorare l’esperienza visiva, intellettuale ed estetica del visitatore (GRECO 2020).

L’applicazione di tecniche integrate di rilievo strumentale discussa in queste pagine ribadisce l’efficacia dei sistemi di documentazione tridimensionale in archeologia e, con riguardo al caso presentato, nell’affrontare circostanze particolari in cui le esigenze di programmazione legate a interventi di pianificazione e le tempistiche compresse e concitate imposte dall’eccezionalità del rinvenimento, hanno trovato nelle soluzioni digitali di registrazione del dato archeologico un più che favorevole alleato, per rapidità di esecuzione e rigore del risultato. Parallelamente alla ricostruzione dell’antico paesaggio funerario nei suoi aspetti topografici e monumentali, l’analisi dei singoli contesti tombali e dei processi deposizionali e post-deposizionali continua ad attingere ai prodotti di documentazione tridimensionale della stratificazione, oramai scavata e asportata ma avendone prima “fissato nel tempo” il momento della riscoperta. Prodotti che rappresentano un archivio informativo veritiero, oggettivo e duraturo, una memoria interrogabile con facilità da utenti e fruitori per varie finalità e base di partenza potenziale per future ricostruzioni virtuali nelle tre e nelle quattro dimensioni.

Ringraziamenti

Oltre ai ringraziamenti che è d’obbligo reiterare al Comune di Corinaldo, al Consorzio Città Romana di Suasa e alla Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio delle Marche, in particolare al funzionario archeologo dott.ssa Ilaria Venanzoni, la nostra gratitudine va anche ai protagonisti “dietro le quinte” dell’impresa legata alla salvaguardia della tomba principesca durante le campagne di scavo, ovvero il Comando Carabinieri del Nucleo Tutela di Ancona e il Comando Stazione Carabinieri di Corinaldo, che hanno proficuamente supportato le attività 2018 e 2019 garantendo protezione e monitoraggio dell’area archeologica. Sentiti ringraziamenti sono poi per Michele Silani (Università della Campania “Luigi Vanvitelli”) ed Enrico Zampieri (Sapienza Università di Roma) che hanno coordinato e condotto le attività di rilievo

topografico e di documentazione digitale della necropoli finora svolte. Si ringraziano infine il Corso di Laurea Magistrale a ciclo unico in Conservazione e Restauro dei Beni Culturali dell'Università di Bologna, sede di Ravenna, e il Laboratorio di Restauro del Museo Civico Archeologico Alvaro Casagrande di Castelleone di Suasa, luoghi esecutivi delle attività di restauro in corso sui reperti della tomba principesca. Per le attività sull'elmo, qui sinteticamente esposte, un ringraziamento doveroso va a Isabella Rimondi, che ne coordina il restauro nell'ambito del corso di studi ravennate, e a Mirco Zaccaria, autore del modello digitale 3D e del disegno ricostruttivo.

FEDERICA BOSCHI

Dipartimento di Storia Culture Civiltà
Alma Mater Studiorum Università di Bologna
federica.boschi5@unibo.it

BIBLIOGRAFIA

- BALDONI V. (ed.) 2021, *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2 (<http://www.archcalc.cnr.it/journal/idyear.php?IDyear=2021-12-20>).
- BALDONI V., FINOCCHI S. 2019, *Nuove ricerche sui contesti funerari di Numana: temi, metodi e prospettive di ricerca*, in *Dialoghi sull'archeologia della Magna Grecia e del Mediterraneo. Atti del III Convegno Internazionale di Studi (Paestum 2018)*, III.3, Paestum, Pandemos, 631-642.
- BETORI A., LICORDARI F. (eds.) 2021, *Strada facendo. Il lungo viaggio del "carro di Eretum"*, Catalogo della mostra, Foligno, Il Formichiere.
- BOSCHI F. 2020a, *A princely tomb in central Italy: A planned discovery*, «Antiquity», 94, 1-8.
- BOSCHI F. 2020b, *Archeologia preventiva e indagini non invasive. Stato dell'arte in Italia e casi di studio*, «Atti e Rassegna Tecnica», 74, 2-3, 120-130.
- BOSCHI F. 2020c, *Archeologia preventiva e ricerca nella Valle del Nevola (Marche, Italia). La scoperta "programmata" di una necropoli a Corinaldo*, «Archeologia e Calcolatori», 31, 145-165 (<https://doi.org/10.19282/ac.31.1.2020.07>).
- BOSCHI F. 2020d, *Methodological approaches to the study of the Cesano and Misa River Valleys (2010-2020). New data: Some thoughts and perspectives*, in F. BOSCHI, E. GIORGI, F. VERMEULEN (eds.), *Picenum and the Ager Gallicus at the Dawn of the Roman Conquest*, Oxford, ArchaeoPress, 47-60.
- BOSCHI F. 2021, *La necropoli di Corinaldo: il paesaggio funerario e la ritualità*, in BOSCHI, VENANZONI 2021, 55-58.
- BOSCHI F. 2022, *Paesaggi funerari sepolti. Un contributo allo studio delle necropoli picene nelle Marche settentrionali*, «ATTA», 32, 161-179.
- BOSCHI F. c.s.a, *Metodologie a confronto per lo studio di un paesaggio funerario medio-adriatico: resilienza o discontinuità di una necropoli nella Valle del Nevola tra l'età del ferro e l'età romana?*, in *Atti del Convegno Internazionale Landscape 2. Una sintesi di elementi diacronici: crisi e resilienza nel mondo antico* (Foggia 2021), in corso di stampa.
- BOSCHI F. c.s.b., *Per uno scenario rinnovato della presenza picena nelle Marche settentrionali: le ricerche nella necropoli di Contrada Nevola a Corinaldo*, «PICUS», 42, in corso di stampa.
- BOSCHI F., VENANZONI I. (eds.) 2021, *La tomba del Principe di Corinaldo. Il tesoro ritrovato*, Milano, Cinisello Balsamo, Silvana Editoriale.
- BOSCHI F., VENANZONI I., BALDONI V., SCALICI M., SILANI M. 2020, *Il progetto ArcheoNevola e la pianificazione di una scoperta: la tomba di un principe piceno a Corinaldo* (Ancona), «FOLD&R», 461, 1-25 (www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2020-461.pdf).

- CARVER M.O.H. 2009, *Archaeological Investigation*, London, Routledge.
- CATTANI M. 2004, *Il dato tridimensionale nei contesti archeologici: l'esperienza di alcune ricerche*, in M. CATTANI, A. FIORINI, N. VIGGIANI (eds.), *Nuove frontiere dell'archeologia: il trattamento del dato tridimensionale. Atti del Seminario (Ravenna 2004)*, CD-ROM, Ravenna, Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Archeologia.
- CHIARAMONTE TRERÈ C., D'ERCOLE V. 2003, *La necropoli di Campovalano. Tombe orientalizzanti e arcaiche I*, BAR International Series 1177, Oxford, Archaeopress.
- CHIARAMONTE TRERÈ C., D'ERCOLE V., SCOTTI C. 2010, *La necropoli di Campovalano. Tombe orientalizzanti e arcaiche II*, BAR International Series 2174, Oxford, Archaeopress.
- COLONNA G. 1997, *L'Italia antica, l'Italia centrale*, in A. EMILIOZZI (ed.), *Carri da guerra e Principi Etruschi*, Catalogo della mostra, Roma, L'Erma di Bretschneider, 15-23.
- COLTORTI M. 1991, *L'evoluzione geomorfologica olocenica dei fiumi Misa e Cesano nei dintorni delle città romane di Suasa, Ostra e Sena Gallica*, in P.L. DALL'AGLIO, S. DE MARIA, A. MARIOTTI (eds.), *Archeologia delle Valli marchigiane: Misa, Nevola e Cesano*, Perugia, Electa Editori Umbri, 78-98.
- COSENTINO R. 2016, *Il Sarcofago degli sposi: dalla scoperta alla realtà virtuale*, «Anabases», 24 (<https://doi.org/10.4000/anabases.5822>).
- CULTRARO M., GABELLONE F., SCARDOZZI G. 2009, *The virtual musealization of archaeological sites: Between documentation and communication*, in *Proceedings of the 3rd ISPRS International Workshop 3D-ARCH (Trento 2009)*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38-5/W1, 25-28.
- CUPITÒ M., LEONARDI G. 1999, *Potenzialità informative del record archeologico. Microstratigrafia e interpretazione genetico-processuale: uno studio di caso funerario*, «PADUSA», 35, 177-208.
- CURCI A., FIORINI A. (eds.) 2013, *Documentare l'archeologia 3.0. Atti del Workshop (Bologna 2013)*, «Archeologia e Calcolatori», 24, 325-394.
- DALL'AGLIO P.L., GIORGI E., SILANI M., ALDROVANDI M., FRANCESCHELLI C., NESCI O., SAVELLI D., TROIANI F., PELLEGRINI L., ZIZIOLI D. 2012, *Ancient landscape changes in North Marche region: An archaeological and geomorphological appraisal in the Cesano valley*, in F. BERTONCELLO, F. BRAEMER (eds.), *Variabilités environnementales, mutations sociales: natures, intensités, échelles et temporalités des changements. XXXII^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (Antibes-Juan-les-Pins 2010)*, Antibes, Éditions APDCA, 101-112.
- D'ERCOLE V. 2021, *Il paesaggio funerario nel medio Adriatico preromano*, in BOSCHI, VENANZONI 2021, 21-26.
- EMILIOZZI A., MOSCATI P., SANTORO P. 2007, *The princely cart from Eretum*, in MOSCATI 2007, 143-162 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_1/10_Emiliozzi.pdf).
- FARISELLI A.C., BOSCHI F., SILANI M. 2016, *Santuari costieri e strutture di segnalazione nel Mediterraneo fenicio e punico: nuove indagini geofisiche sul Capo San Marco (penisola del Sinis - OR)*, in *Santuari mediterranei tra Oriente e Occidente. Interazioni e contatti culturali. Atti del Convegno Internazionale (Civitavecchia-Roma 2014)*, Roma, Scienze e Lettere, 367-371.
- FARISELLI A.C., BOSCHI F., SILANI M., MARANO M. 2017, *Tharros-Capo San Marco in the Phoenician and Punic age. Geophysical investigation and virtual rebuilding*, in GARAGNANI, GAUCCI 2017, 321-331 (<https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.25>).
- FINOCCHI S., BALDONI V. 2017, *Numana and its ancient territory: New data and research perspectives*, in GARAGNANI, GAUCCI 2017, 345-351 (<https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.27>).
- FIORINI A. 2012, *Tablet PC, fotogrammetria e PDF 3D: strumenti per documentare l'archeologia*, in A. CURCI, A. FIORINI (eds.), *Documentare l'archeologia 2.0. Atti del Workshop (Bologna 2012)*, «Archeologia e Calcolatori», 23, 213-227 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF23/13_Fiorini.pdf).

- FISCHNALLER F. 2014, *L'installazione del Sarcofago degli Sposi. Una combinazione tra archeologia, tecnologia, computer grafica, olografia, 3D mapping, narrazione e ambienti immersivi audiovisivi*, in G. SASSATELLI, A. RUSSO TAGLIENTE (eds.), *Il viaggio oltre la vita. Gli Etruschi e l'Aldilà tra capolavori e realtà virtuale*, Rastignano Bologna, Bononia University Press, 150-154.
- 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 (http://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 (<http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF11/1.17%20Forte.pdf>).
- GABELLONE F. 2020, *Archeologia Virtuale. Teoria, tecniche e casi di studio*, Lecce, Edizioni Del Grifo.
- 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 2015 (CHNT 20, 2015)*, Vienna, Museen der Stadt Wien - Stadtarchäologie, 1-11.
- GABELLONE F., GIANNOTTA M.T., FERRARI I. 2014, *La valorizzazione dei contesti inaccessibili nella necropoli greca di Taranto: un modello di fruizione multimodale basato su interfacce naturali*, «Arkos Scienza Restauro e Valorizzazione», 2, 15-22.
- GABELLONE F., SCARDOZZI G. 2007, *From the object to the territory: Image-based technologies and remote sensing for the reconstruction of ancient contexts*, in MOSCATI 2007, 123-142 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_1/9_Gabellone.pdf).
- GARAGNANI S., GAUCCI A. (eds.) 2017, *Knowledge, Analysis and Innovative Methods for the Study and the Dissemination of Ancient Urban Areas, Proceedings of the Kainua 2017 International Conference in Honour of Professor Giuseppe Sassatelli's 70th Birthday (Bologna 2017)*, «Archeologia e Calcolatori», 28.2 (<http://www.archcalc.cnr.it/journal/idear.php?IDyear=2017-01-07>).
- GARAGNANI S., GAUCCI A., MOSCATI P., GAIANI M. 2021, *ArchaeoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bologna, Bononia University Press.
- GAUCCI A. 2017, *Kainua Project: Principles, theoretical framework and archaeological analysis*, in GARAGNANI, GAUCCI 2017, 99-112 (<https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.06>).
- GIANNOTTA M.T., GABELLONE F., DELL'AGLIO A. (eds.) 2014, *Fruizione di contesti archeologici inaccessibili. Il progetto Marta Racconta*, Lecce, Edizioni Del Grifo.
- GIORGI E. 2020, *Suasa: genesi e sviluppo di un municipio romano dell'Agro Gallico*, «ATTA», 30, 95-114.
- GOTTARELLI A. 1996, *Museografia e informatica: la ricostruzione virtuale della tomba menfita del generale Horemheb*, in P. MOSCATI (ed.), *III International Symposium on Computing and Archaeology (Roma 1995)*, «Archeologia e Calcolatori», 7, 1091-1099 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF7/94_Gottarelli.pdf).
- GRECO C. 2020, *La biografia degli oggetti. Rivoluzione digitale e umanesimo*, in C. CICOPIEDI (ed.), *Archeologia invisibile*, Catalogo della mostra, Modena, Franco Cosimo Panini, 14-20.
- HUPPERETZ W., CARLANI R., PLETINCKX D., PIETRONI E. 2012, *Etruscanning 3D project. The 3D reconstruction of the Regolini Galassi Tomb as a research tool and a new approach in storytelling*, «Virtual Archaeology Review», 7, 92-96.
- LIMONCELLI M. 2012, *Il restauro virtuale in archeologia*, Roma, Carocci editore.
- MANACORDA D. 2007, *Il sito archeologico tra ricerca, tutela e valorizzazione*, Roma, Carocci editore.
- MOSCATI P. (ed.) 2007, *Virtual Museums and Archaeology. The Contribution of the Italian National Research Council*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 1 (<http://www.archcalc.cnr.it/journal/idear.php?IDyear=2007-01-01&sup=true>).

- NASO A. 2011 (ed.), *Tumuli e sepolture monumentali nella protostoria europea. Atti del Convegno internazionale (Celano 2000)*, Mainz, Römisch-Germanisches Zentralmuseum.
- NICCOLUCCI F. 2007, *Virtual museums and achaeology: An international perspective*, in MOSCATI 2007, 15-50.
- PIETRONI E. 2013, *Natural interaction in VR environments for cultural heritage: The virtual reconstruction of the Regolini-Galassi tomb in Cerveteri*, «Archeologia e Calcolatori», 24, 231-247 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF24/11_Pietroni.pdf).
- PUTZOLU C., VICENZUTTO D. 2013, *Il rilievo delle superfici tramite fotogrammetria 3D: dal microscavo dei complessi tombali agli scavi in open area*, in CURCI, FIORINI 2013, 355-370 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF24/19_Putzolu_Vicenzutto.pdf).
- RABBIA A., SAMMARTANO G., SPANÒ A. 2020, *Fostering Etruscan heritage with effective integration of UAV, TLS and SLAM-based methods*, in *Proceedings of 2020 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (Trento-Italy, 2020)*, 322-327.
- REMONDINO F., NOCERINO E., MENNA F. 2014, *Rilievo e modellazione 3D del Sarcofago degli Sposi con tecnica fotogrammetrica*, in G. SASSATELLI, A. RUSSO TAGLIENTE (eds.), *Il viaggio oltre la vita. Gli Etruschi e l'Aldilà tra capolavori e realtà virtuale*, Rastignano Bologna, 158.
- SABBATINI T. 2008, *Il principe della Tomba 182 in località Crocifisso a Matelica. I segni del potere: le armi. Ostentazione e uso*, in SILVESTRINI, SABBATINI 2008, 199-214.
- SILANI M. 2017, *Città e territorio: la formazione della città romana dell'Ager Gallicus*, Bologna, Bononia University Press.
- SILVESTRINI M., SABBATINI T. (eds.) 2008, *Potere e splendore. Gli antichi Piceni a Matelica*, Catalogo della mostra, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- VITALE V., MADEO S.G. 2020, *La tomba n. 227 di Chiaromonte (PZ): Archeologia e Virtual Reality*, in S. BIANCO, A. DE SIENA, D. MANCINELLI, A. PREITE (eds.), *Chiaromonte. Un centro italico tra archeologia e antropologia storica. Studi in memoria di Luigi Viola*, Venosa, Osanna edizioni, 411-418.

ABSTRACT

By retracing the main experiences carried out by digital archaeology on some well-known funerary contexts, the article presents the preliminary results of the ongoing 3D documentation in the necropolis of Corinaldo (Ancona) and on the tomb of a Picenian prince of the 7th century BC. The tomb was discovered thanks to the research carried out by the University of Bologna. The first activities focus on a program of enhancement and fruition of the important context, within an ongoing procedure of preliminary excavations in the vicinity of the site that will lead to a redevelopment of the area.

SCULTURE DAL FORO DI TRAIANO: NUOVI APPROCCI METODOLOGICI

1. INTRODUZIONE

Il presente contributo ha carattere preliminare e vuole condividere i primi risultati dello studio comparativo tra le sculture rinvenute nel Foro di Traiano e quelle migrate in altre sedi, facendo seguito a quanto già pubblicato in altre occasioni da Lucrezia Ungaro, ed evidenziando i nuovi risultati raggiunti, ma ancora da estendere, con l'applicazione del sistema di confronto scalare sperimentato da Valeria Di Cola.

Nella prima parte, quindi, si sintetizzano le caratteristiche che accomunano statue disperse in varie collezioni, ma presumibilmente provenienti dal Foro, e statue frammentarie certamente rinvenute negli scavi tra XIX e XX secolo, individuando tre serie di sculture diverse nelle misure e nei marmi. Nella seconda parte viene esplicitata la metodologia di confronto messa a punto con l'obiettivo di documentare, attraverso il rilievo digitale, un cospicuo numero di reperti, costruendo una base documentaria sulla quale poter operare, anche a distanza di tempo, in modo mirato e con ulteriori approfondimenti.

L.U., V.D.C.

2. IL FORO OVERSIZE DI TRAIANO A ROMA E IL PROGRAMMA FIGURATIVO

La valle dei Fori Imperiali è stata il vero centro del potere imperiale e, nel giro di poco tempo, ha formalizzato gli elementi fondamentali dell'architettura pubblica e della comunicazione ufficiale, che dalla capitale si irradiano nelle province. Memoria, discendenza, continuità, colossalità degli edifici e definizione delle rappresentazioni sono elementi-guida per i programmi figurativi pubblici nei Fori.

Le indagini e gli studi tuttora in corso hanno restituito un'immagine profondamente diversa di questi spazi monumentali con una forte valenza ideologica, specializzati in diverse funzioni, chiusi al loro interno come fortezze, connessi tra loro attraverso percorsi controllati, ancora con molti interrogativi sulla saldatura tra gli edifici, soprattutto nel Foro di Traiano, nel quale gli scavi degli ultimi 25 anni hanno ridisegnato la pianta, lasciando aperte domande fondamentali come l'esistenza o meno del luogo di culto e la funzione della "corte" meridionale, che immette nel Foro di Augusto (MENEHINI 2018, 257-262, per una sintesi).

La piazza oversize è il fulcro dell'esaltazione delle *virtutes* dell'imperatore e della *maiestas imperii romani*, e la *virtus imperatoria* (in modo del

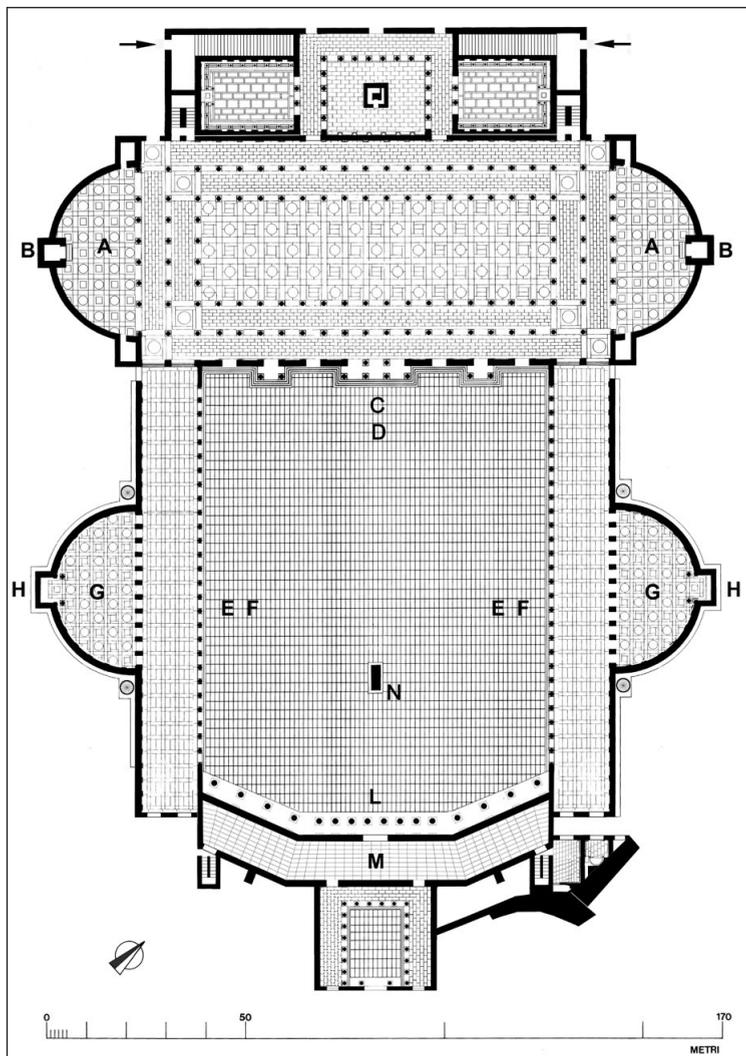


Fig. 1 – Pianta del Foro di Traiano (courtesy R. Meneghini; elaborazione L. Ungaro). Possibile distribuzione delle sculture e criticità: A: nicchie delle esedre della Basilica Ulpia, statue colossali (h m 2,60 ca.); B: nicchie al centro delle esedre, statue colossali (h m 4,80 e oltre); C: facciata della Basilica Ulpia, attico, alternanza di statue di Daci e altre popolazioni vinte in marmo bianco (h m 2,60 ca.); D: ingressi alla Basilica Ulpia, basamenti con iscrizioni dedicatorie per statue colossali dell’Imperatore (h presunta m 2,70/3,00); E: facciata dei portici sulla piazza del Foro, attico, alternanza di statue colossali di Daci in marmo pavonazzetto (h m 3,15 ca.) e clipei, in corso di revisione; F: la proposta di statue acroteriali di popoli vinti e/o insegne (h m 3,00 e oltre) in corso di revisione; G: nicchie delle esedre dei portici, statue colossali (h m 2,70/2,80 ca.); H: nicchie al centro delle esedre, che essendo pavimentate non dovevano ospitare basi per statue; L: facciata edificio meridionale, *imagines clipeatae*, statue di Daci, altro; M: aula trisegmentata, pavimentazione in porfido, statue, iscrizioni; N: *Equus Traiani*.

tutto originale rispetto al passato) si concretizza con la dedica da parte del senato e del popolo romano di statue *digna memoratu* quali parti integranti del complesso (UNGARO 2018e). La distribuzione delle sculture secondo un programma monumentale pubblico, significati e dimensioni diverse, come sempre, deve essere ricercata in sintonia alle funzioni dei luoghi, ai percorsi previsti, agli ordini architettonici; all'equilibrio tra vincitori e vinti, associati alle *congeries armorum* ormai monumentalizzate (UNGARO 2018a; UNGARO 2018c)¹.

Nelle piazze forensi precedenti vediamo maturare, infatti, l'uso dell'attico dei portici e i portici stessi per ospitare personificazioni di *nationes* e *populi*: si allude alla pacificazione e unificazione del mondo conosciuto, ovvero dell'impero romano (UNGARO 2007, con vari contributi di diversi Autori sui singoli Fori). Domiziano stesso già elabora anche altrove la rappresentazione di "barbari" e vittorie con trofei, che Traiano moltiplica in forma urbana e pubblica. Nel caso del foro traiano le popolazioni vinte, ormai parte integrante dell'impero, si materializzano con statue e altorilievi in marmi pregiati, surrogando il trionfo dell'imperatore e dell'esercito romano. Le statue dei Daci (definitivamente sottomessi dopo 200 anni) e dei loro alleati sono distribuite sugli ordini architettonici più visibili del complesso, sono eseguite in differenti qualità di marmi (anche pregiati), hanno misure e soluzioni diverse nella lavorazione del retro a seconda della loro collocazione e per ragioni strutturali (UNGARO 2018b; UNGARO 2018d, 406-413, 438-440, 458-461 per le schede sulle statue, sui ritratti e sui fregi con armi). La novità di queste figure monumentali alternate con le cataste di armi quali motivi di arte pubblica ha fatto guadagnare loro una fortuna molto longeva per la capacità di rinnovare il messaggio ideologico di vittoria (CAPECCHI 2008).

La pianta (Fig. 1) sintetizza la possibile distribuzione del programma figurativo traiano: la Colonna, la facciata della Basilica Ulpia e le facciate dei portici della piazza esaltano il ruolo delle legioni romane, che hanno portato alla vittoria sui Daci e sulle altre popolazioni. I cicli statuari possono aver trovato spazio nella Basilica Ulpia (le esedre con le nicchie centrali), nelle esedre dei portici, nell'aula meridionale trisegmentata. Le *imagines clipeatae* sono state finora immaginate sulla facciata attribuita all'aula trisegmentata a Sud dalle monete e sull'attico della facciata dei portici in base ad alcuni ritrovamenti. Ormai conosciamo una serie di ritratti colossali (h cm 55-60), di possibili statue di varie dimensioni (dai m 2,60 ai 4,80), forse anche realizzate

¹ Per sinteticità si farà riferimento alla bibliografia più recente, in particolare al catalogo della mostra su Traiano del 2017, con seconda edizione nel 2018 (PARISI PRESCICCE *et al.* 2018) e a recenti contributi: UNGARO 2018, 2020. Gli studi procedono con vari livelli di approfondimento da diverso tempo.

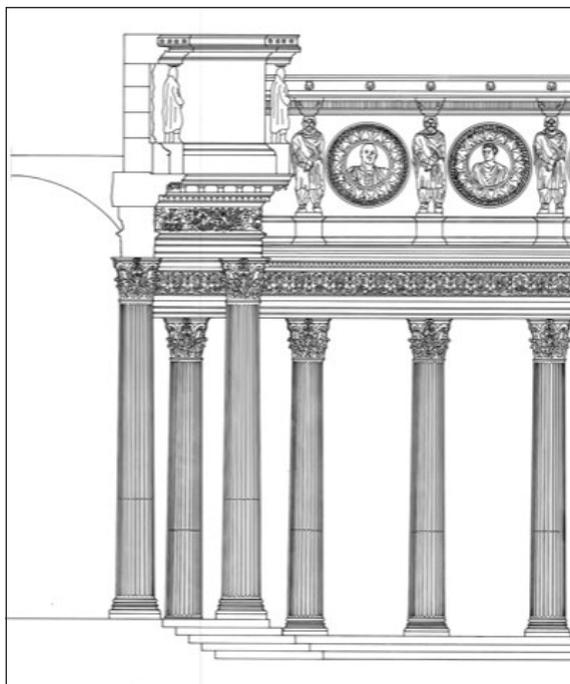


Fig. 2 – Sezione ricostruttiva della Basilica Ulpia: portici della piazza del Foro (Archivio Grafico Museo dei Fori Imperiali). Elaborazione Studio “Il Laboratorio”.

in forma di acrolito (UNGARO 2020, per i risultati sull’analisi delle teste colossali e precedente bibliografia). Abbiamo un reperto per ora inedito riferibile ad una statua colossale seduta in forma di Giove. Sulle statue dei Daci (dei Germani e/o di altre popolazioni) si è scritto molto, ma probabilmente alcune proposte andranno riviste alla luce delle indagini più recenti e del contributo che viene da archivi importanti: i taccuini di Antonio de Romanis dal fondo Lanciani della Biblioteca di Palazzo Venezia (MUZZIOLI 2019; per alcune considerazioni preliminari UNGARO 2022 c.s.) e studi inediti di Heinrich Bauer (Archivio dell’Istituto Archeologico Germanico di Roma).

Tra la fine del 2019 e il 2020 è stato avviato l’esame di un cospicuo numero di sculture attribuite alla tipologia del Dace o del vinto allargato agli esemplari conservati in collezioni pubbliche e private presenti a Roma, Città del Vaticano, Firenze, Napoli, ritenute genericamente provenienti dall’area del Foro, ed è stato possibile il confronto puntuale con le sculture emerse dagli scavi durante il XIX, XX, XXI secolo, applicando dove possibile il sistema scalare del quale dà conto in questo contributo Valeria Di Cola.

Nell'affrontare questa rinnovata fase dello studio, è stato ripercorso quanto elaborato in precedenza. Infatti, durante gli studi per l'allestimento museale inaugurato nel 2007 erano emerse considerazioni basate sulla logica strutturale e sul funzionamento del cantiere antico (UNGARO 2002, 128-133). Sui portici della piazza (Fig. 2) erano state collocate: le sculture stanti su gambe quasi parallele con il retro a lastra, con lo sviluppo in altezza di 10 piedi romani (3 m) e nel peso di ca. kg 1500, sulla facciata dei portici della piazza; erano state associate per questo i nn. inv. FT 6103 in marmo bianco e FT 6101 in marmo pavonazzetto; le sculture su gambe divaricate in forma di "telamoni" erano statue libere, col mantello sul retro lavorato, ca. 10 piedi anche queste (3 m), immaginate sulla sommità dei portici (cfr. la statua frammentaria proveniente dall'arco di Costantino ed esposta nel Cortile del Palazzo dei Conservatori, e le statue sull'arco stesso). Sull'attico della Basilica Ulpia erano state collocate sculture in marmo bianco con le gambe quasi parallele, parzialmente lavorate sul retro, altezza m 2,45/2,60 (Fig. 2).

Già durante gli ulteriori studi intorno al 2010 in occasione della mostra *Ori antichi della Romania. Prima e dopo Traiano* (UNGARO 2010) era stata riconosciuta l'altezza intermedia nella scultura n. inv. FT 6103, rimettendo in discussione la sua collocazione. Adesso, come vedremo, l'applicazione del sistema scalare ha confermato l'esistenza della misura intermedia anche per altri reperti.

I dati dei taccuini di Antonio de Romanis, recentemente decifrati, recepiti successivamente nel testo di Antonio Nibby, hanno rimesso in discussione le soluzioni architettoniche proposte, tenendo conto anche dei risultati finora ottenuti nell'esame dei ritratti colossali (MUZZIOLI 2019; per un primo esame UNGARO 2022 c.s.; per i ritratti da ultimo UNGARO 2020).

La Fig. 10 a-b sintetizza i dati sulle serie delle figure accorpate in base alle altezze ricostruite:

- I serie: la misura più contenuta oscilla più o meno intorno ai m 2,44-2,46, ovvero otto piedi romani ca., comprende soprattutto esemplari in marmo bianco, ma anche inaspettatamente esemplari in marmo pavonazzetto (Fig. 10 a);
- II serie: la misura intermedia, sette piedi romani ca., include (per ora) due sculture molto diverse tra loro e soprattutto una (n. inv. FT 6103), come segnalato, si distingue per la particolare lavorazione del retro (Fig. 10 b);
- III serie: la misura più grande riguarda solo statue in marmo pavonazzetto fino ai m 3,15, cioè 10 piedi romani e mezzo (Fig. 10 b).

A questo elemento devono essere aggiunte le caratteristiche dell'abbigliamento, la posizione delle gambe, delle braccia, delle mani, la lavorazione del retro, la lavorazione delle vesti, la presenza di punti di misurazione che non sono stati rimossi dal lapicida e che definiscono la riproduzione in serie delle statue. Le stesse osservazioni sono state estese alle sculture disseminate



Fig. 3 – 1. Gallerie degli Uffizi, Palazzo Pitti, Sala Castagnoli: Barbaro Dace Pitti inv. OdA 1911, n. 440 (foto L. Ungaro); 2. Collezione Buoncompagni Ludovisi, Casino dell’Aurora: Barbaro Dace inv. 261 (foto L. Ungaro); 3. Collezione Buoncompagni Ludovisi, Casino dell’Aurora: Barbaro Dace inv. 261, dettaglio (foto L. Ungaro); 4. Parco del Colosseo, Palatino, Horti Farnesiani: Barbaro Dace s.n.i (foto L. Ungaro).

in collezioni pubbliche e private, che sono state così confrontate con quelle di sicura provenienza dal Foro di Traiano².

Il lavoro è ancora in svolgimento, ma appare utile proporre alcuni dati sui principali nuclei assimilabili di sculture secondo le tre serie individuate, con l’obiettivo di focalizzare l’approccio metodologico.

Prima serie, sculture in marmo bianco:

– Dace Pitti, Gallerie degli Uffizi, Palazzo Pitti, Sala Castagnoli, inv. OdA 1911, n. 440, h 2,45; l’esemplare compare nella Collezione della Valle, poi della Valle-Capranica, successivamente acquistata dai Medici ed infine da loro traslata a Firenze. La figura è stante sulla gamba sinistra, mentre la destra è leggermente flessa, i piedi quasi paralleli; il mantello è ripiegato sul braccio sinistro, mentre la manica sul braccio destro è scostata dall’arto; corpose pieghe della tunica cadono dritte sotto al *cingulum*. Il capo è scoperto, la capigliatura accostata alla nuca con scrinatura centrale, barba e baffi copiosi e composti (Fig. 3, 1).

– Daci Casino dell’Aurora, Collezione Boncompagni-Ludovisi, inv. nn. 261 (con integrazione delle mani), 262 (senza integrazioni e recentemente restaurato), h 2,458; stessa struttura del Dace Pitti, ma sul bordo della manica destra compare una sorta di tassello, che sembra una “firma” del lapicida (Fig. 3, 2-3); testa non pertinente.

² Sul collezionismo e sulla “fortuna” della rappresentazione del “barbaro” cfr. CAPECCHI, 2008, 131-179 con ampia bibliografia precedente. Inoltre, di recente, PAOLUCCI 2019, 136-145. Chi scrive ha mostrato un’ampia carrellata delle sculture e delle teste prese in esame in una conferenza ospitata dalle Gallerie degli Uffizi il 1° dicembre del 2021 dal titolo: *Il Foro di Traiano e il trionfo di marmo: i “barbari” tra Roma e Firenze*, tuttora consultabile on line (<https://www.uffizi.it/video/lucrezia-ungaro-il-foro-di-traiano-e-il-trionfo-di-marmo-alla-ricerca-dei-barbari-tra-roma-e-firenze>).



Fig. 4 – 1. Museo dei Fori Imperiali, Grande Aula dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 5998 (da UNGARO 2018d, scheda 18d, fig. p. 408); 2. Museo dei Fori Imperiali, Grande Aula dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 5998, retro (foto L. Ungaro); 3. Museo dei Fori Imperiali, Aula di testata sud dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 5999 (da UNGARO 2018d, scheda 18e, fig. p. 408); 4. Museo dei Fori Imperiali, Aula di testata sud dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 5999, retro della statua durante la movimentazione (foto L. Ungaro).

- Dace Horti Farnesiani, *capillatus* in marmo bianco, inv. non rilevato, h 2,465 conservato sotto il *cingulum*, ha la stessa struttura dei precedenti (Fig. 3, 4).
- Daci Foro di Traiano, scavi giubilari, nn. inv. FT 5998 e FT 5999, h 2,45: per quanto frammentarie, le due sculture ripropongono lo schema delle precedenti, è presente anche il dettaglio del tassello sulla manica corta destra, accentuando la suggestione di una sorta di firma del lapicida; inoltre, le sculture non sono perfettamente rifinite e in particolare quella n. inv. FT 5998 conserva sul retro alcuni punti di misurazione e tracce di lavorazione sui margini che, come vedremo, la accomunano al Dace Torlonia (FT 5998: Fig. 4, 1-2; FT 5999: Fig. 4, 3-4).
- Dace Foro di Traiano, scavi XIX secolo, n. inv. FT 6108, la scultura è caratterizzata da forte degrado delle superfici, stante sulla destra, leggermente piegata la sinistra, la tunica ha le maniche lunghe, lungo il lato destro in basso è presente un tassello per alloggiare un sostegno (UNGARO 2018d, scheda 18 b, 407)³ (Fig. 5, 1-2).

Tutti sono caratterizzati da una particolare lavorazione delle pieghe ottenute da una profonda incisione del marmo che termina creando un forte effetto chiaroscuro in alcuni casi più accentuato, ma che comunque sembra una caratteristica dell'atelier che ha lavorato ad una serie di sculture forse con

³ Dal recente scavo di via Alessandrina (portico orientale della piazza) sono emersi molti materiali di grande interesse che saranno oggetto di pubblicazione da parte della Sovrintendenza Capitolina - Direzione Musei. In particolare, qui si segnalano due reperti che, se pur frammentari, possono essere inseriti nella serie in questione: n. inv. 15401, che si può ascrivere alle figure fin qui descritte, ma con tunica dalle maniche lunghe; n. inv. 16092 che presenta la struttura della tunica a pieghe dritte e il foro per possibile sostegno sul lato sinistro della figura, come nel n. inv. 6108 (cfr. Fig. 5, 2).



Fig. 5 – Museo dei Fori Imperiali, Grande Aula dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 6108 (da UNGARO 2018 d, scheda 18b, fig. p. 407); 2. Museo dei Fori Imperiali, Grande Aula dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 6108, lato destro con foro per aggancio della statua (Archivio Fotografico MFI); 3. Fondazione Torlonia: statua (non finita) di Barbaro Dace, inv. 412 (copyright Fondazione Torlonia); 4. Musei Vaticani, Museo Lateranense: statua (non finita) di Barbaro Dace, inv. 10534 (foto L. Ungaro); 5. Musei Vaticani, Museo Lateranense: statua (non finita) di Barbaro Dace, inv. 10534, dettaglio del mantello frangiato e dei punti di rilevamento (foto L. Ungaro).

destinazione univoca, il Foro di Traiano, senza poter escludere altri monumenti pubblici coevi⁴. Questa constatazione appare avvalorata dal confronto con due esemplari eccezionali mai posti in opera:

– Dace Torlonia, Collezione Torlonia, collocazione attuale Laboratorio di restauro della Fondazione Torlonia, n. inv. 412, h 2,44 (TUCCINARDI 2019, 190): è di fondamentale importanza in quanto è stata lavorata la parte anteriore della figura con la testa e invece non completata la parte posteriore della lastra; la figura è stante sulla gamba destra, mentre la sinistra è leggermente flessa, i piedi quasi paralleli; la figura conserva tutte le tracce di lavorazione sui margini lungo i lembi degli abiti (cfr. *supra*, n. inv. FT 5998); si rilevano numerosi punti di misurazione confrontabili con quelli presenti sulle sculture provenienti con certezza dal Foro; il mantello è ripiegato sotto il braccio sinistro sul quale sembra arrotolarsi, mentre sul braccio destro la manica corta rimane discosta dall'arto; la tunica crea un insieme di pieghe che cadono dritte sotto il *cingulum*, come nel Dace Pitti e nei Daci del Casino dell'Aurora. Il capo è coperto dal morbido *pileus* stretto intorno alla testa, lasciando le orecchie scoperte, ma dal berretto fuoriescono capelli con ricche ciocche che vanno a coprire le guance e ad unirsi alla barba e ai baffi (separati sotto il naso). Presenta la tipica lavorazione del panneggio ottenuto con forti, profonde incisioni, terminanti con un incavo (Fig. 5, 3).

– Dace Museo Lateranense (Musei Vaticani), inv. 10534, marmo docimio, h 2,25 (7 piedi e mezzo ca.). Si tratta di un esemplare con caratteristiche diverse: mantello nella foggia delle sculture dal Foro, ma molto frangiato, stante sulla

⁴ Ringrazio Gabriella Capecchi per avermi segnalato questo trattamento, da lei notato nel Dace Pitti durante il restauro della statua: così accentuato si rileva quasi esclusivamente nelle sculture in marmo bianco e nell'esemplare in docimio, meno evidente negli esemplari in pavonazzetto.

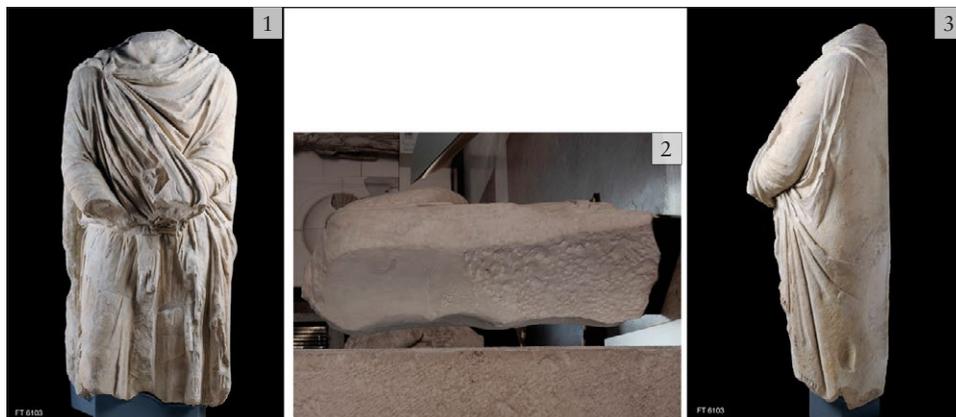


Fig. 6 – 1. Museo dei Fori Imperiali, Grande Aula dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 6103 (da UNGARO 2018d, scheda 18a, fig. p. 406); 2. Museo dei Fori Imperiali, Grande Aula dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 6103, retro parzialmente finito (foto L. Ungaro); 3. Museo dei Fori Imperiali, Grande Aula dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 6103, lato sinistro finito (da UNGARO 2018d, scheda 18a, fig. p. 406).

sinistra mentre la destra è molto avanzata (in questo ricorda statue realizzate in marmo pavonazzetto come quelle sull'arco di Costantino), retro non finito sia sulla nuca sia sul corpo, si contano 21 punti di misurazione; molto evidente la lavorazione delle pieghe con profonde incisioni in analogia al Dace Torlonia (Fig. 5, 4-5).

In definitiva, unendo diversi parametri di osservazione, si comincia a delineare un nucleo composto da statue di sicura provenienza dal Foro e da noti esemplari confluiti in collezioni con analogie nelle caratteristiche della “divisa” e nel trattamento della pietra.

La seconda serie è rappresentata principalmente da una scultura rinvenuta con certezza davanti alla facciata della Basilica Ulpia durante gli scavi 1812-1814 come attestato da Antonio de Romanis e poi da Nibby (MUZZIOLI 2019, Ms Lanciani 1/3, 173, f 2r, 135; UNGARO 2022 c.s., note 40-41).

– Dace Foro di Traiano, facciata Basilica Ulpia, 1812-1814, n. inv. FT 6103, h ricostruita 2,69 (9 piedi ca.), gambe parallele e leggera flessione della gamba sinistra; unico esempio per ora in marmo bianco con mantello frangiato; impostazione della figura simile al Dace Pitti e ai Daci del Casino dell'Aurora; retro a lastra, perfettamente liscia nella parte superiore, riscalpellata per adeguamento alla parete nella parte inferiore, e soprattutto con una differente resa dei due lati della figura: a destra il fianco ad incasso, a sinistra la lavorazione del mantello completa: era una figura collocata in una posizione angolare, con visibilità del solo fianco sinistro? (UNGARO 2018d, scheda 18a, 406-407) (Fig. 6, 1-3).



Fig. 7 – 1. Museo dei Fori Imperiali, Grande Aula dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 6101 (da Ungaro 2018d, scheda 19b, fig. p. 412); 2. Collezione Borghese Villa Borghese, oggi nei Musei Capitolini, Cortile di Palazzo dei Conservatori: Barbaro Dace inv. VB 136 (foto L. Ungaro); 3. Museo dei Fori Imperiali, Aula di testata sud dei Mercati di Traiano: Barbaro Dace n. inv. FT 6104a (da UNGARO 2018d, scheda 19a, fig. p. 411); 4. Parco del Colosseo, Palatino, Horti Farnesiani: Barbaro Dace inv. 421868 (foto L. Ungaro).

I taccuini de Romanis associano questa scultura ad altre due con resti di abiti differenti (nn. inv. 6105 e 6109: UNGARO 2018d, 18h, 18i, 410), e di diversa altezza (non abbiamo per ora il confronto scalare), cui dobbiamo aggiungere il n. inv. FT 6108 già descritto, con uno sviluppo di 8 piedi ca., verosimilmente rinvenuto davanti alla facciata della Basilica Ulpia.

La terza serie è rappresentata solo dai grandi esemplari in pavonazzetto, che raggiungono m 3/3,15, e presentano il retro poco lavorato o addirittura a lastra; qui segnaliamo i più significativi al fine di mostrare il metodo applicato. Un'avvertenza: in questa sede non si esaminano le statue collocate sull'arco di Costantino per ragioni di spazio e perché meritano un'analisi puntuale; mi è stato comunque reso possibile effettuare sopralluoghi e documentazione fotografica durante il restauro del lato dell'arco prospiciente il Colosseo, del quale si attende la pubblicazione.

– Dace Foro di Traiano, n. inv. FT 6101, altezza ricostruita m 3,15, retro a lastra scalpellata, gambe parallele, maniche della tunica lunghe, mantello ripiegato sul braccio sinistro, copre il torace e assimila la scultura all'esemplare che segue (Fig. 7, 1);

– Dace Borghese, oggi esposto nel cortile del Palazzo dei Conservatori nei Musei Capitolini, inv. VB 136, h ricostruita m 3,00, struttura analoga al precedente (Fig. 7, 2).

– Dace Foro di Traiano, n. inv. FT 6104 a, h ricostruita m 3,15, il busto è imponente soprattutto per l'ampio mantello lavorato con pieghe a V sul torace, maniche corte, retro appena lavorato (Fig. 7, 3).

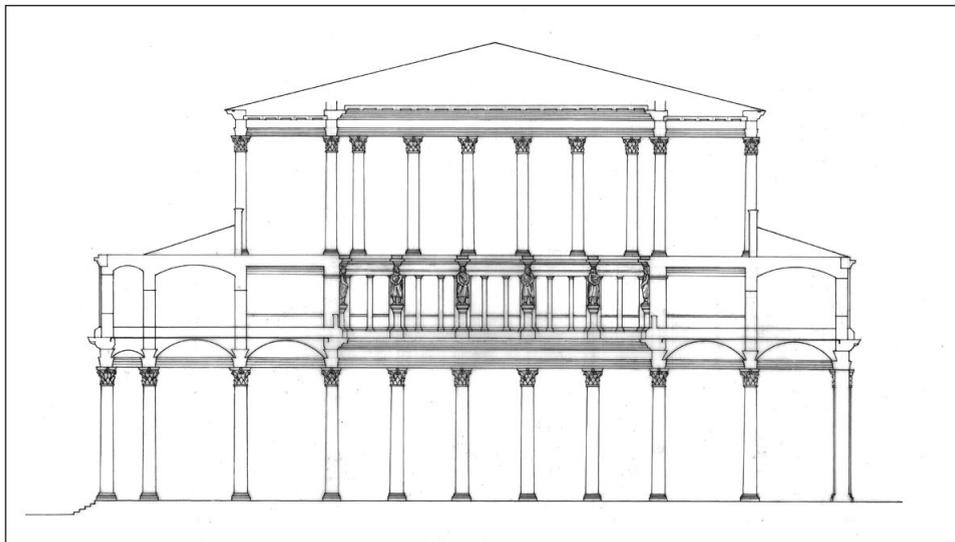


Fig. 8 – Istituto Archeologico Germanico, Archivio Grafico digitalizzato; Heinrich Bauer, Forum Trajani, B 41-201-009 (courtesy Direzione dell'Archivio).

– Dace Horti Farnesiani, inv. 421868, h ricostruita m 3,15, il busto è imponente come il precedente, poco lavorato sul retro, con testa pertinente priva di *pileus*, assimilabile a quella rinvenuta nel Foro di Traiano negli scavi 1812-1814 e oggi nei Musei Vaticani (Braccio Nuovo, inv. 2293) (Fig. 7, 4).

Nel suo taccuino il de Romanis certifica che le statue nn. inv. FT 6101 e 6104 a sono state rinvenute nella navata centrale della Basilica Ulpia, ma insieme ad altri due esemplari che, secondo l'applicazione del sistema scalare, sono di minore altezza, m 2,45 ovvero otto piedi (nn. inv. FT 6107 e 6112; MUZZIOLI 2019, Ms Lanciani 1/3, 173; f 2v, f 3r, 136; UNGARO 2022 c.s., note 40,41).

Heinrich Bauer propone in modo molto suggestivo (forse anche sulla scorta dei suoi studi sulla Basilica Emilia) di collocare le possenti statue dei Daci applicate ad un ordine intermedio della navata centrale della Basilica (DAI, Archivio Grafico, Heinrich Bauer, Forum Trajani, B 41-201-009; Fig. 8).

Vanno infine ricordate le teste colossali rinvenute sempre in quest'area in più riprese associabili alle sculture di maggiori dimensioni⁵.

Per ora, in modo del tutto preliminare, in attesa che vengano pubblicati i dati dello scavo di via Alessandrina, si rileva una forte concentrazione di

⁵ Nella conferenza on line (cfr. nota 5) ho passato in rassegna le teste di maggior interesse, comprese quelle della Collezione Campana acquisite dallo zar di Russia nel 1861 e quelle migrate sempre durante il XIX secolo nella costituenda Ny Carlsberg Glyptotek di Copenaghen.

figure in marmo bianco di altezza 8 piedi ca. nell'area meridionale della piazza e forse dai portici; figure in marmo bianco di 8 e 9 piedi dalla facciata della Basilica Ulpia (in abiti attribuibili a diverse popolazioni); le possenti figure da 10 piedi dall'interno della Basilica ma anche con elementi da 8 piedi⁶.

L'analisi col sistema scalare ha permesso di riconoscere una "gerarchia" tra le statue di grandi dimensioni appartenenti alle gallerie di personalità nel Foro (Fig. 1 e Fig. 11): la statua di Giulio Cesare, oggi nell'Aula consiliare omonima nel Palazzo Senatorio, risulta alta m 2,99 (10 piedi), mentre l'altezza ricostruita della statua frammentaria ma anch'essa loricata rinvenuta nel Foro è di m 2,80 (quasi 9 piedi e mezzo). Il programma figurativo comprendeva personalità di riferimento per Traiano come Giulio Cesare, insieme ad altri personaggi di spicco a lui vicini (UNGARO 2018e; UNGARO 2018a; UNGARO 2018d, scheda catalogo loricato 6, FT 6121, 391-392; scheda catalogo togato 7, FT 6120, 393).

Per quanto riguarda le teste colossali, quelle attribuite a *Traianus Pater*/Nerva e Agrippina Minore/*Marcia* sono state oggetto di presentazione in vari momenti e da ultimo si è aggiunta la testa colossale attribuita a Traiano nel tipo ufficiale dei decennalia – UNGARO 2018a; UNGARO 2018d, schede di catalogo 16 (*Traianus pater*) e 43-44 (Agrippina Minore/*Marcia* e Traiano), 401-402, 438-440. Le tre teste sono state riprese in esame con particolare attenzione al loro possibile sistema di montaggio in antico, soprattutto per la testa colossale di Traiano, alla quale si è potuto riconnettere un terzo frammento secondo il procedimento esplicitato da Valeria Di Cola a seguire (UNGARO 2020, figg. 4 e 7).

È evidente la necessità di sottoporre a nuovo esame le proposte ricostruttive dei principali ordini architettonici di tutti gli edifici e di proseguire il lavoro di verifica diretta e di ricostruzione scalare delle sculture riferibili alla tipologia del Dace e di altre popolazioni vinte e/o inglobate nell'impero romano, con l'obiettivo di redigere un catalogo ragionato delle opere che effettivamente possono essere appartenute al programma figurativo del Foro di Traiano e perfezionare la loro distribuzione nei vari edifici, insieme alle *congeries armorum* e ai clipei, in relazione anche alle gallerie di personalità della famiglia imperiale, dei modelli e dell'entourage dell'imperatore (UNGARO 2018e).

L.U.

⁶ Da ultimo, un flash sugli esemplari realizzati nel prezioso porfido, che ho presentato nella conferenza on line: quelli noti hanno l'altezza variabile tra i m 2,40 (esemplari oggi al Louvre), 2,45 (porfido *capillatus* nel Giardino di Boboli), e i m 2,60 (porfido *pileatus* nel Giardino di Boboli; CAPECCHI 2008, 131-179). Per l'esemplare del Museo dell'Opificio delle Pietre Dure è stata avanzata la proposta di assimilarlo al *capillatus* o ad uno dei porfidi del Louvre, quindi, altezza variabile tra m 2,40 e 2,45 (per cortese comunicazione di Anna Maria Patera, curatrice del Museo dell'Opificio delle Pietre Dure).

3. PER UN RILIEVO DIGITALE DI ALCUNE SCULTURE DEL FORO DI TRAIANO NEL MUSEO DEI FORI IMPERIALI: METODO, STRATEGIA, APPLICAZIONE

Nell'indagine ad ampio raggio svolta da Lucrezia Ungaro sul linguaggio figurativo del progetto architettonico espresso da Traiano nel complesso del suo Foro, si inserisce l'esperienza di rilievo digitale di una cospicua parte di frammenti attribuiti alla decorazione scultorea e architettonica pertinente alcuni edifici del Foro.

La scelta del metodo e delle procedure applicate, che si illustrerà in questa sede, è il frutto di una particolare situazione di contesto, che merita una breve introduzione. L'obiettivo del lavoro svolto è stato quello di documentare, attraverso il rilievo, un cospicuo numero di reperti, per preparare in tempi rapidi una base documentaria sulla quale operare, anche a distanza di tempo, in modo mirato e con ulteriori approfondimenti.

Si è trattato, dunque, di scegliere un metodo di documentazione che consentisse di affrontare una grande quantità di pezzi (ca. 100), di dimensioni varie, anche considerevoli, situati in diversi punti dell'area archeologica dei Mercati di Traiano-Museo dei Fori Imperiali e, dato il peso, inamovibili, in un tempo tutto sommato limitato (ca. 100 giorni), con un solo operatore, andando incontro all'urgenza di raccogliere velocemente tutte le misure utili e metterle a sistema. La scelta, quindi, è stata fortemente orientata all'applicazione di una soluzione che permettesse di gestire virtualmente una vasta quantità di pezzi con una strumentazione portatile (un laptop, un telefono cellulare) e software di base (AutoCAD), a fronte di un monte ore di post-processing in laboratorio che per necessità doveva essere contenuto (su tre mesi di lavoro totale, circa la metà del tempo).

Non ultimo da considerare è proprio l'annoso tema dei software, che molto spesso vede un disallineamento tra i metodi applicati dagli operatori del settore esterni all'Amministrazione, e le reali possibilità di poter visualizzare e utilizzare i prodotti elaborati con le strumentazioni in dotazione ai funzionari interni preposti alla tutela e valorizzazione del patrimonio mobile. Tale circostanza, per altro, incide in modo sostanziale nel formulare la domanda scientifica, alla quale dovrebbe fare seguito l'elaborazione di un prodotto mirato alle esigenze di ricerca. Tutto ciò considerato, nel caso specifico si è cercato di superare l'ostacolo puntando, consapevolmente, a scegliere un metodo che consentisse di guadagnare velocemente i dati necessari, in quella che a tutti gli effetti è stata una ricognizione virtuale preliminare dei pezzi esaminati, e a poterli visualizzare altrettanto agevolmente a schermo.

In questo contributo sono trattate, in modo particolare, le sculture a tutto tondo riconducibili ai Daci, la cui analisi dimensionale ha indirizzato verso una revisione complessiva della loro distribuzione nell'ambito del programma decorativo del complesso del Foro di Traiano. Ad esse si aggiungono alcune

altre statue frammentarie a tutto tondo (“togato”, “loricato”), appartenenti al medesimo contesto ma di soggetto diverso, che sono state ricostruite con lo stesso metodo.

3.1 Il metodo

Come anticipato, il materiale documentato consiste globalmente in circa un centinaio di reperti tra sculture e frammenti architettonici, sia strutturali sia decorativi. Un gruppo di circa dieci sculture a tutto tondo, tutte frammentarie, è stato isolato per focalizzare il lavoro di rilievo sul tema specifico della serialità delle statue riconducibili alla tipologia del Dace e della loro possibile collocazione negli ordini architettonici degli edifici forensi.

Il metodo di rilievo è stato elaborato a partire dall’obiettivo da raggiungere. Dato il contesto del tutto particolare, in questa fase preliminare del lavoro, infatti, si è individuata la necessità di poter visualizzare virtualmente, gli uni accanto agli altri, tutti i reperti scultorei riconducibili ai Daci o alle popolazioni vinte di cui si è rilevata la presenza all’interno del complesso del Foro di Traiano. Ciò ha implicato un importante lavoro di ricognizione di tali sculture anche nelle collezioni romane e non solo, sia pubbliche che private, messo in atto attraverso sopralluoghi e misurazioni dirette dei pezzi, oppure, quando non è stato possibile operare direttamente sui pezzi, attraverso il ricorso alla documentazione fotografica di dettaglio e a misurazioni effettuate su precise indicazioni.

Essendo questo il materiale sul quale lavorare, e considerati gli aspetti logistici e tecnologici sopra illustrati, è stata ideata una strategia del rilievo a partire dall’analisi di alcuni fattori fondamentali. Come sintetizzato nella

Fattori	Tempo	Obiettivi	
Caratteri dell’oggetto archeologico	Peso specifico	100 giorni di cui	Ricognizione pezzi
		50 per sopralluoghi e rilevazioni	Ricomposizione del contesto archeologico
	Misurabilità	50 per post-processing	Ridefinizione del contesto architettonico
Quantità			
Accessibilità	In area archeologica, in museo, in collezione privata		
Tecnologia	Software di base (AutoCad), Laptop (MacBook Pro 13’), Smartphone con fotocamera a 12 Megapixel (iPhone XR)		

Tab. 1 – La strategia del rilievo in sintesi.

Tab. 1, i fattori che hanno orientato la definizione della strategia più adatta ad eseguire il lavoro, combinando al meglio le esigenze della ricerca con la natura stessa dei pezzi da rilevare, sono di tipo sia tecnico sia tecnologico. I fattori tecnici riguardano prima di tutto il peso specifico elevato dei reperti scultorei, che sono stati rilevati senza poterli in nessun caso spostare o ruotare (per una analoga ricognizione *in situ* cfr. CALVELLI *et al.* 2021). Per la stessa ragione, l'accessibilità fortemente condizionata dalla loro collocazione in contesti diversi (area archeologica, museo, collezione privata) ha reso obbligatorio il ricorso alla combinazione di misurazioni dirette sui pezzi con l'elaborazione digitale delle misure. Un caso esemplificativo è costituito dal Giulio Cesare, conservato nella sala omonima a Palazzo Senatorio a Roma, la cui rilevabilità è a dir poco complessa (cfr. *infra* § 3.3).

Il tema della misurabilità, legato al precedente, è stato affrontato cercando di individuare gli elementi interni alle sculture che potessero guidare e orientare il processo di misurazione, sia diretto sia virtuale. Nel caso dei Daci, tali elementi sono parti del vestiario e del corpo, che si è cercato di focalizzare per poter distinguere i vari esemplari non solo in funzione delle altezze ricostruite, ma anche del tipo di individuo rappresentato: in tal senso, anche ad un colpo d'occhio, misurando ad esempio la distanza tra gli elementi, è stato possibile contestualizzare subito il frammento in esame.

Quantità di pezzi e tempo a disposizione hanno rappresentato un altro elemento significativo di valutazione, dal momento che gestire anche solo 100 pezzi di dimensioni da medie a grandi (h massima 2 m), sparse in vari luoghi, ha implicato l'adozione di una soluzione efficace dal punto di vista della visualizzazione del risultato in breve tempo. E a tal proposito, il fattore tecnologico ha inciso in modo significativo. Se l'obiettivo, infatti, è stato fin dal principio fissato al raggiungimento di un set di misure certe, da poter utilizzare per ricostruire filologicamente gli ordini architettonici del Foro di Traiano, non si è potuta considerare altra soluzione che quella del rilievo scalare.

La tecnologia 3D, infatti, solo in via teorica sarebbe stata la scelta ideale. In un primo momento, infatti, si era individuata la combinazione fotogrammetria/modello 3D/rielaborazione in ambiente CAD dei pezzi, ma all'atto pratico non è parsa essere sostenibile rispetto al fattore tempo, alla quantità e all'obiettivo da raggiungere. Per rilevare tutti i pezzi necessari, infatti, sarebbe stato necessario un set di fotografie elevato, una strumentazione non disponibile, software di elaborazione non gratuiti o non performanti in versione base (ad es. Agisoft Photoscan, che in versione base non consente grandi elaborazioni, come noto), ma soprattutto, questa scelta avrebbe implicato una difficoltà di base, da parte del committente, a fruire i dati in un momento delicato come quello della ricerca. Va precisato una volta di più, infatti, che il momento in cui si è avviato il lavoro di rilievo è quello della ricognizione preliminare delle sculture nel più vasto contesto di una ricerca scientifica in corso. Il ricorso al 3D, pertanto, è

stato evitato nel caso dei Daci, ma utilizzato per rilevare i frammenti di sculture monumentali sempre relative al contesto del Foro di Traiano (cfr. *infra* § 3.3).

La scelta preminente, dunque, è ricaduta su un sistema di documentazione basato sulla combinazione fra rilievo diretto e rilievo digitale, nell'ottica di creare un prodotto grafico ottenuto con procedure low-cost (filosofia già applicata in contesti architettonici di grandi dimensioni: SOMMAINI *et al.* 2019, 253-254), ma di alta qualità scientifica, che consentisse la visione sinottica di tutto il patrimonio scultoreo che è stato possibile ricondurre scientificamente al contesto del Foro di Traiano ma attualmente dislocato in più punti. Dal punto di vista strumentale, si è fatto ricorso all'uso di uno smartphone con telecamera da 12 Megapixel (iPhone Xr) per la presa delle immagini fotografiche, che per necessità di lavoro dovevano essere ad una buona risoluzione ma non troppo pesanti, per poi essere elaborate in ambiente CAD. Trattandosi di reperti tutto sommato gestibili ad una distanza ravvicinata (non edifici o complessi monumentali), si è riusciti a tenere sotto controllo le possibili distorsioni ottiche con la redazione di eidotipi misurati dei singoli pezzi. Dovendo processare una grande quantità di pezzi, tale metodo ha consentito di guadagnare subito sia una visione molto dettagliata dei singoli reperti, sia uno sguardo d'insieme. E posti così a confronto, i Daci (ma non solo) hanno rivelato in concreto alcune particolarità dimensionali finora solo ipotizzate o addirittura inaspettate.

Dal punto di vista tecnico, le fotografie dei pezzi sono state prese sempre con lo stesso riferimento metrico interno e in posizione quanto più possibile parallela al piano dei pezzi stessi, facendo ricorso alla griglia interna alla camera per mantenere la perpendicolarità; in parallelo, come si è detto, è stato redatto un dettagliato insieme di eidotipi per tenere sotto controllo le eventuali distorsioni (seppur minime, data l'entità dei frammenti). Una volta inserite in ambiente CAD, le fotografie sono state portate alle dimensioni reali (scala 1:1) grazie al riferimento metrico interno, procedendo poi a tutte le verifiche puntuali per mezzo delle misure prese direttamente sui pezzi. Le fotografie sono poi state scontornate seguendo il profilo dei reperti, per ottenere delle sagome facilmente utilizzabili nel procedimento di ricostruzione.

3.2 Il procedimento ricostruttivo dei Daci

Volendo mettere a confronto le sculture dei Daci coinvolte nello studio (Figg. 3-7) si è ottenuto un primo, importante risultato: i frammenti scultorei sono stati posti in dimensioni reali uno accanto all'altro in una visione d'insieme mai realizzata prima. A partire da questo livello di documentazione dei frammenti, si è proceduto alla elaborazione delle ipotesi di ricostruzione delle figure e soprattutto delle altezze.

Una difficoltà non di poco conto è rappresentata dallo stato di conservazione sempre parziale dei Daci oggetto di analisi: dal momento che nessuno

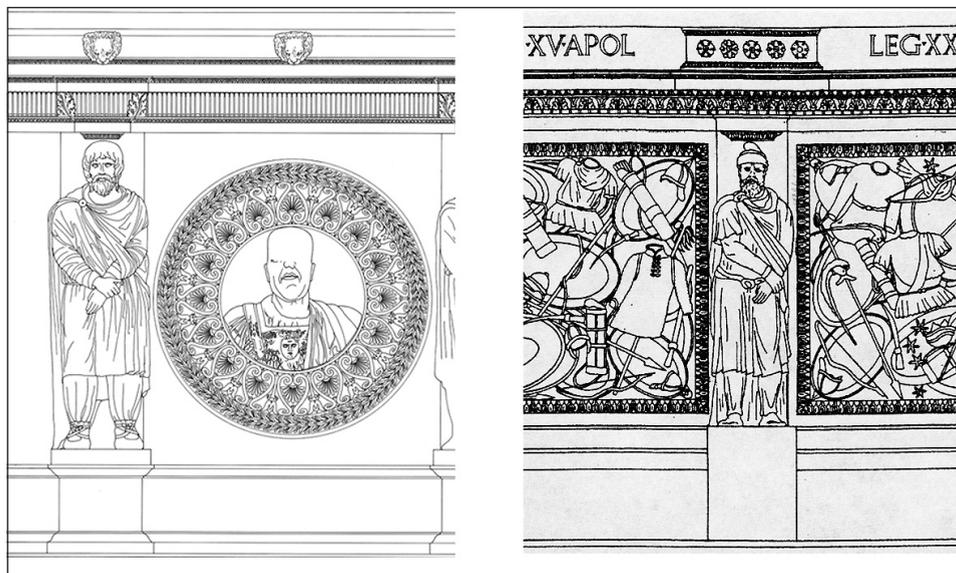


Fig. 9 – Foro di Traiano, le sagome dei Daci: a) dettaglio dell’attico dei portici, tipo oggi inserito nella terza serie; b) dettaglio dall’attico della Basilica Ulpia, tipo oggi inserito nella prima serie (disegni ricostruttivi da UNGARO 2002, 130-131, figg. 2 e 3; elaborazione grafica Studio “Il Laboratorio”).

si conserva integralmente, si è scelto di adottare due sagome già ricostruite nel corso di precedenti lavori di documentazione, per avere un intero, in base al quale scalare le fotografie dei reperti scultorei. Le sagome dei Daci di cui ci si è serviti raffigurano i due tipi maggiormente attestati nel complesso monumentale traiano (UNGARO 2002, 130-131, figg. 2, 3; 334-337; UNGARO 2010, 105-113; UNGARO 2018d, 406-413): uno caratterizzato da una corporatura prestante, chioma folta (o con *pileus*: considerando alcune teste pileate di grandi dimensioni) e vestito con ampio mantello su tunica e pantaloni (Fig. 9a), e l’altro dalla figura più esile e allungata dotato di *pileus* o *capillatus* e vestito in modo analogo ma con diversa disposizione di tunica e mantello (Fig. 9b). Una volta delineate le sagome in ambiente CAD, si è proceduto a scalarle sulle immagini fotografiche dei Daci precedentemente lavorate.

Un punto nodale del lavoro è rappresentato proprio dal metodo di scalatura della sagoma sui frammenti. Si è rivelato necessario trovare uno o più punti di riferimento nelle sculture per poter garantire il giusto dimensionamento, operazione non sempre facile dal momento che lo stato di conservazione delle sculture varia sensibilmente da esemplare a esemplare. Si è comunque individuato un gruppo di elementi che, quando ricorrenti, hanno consentito di verificare la corrispondenza dimensionale fra le statue:

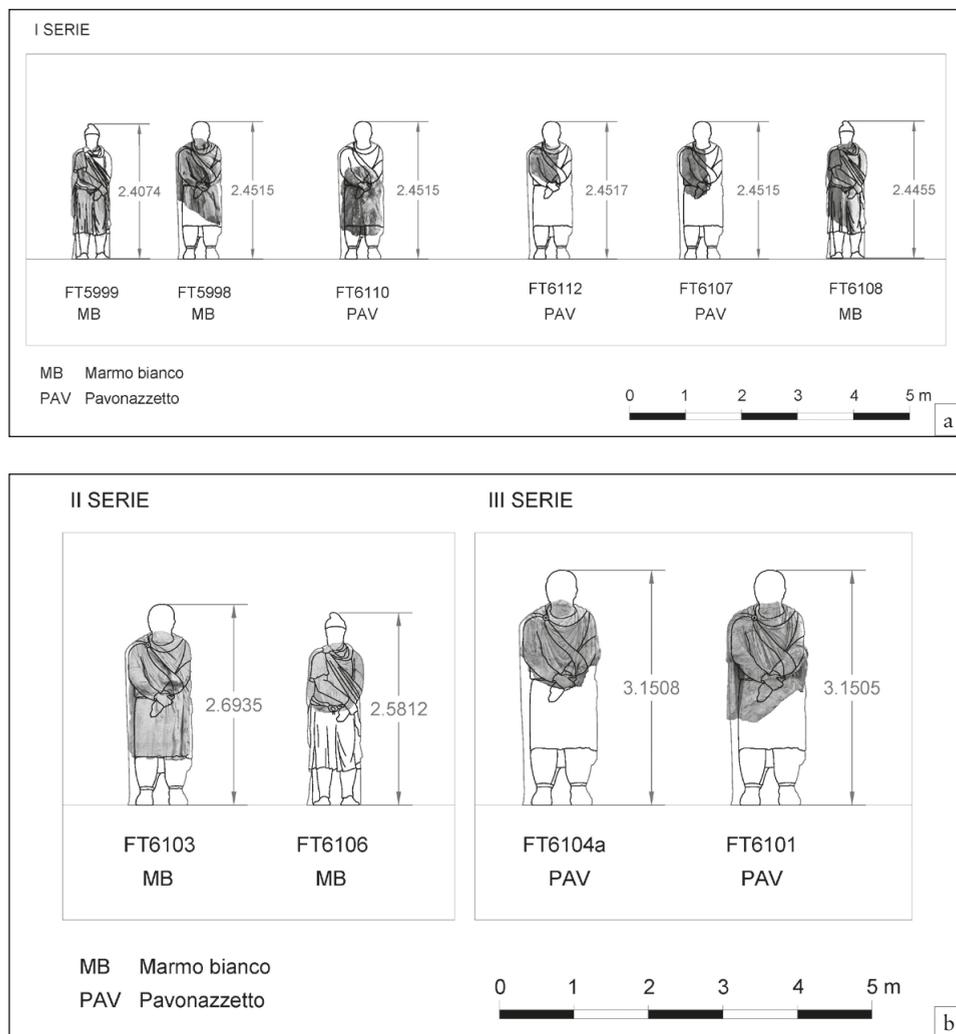


Fig. 10 a-b – Tavola sinottica con le tre serie dimensionali dei Daci, ricostruite a partire dagli esemplari conservati presso il Museo dei Fori Imperiali nei Mercati di Traiano (elaborazione di V. Di Cola).

- la fibula che assicura il mantello sulla spalla;
- l’incavo del gomito dal lato della fibula;
- il *cingulum* che stringe la veste alla vita;
- l’ampiezza delle spalle;
- il ginocchio che sporge dalla veste;
- il profilo del girocollo sul margine anteriore dell’incasso per la testa.

Tali elementi, pur non essendo presenti contemporaneamente, hanno guidato il riconoscimento delle sculture affini dal punto di vista dimensionale offrendo un ulteriore elemento di verifica alla procedura di ridimensionamento delle statue. L'ampiezza delle spalle, in particolare, ha costituito il vero cardine della riduzione in scala e infatti, nei casi in cui non era apprezzabile e non poteva essere affiancata da altri fra gli elementi sopra elencati per l'elevata frammentarietà del pezzo (ad es. i frammenti FT6112 e FT6107), la riduzione in scala dei relativi esemplari è stata piuttosto problematica.

Un altro fattore critico è costituito dalla testa dei Daci. Ad oggi gli esemplari ubicati nel cortile Palazzo dei Conservatori al Campidoglio (Fig. 7, 2) e presso gli Horti Farnesiani (Fig. 3, 4) presentano teste pertinenti senza massicce rilavorazioni post antiche, ma essendo statue parzialmente conservate non è possibile una puntuale verifica del rapporto tra i vari elementi corporei e del vestiario. Naturalmente, la misura della testa è coerente con il busto secondo l'applicazione delle misure vitruviane (testa-corpo = 1:8). Quello della testa è, peraltro, un problema significativo per la definizione dell'altezza complessiva dei Daci, laddove tra quelle dei *capillati* e quelle dei *pileati* possono sussistere differenze dimensionali proprio per la presenza/ assenza del copricapo.

Così procedendo, e considerando tutte le variabili del caso, si è ottenuta una soddisfacente schiera di Daci, ricostruiti in altezza, sulla base della quale sarà possibile tornare a ragionare concretamente sulla loro distribuzione nei diversi ordini architettonici degli edifici, che compongono il complesso del Foro di Traiano (facciata e interno dei portici, interno della navata centrale e facciata della Basilica Ulpia). La messa a sistema del patrimonio scultoreo relativo al programma figurativo, se da un lato ha ampiamente confermato ipotesi pregresse, dall'altro ha sin da subito aperto nuovi scenari di ricerca circa la reale collocazione dei Daci nell'architettura monumentale del Foro, anche alla luce del riesame delle fonti d'archivio (UNGARO 2022 c.s.). Il confronto simultaneo tra tutti i Daci, infatti, ha evidenziato una distribuzione dei frammenti scultorei in tre gruppi dimensionali, di cui due già noti, da m 2,40-2,45 m e da m 3,00-3,15 di altezza, e uno già segnalato ma non documentato in modo sistematico posto a metà fra i precedenti, da 2,70 m ca. (Fig. 10).

3.3 Il procedimento ricostruttivo delle altre sculture: "togato", "loricato" e frammenti di statue colossali

Tra i reperti documentati ci sono alcune sculture, sempre frammentarie, raffiguranti in particolare un togato, un loricato, teste monumentali, attribuite ad Agrippina Minore/Marcia, *Traianus pater*/Nerva e Traiano (UNGARO 2018a; UNGARO 2018d, schede di catalogo 6-7 statue, 16, *Traianus pater* e 43-44, Agrippina Minore/Marcia e Traiano, 391-393, 401-402, 438-440,

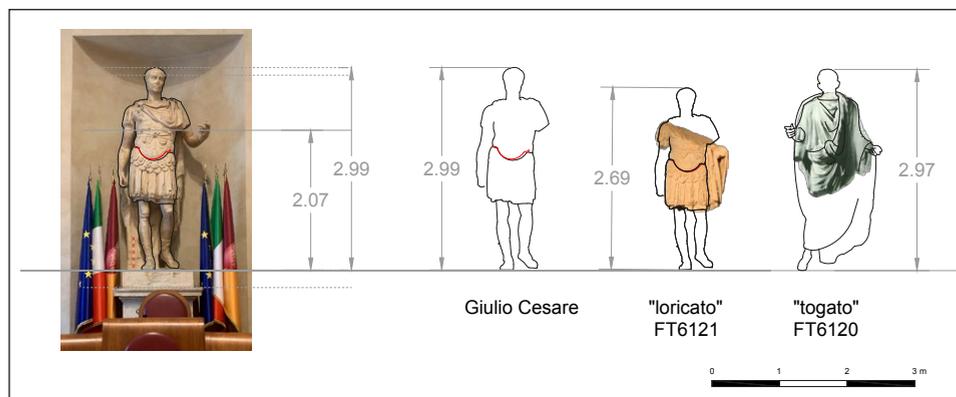


Fig. 11 – Il procedimento ricostruttivo delle sculture frammentarie sulla base di due tipi di confronti stilisticamente affini: confronto dal vero (Giulio Cesare in Campidoglio) oppure tratto dall'edito (Augusto di Aquileia) (elaborazione di V. Di Cola).

UNGARO 2020, con bibliografia precedente e confronti), infine quello che sembra essere l'alluce destro di una statua altrettanto monumentale, per ora non edito.

Per quanto riguarda le statue di togato e loricato, l'acquisizione delle immagini è stata effettuata nel primo caso attraverso una foto d'archivio, e scalata con il riferimento metrico interno, mentre nel secondo caso con il metodo sopra illustrato. Una volta portate in ambiente CAD, come nel caso dei Daci, le immagini sono state scontornate seguendo il profilo del frammento. Le relative sagome intere da scalare sul frammento conservato sono state ricavate in due modi differenti.

La sagoma del loricato è stata desunta dal Giulio Cesare conservato in Campidoglio (Palazzo Senatorio, Aula Giulio Cesare), la cui altezza è stata peraltro precisata in 3 m ca. proprio in questa circostanza con il metodo fin qui illustrato. Appartenendo allo stesso tipo iconografico, la sagoma del Giulio Cesare è stata adattata, in scala, al loricato mancante delle gambe, del braccio destro e della testa, prendendo a riferimento il particolare profilo curvo della porzione inferiore della lorica, essendo l'unico elemento comune alle due sculture. Ne è risultato un esemplare di 2,80 m ca. (Fig. 11).

Quanto al togato, del quale si conserva solo il busto, come per il loricato, si è tratta la sagoma intera dall'edito, prendendo a riferimento l'Augusto togato da Aquileia (ROSE 1997, tav. 58). La sagoma adattata, in scala, al frammento dal Foro di Traiano, lavorata ancorando in modo particolare la prestanta delle spalle, ha restituito un esemplare di 2,97 m (Fig. 11).

Per quanto riguarda i frammenti relativi alle tre teste, la documentazione di partenza per il procedimento ricostruttivo è, in questo caso, varia.

Le teste sono state infatti già raffigurate in rilievi diretti in scala⁷, che sono stati scalati prendendo misure di controllo sugli originali: è il caso della testa attribuita a *Traianus Pater*/Nerva. Nel caso, invece, della testa frammentaria attribuita ad una statua colossale di Traiano si è utilizzato un sistema misto: rilievi diretti dimensionati dei frammenti dell'occhio e dell'orecchio e modello 3D del frammento del cranio scolpito con le ciocche della capigliatura⁸, recentemente attribuito alla scultura da L. UNGARO (2020, figg. 4 e 7). I profili interi delle tre teste erano già disponibili nell'archivio disegni della Sovrintendenza, dunque, non c'è stato bisogno di recuperare sagome intere da utilizzare allo scopo. Quel che invece è stato fatto per dare giusta collocazione al terzo frammento della testa di Traiano è stato il ricorso al confronto diretto con gli esemplari di teste di Traiano conservate ai Musei Capitolini, fotografate con riferimento metrico interno proprio per poter essere ingrandite e paragonate alla sagoma colossale della testa oggetto di ricostruzione. La difficoltà rappresentata dalla bassa percentuale del totale conservato non ha facilitato l'individuazione della posizione del frammento del cranio. In tal caso, poter usufruire del modello 3D del frammento ha significato ottenere delle fotografie, pur bidimensionali, ruotate in posizioni differenti fino al raggiungimento dell'inclinazione definita in base al confronto con le teste integre capitoline

V.D.C.

4. CONCLUSIONI

Il potenziale offerto dal metodo di rilievo messo a punto sui contesti provenienti dal complesso del Foro di Traiano è evidente in termini di rapidità di documentazione ed elaborazione dei dati, agilità di gestione, consultazione e uso degli stessi e sostenibilità economica ai fini della ricerca scientifica. Tra i primi importanti risultati conseguiti si annoverano la visione simultanea delle diverse grandezze rappresentate dai Daci e il puntuale confronto con esemplari dislocati altrove rispetto alla sede museale, ovviando così ai problemi (tempi, costi) relativi alla mobilitazione di reperti così pesanti e fragili al tempo stesso. Tale sistema ha naturalmente beneficiato dell'esito degli studi e della documentazione pregressi e di quelli tuttora in corso, con l'intreccio del dato archeologico, rappresentato dalle sculture rinvenute in più occasioni e tempi nell'area archeologica, le fonti d'archivio e il confronto con l'edito.

È altresì ovvio il possibile limite rappresentato da una visione bidimensionale del materiale esaminato, ma a questo proposito si è considerata

⁷ Realizzate da Maria Luisa Vitali e pubblicati in più sedi, da ultimo UNGARO 2018d e 2020.

⁸ I rilievi 3D sono stati eseguiti da 3D Research s.r.l.

fondamentale la necessità di avere in tempi rapidi un'informazione misurata e piuttosto precisa sull'insieme delle sculture, con lo scopo di indagarne gli aspetti materiali e la serialità della produzione in relazione ai più noti caratteri stilistici.

Nel caso delle teste, e in particolare della testa colossale di Traiano, il metodo di rilievo applicato ha consentito di gestire e far dialogare prodotti grafici ottenuti con tecniche diverse, fatto non secondario specie nel caso di archivi vivi e in continuo aggiornamento, di contenuti e di tecnologie di acquisizione, come quelli della Sovrintendenza.

I risultati ottenuti, benché parziali e passibili di revisioni future, invitano a proseguire le ricerche e ad estendere ad altri contesti il metodo, per ampliare la base di conoscenza e di sperimentazione.

L.U., V.D.C.

LUCREZIA UNGARO

già Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali
Musei dei Fori Imperiali
lucreziaungaro@hotmail.it

VALERIA DI COLA

Dipartimento di Studi Umanistici
Università Roma Tre
valeria.dicola@uniroma3.it

Ringraziamenti

Si ringrazia il Direttore dei Musei archeologici e storico-artistici, Claudio Parisi Presicce, grazie al quale il lavoro sulle sculture frammentarie è stato reso possibile attraverso l'inclusione nel piano di catalogazione 2019 del rilevamento tridimensionale di reperti mobili affidato alla società 3d Research, con il contributo di Valeria Di Cola. Si ringrazia la Direzione dell'Istituto Archeologico Germanico in Roma (professor Ortwin Dally) e la Direzione della Biblioteca e dell'Archivio (professor Thomas Froehlich, dottoressa Valeria Capobianco) per aver facilitato l'accesso di Lucrezia Ungaro alla documentazione del compianto Heinrich Bauer, malgrado le restrizioni dovute alla pandemia. Si ringraziano tutte le Istituzioni pubbliche e private che con liberalità hanno facilitato l'accesso a monumenti e collezioni: la Fondazione Torlonia, Laboratori Torlonia per il restauro delle opere; l'Amministrazione Boncompagni Ludovisi, Casino Boncompagni Ludovisi (dell'Aurora Ludovisi); i Musei Vaticani, Braccio Nuovo e Galleria Chiaramonti; il Parco Archeologico del Colosseo, Arco di Costantino, Horti Farnesiani; le Gallerie degli Uffizi, Giardino di Boboli, Palazzo Pitti; il Museo Opificio delle Pietre Dure; il Museo Archeologico Nazionale di Napoli, Collezione Farnese; la Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali, Museo dei Fori Imperiali. Si ringraziano in particolare Claudia Valeri per la cordialità e per la disponibilità con le quali ha facilitato i sopralluoghi nei Musei Vaticani, malgrado le restrizioni dovute alla pandemia; le colleghe Barbara Nazzaro e Federica Rinaldi per l'accesso all'arco di Costantino durante il restauro.

BIBLIOGRAFIA

- CALVELLI L., SPERTI L., PILUTTI NAMER M., DELPOZZO E. 2021, *Misurazioni digitali non invasive di spolia veneziani: innovazioni di metodo e proposte di applicazione*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 175-194 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.1.2021.10>).
- CAPECCHI G. 2008, *I Barbari Daci fiorentini. Forma e colore di un'immagine di vittoria*, in G. CAPECCHI, M.G. MARZI, V. SALADINO, *I Granduchi di Toscana e l'antico. Acquisti, restauri, allestimenti*, Biblioteca dell'«Archivum Romanicum», serie I, 352, Firenze, Leo S. Olschki, 131-179.
- MENEGHINI R. 2018, *Il Foro di Traiano*, in PARISI PRESCICCE *et al.* 2018, 257-262.
- MUZZIOLI M.P. 2019, *Antonio de Romanis: disegni e appunti nelle raccolte Lanciani dell'Istituto Nazionale di Archeologia e Storia dell'Arte*, Roma, «Rivista dell'Istituto Nazionale d'Archeologia e Storia dell'Arte», 42.
- PAOLUCCI F. 2019, *Traiano a Firenze*, in G. DI PASQUALE (ed.), *L'arte di costruire un capolavoro: la Colonna Traiana*, Catalogo della mostra, Firenze, Giunti.
- PARISI PRESCICCE C., MILELLA M., PASTOR S., UNGARO L. (eds.) 2018, *Traiano. Costruire l'Impero, creare l'Europa*, Catalogo mostra, 2ª ed., Roma, De Luca Editori d'Arte.
- ROSE CH.B. 1997, *Dynastic Commemoration and Imperial Portraiture in the Julio-Claudian Period*, Cambridge, Cambridge University Press.
- 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>).
- TUCCINARDI S. 2019, *Statua (non finita) di Dace prigioniero*, in S. SETTIS, C. GASPARRI (eds.), *I Marmi Torlonia. Collezionare Capolavori*, Catalogo della mostra, Milano, Electa, 190-191.
- UNGARO L. 2002, *I Daci dal Foro di Traiano*, in M. DE NUCCIO, L. UNGARO (eds.), *I marmi colorati della Roma imperiale*, Catalogo della mostra, Venezia, Marsilio, 128-133; 334-337.
- UNGARO L. 2007 (ed.), *Il Museo dei Fori Imperiali nei Mercati di Traiano*, Milano, Mondadori-Electa.
- UNGARO L. 2010, *La Dacia a Roma: statue di Daci e il Foro di Traiano*, in E. OBERLÄNDER-TÄRNOVEANU, L. UNGARO (eds.), *Ori antichi della Romania prima e dopo Traiano*, Catalogo della mostra, Milano, Silvana, 105-113.
- UNGARO L. 2018a, *Il potere ritratto nel Foro di Traiano*, in PARISI PRESCICCE *et al.* 2018, 91-98.
- UNGARO L. 2018b, *Daci e barbari deportati: dallo stereotipo all'esibizione nel foro, regalità e violenza*, in PARISI PRESCICCE *et al.* 2018, 146-150.
- UNGARO L. 2018c, *Simboli e immagini del trionfo in marmo: "barbari", romani e congeries armorum nel Foro di Traiano*, in PARISI PRESCICCE *et al.* 2018, 291-296.
- UNGARO L. 2018d, Schede di catalogo, in PARISI PRESCICCE *et al.* 2018, 406-413, 438-440, 458-461.
- UNGARO L. 2018e, *Traiano e la costruzione della sua immagine nel Foro*, «Veleia», 35, 151-177.
- UNGARO L. 2020, *Sculture colossali nell'atelier del Foro di Traiano*, in J.M. NOGUERA, L. RUIZ (eds.), *Escultura romana en Hispania IX*, «Yakka. Revista de estudios veclanos», 27, 23-32.
- UNGARO L. 2022 c.s., *La conoscenza e la rappresentazione dei Fori Imperiali e dei Mercati di Traiano dall'era analogica a quella digitale: strutture e materiali dell'area traiana*, in PH. FLEURY, S. MADELEINE (eds.), *Topographie et urbanisme de la Rome antique, Actes du Colloque (Université de Caen Normandie 2019)*, Caen, in corso di stampa.

ABSTRACT

The Forum built in Rome by Trajan is a match of his political and military virtues: the defeated populations materialize with statues and high-reliefs in precious marble and are therefore an integral part of the marble triumph of the emperor and the Roman army. The statues of the Dacians are distributed on the most visible architectural parts of the complex, and they have different size, as well as different back surface treatment, depending on their location. In order to reconstruct the architectural composition together with the sculptural apparatus, a complete metrological analysis of the sculptures has been undertaken, alongside the examination of the material features of Daci statues (clothing, surface treatment) and of data yielded by archives and excavations that took place in the past centuries and recently in the 21st century. The work has been based on a method measuring bi-dimensional photographic shaped-set of all the Daci dispersed in several art collections, starting from the idea of working with a low-cost method without specific expensive software. The workflow combines bi-dimensional images, scaled to 1:1 reference, imported in AutoCAD in order to produce a single .dwg file, with good resolution but easy-to-manage during the data processing. Some interesting, albeit preliminary, goals have been achieved. In the first place, a measured catalogue of all the Dacian statues dispersed in the world has been quickly built. It was therefore possible to start the reconstruction, at least virtual, of the sculptural context of Trajan's forum. Regarding the size and archaeological aspect of the sculptures, three dimensional series of Dacians have been grouped, which contributed, on the one hand, to confirm the results of previous studies, and on the other to advance the knowledge with new data.

I BRONZI DI PUNTA DEL SERRONE (BR): DALLA RICERCA ARCHEOLOGICA ALLA COMUNICAZIONE MULTIMEDIALE

1. DAL RINVENIMENTO ALLE RECENTI INIZIATIVE DI VALORIZZAZIONE: IL VIAGGIO “MODERNO” DEI BRONZI

Uno slancio innovativo alle ricerche sui bronzi di Punta del Serrone hanno dato le tecnologie digitali utilizzate in recenti progetti di comunicazione multimediale che, promossi da Rita Auriemma nel quadro di azioni di valorizzazione del patrimonio subacqueo salentino, hanno riaperto i riflettori su quest'importante complesso di sculture scoperto, trent'anni fa, poco a N di Brindisi, sul fondale adriatico.

Il rinvenimento dei bronzi avviene il 19 luglio 1992, a coronamento di una stagione ricca di tesori restituiti dal mare, definita, dall'allora ministro dei Beni Culturali Alberto Ronchey, «l'estate delle sorprese» (MOLLICA 1992, 11). A svelare la “sorpresa” nascosta nelle acque di Punta del Serrone è il comandante del Gruppo Carabinieri di Brindisi cui si deve, durante un'immersione di addestramento, la casuale individuazione, a 400 m dalla riva e 16 di profondità, dei primi reperti (ANDREASSI 2010; MARINAZZO 2010b). All'immediata segnalazione del recupero segue l'avvio degli scavi che, effettuati dal Servizio Tecnico per l'Archeologia Subacquea (STAS - Ministero per i Beni culturali e ambientali), con la direzione della Soprintendenza Archeologica della Puglia, portano alla luce, tra il 6 agosto e il 2 settembre, un possente torso virile, una statua di giovinetto parzialmente conservata nonché sette teste e duecento frammenti di volti, capigliature, arti e panneggi, databili in un ampio arco cronologico compreso tra la metà del IV sec. a.C. e il II d.C. (ANDREASSI, COCCHIARO 1992; COCCHIARO 2010; MOCHEGIANI CARPANO 2013, 201-202). La “fattura eccezionale” dei reperti meglio conservati, subito fatti conoscere al pubblico attraverso i media, suscita l'entusiasmo degli studiosi che, da elementi quali la fine cesellatura delle teste e la presenza degli occhi, deducono la pertinenza dei frammenti a statue già finite, escludendo un'interpretazione come scarti di fonderia.

Per i bronzi di Punta del Serrone, salutati da Sabatino Moscati come «la più grande scoperta archeologica dell'estate che muore» (MARINAZZO 2010b, 20), inizia nei giorni immediatamente successivi allo scavo il lungo viaggio che porterà alla loro musealizzazione. In questo percorso una tappa fondamentale è rappresentata dai restauri realizzati in sedi differenti: a Brindisi, nel laboratorio del Museo Archeologico, il pronto intervento sui reperti effettuato subito dopo il recupero (MARINAZZO 2010b); a Firenze, nel Centro della Soprintendenza Archeologica della Toscana, le attività di pulitura, conservazione e integrazione condotte sul torso e sulla statua (DE MARINIS, MICCIO 2010); a Roma, presso l'ICR, le analisi archeometriche che riscontrano sui frammenti restauri antichi,

terminali distorti e fratture, pertanto i segni inequivocabili che le sculture, dopo un periodo di esposizione, furono deliberatamente ridotte a rottami destinati alla fusione (DE PALMA, FIORENTINO 2003; DE PALMA 2010).

Una tappa significativa nella storia dei bronzi rappresenta, tra il 1995 e il 2008, l'esposizione delle sculture restaurate in prestigiosi luoghi della cultura: diffusa ammirazione suscita, in particolare, l'eccezionale statua che, ottenuta ricongiungendo il torso virile con la testa del cd. "principe ellenistico", raffigura un esponente della sfera politico-militare, con molta probabilità Lucio Emilio Paolo, il comandante romano che sconfisse a Pidna, nel 168 a.C., Perseo di Macedonia (MORENO 2003; MARINAZZO 2010b, 28-36; DAEHNER 2015). Nel 2009 le sculture trovano la loro definitiva collocazione nel nuovo allestimento del Museo Archeologico "Francesco Ribezzo" di Brindisi, in una sezione appositamente creata per ospitare i reperti metallici e ceramici da Punta del Serrone (MARINAZZO 2010b, 46). La sezione dei bronzi è arricchita da pannelli che, oltre a illustrare la scoperta, i restauri e le ipotesi sulla formazione del giacimento, forniscono l'inquadramento stilistico, corredato di disegni ricostruttivi, delle statue, di dimensioni reali e colossali, che formano il complesso: figure ideali, intellettuali, imperatori e personaggi al potere, membri di famiglie prestigiose.

Lo studio storico-artistico dei bronzi, affidato in occasione dell'allestimento a chi scrive (MANNINO 2010), ha consentito di mettere a fuoco elementi utili per formulare, per l'intero complesso, un'ipotesi di lettura basata su alcuni punti fermi. Innanzitutto è possibile indicare con certezza l'area di provenienza dei reperti. Elemento chiave per l'individuazione è la statua del giovinetto, l'unica scultura bronzea nota di Vibullius Polydeukion (MANNINO 2010, 111-114; MANNINO 2012a), l'allievo prediletto dell'intellettuale e mecenate ateniese Erode Attico, maestro di Marco Aurelio e Lucio Vero. Di Polydeukion si conoscono numerose immagini marmoree, tutte provenienti dalla Grecia, dove erano collocate sia nelle ville che Erode possedeva in Attica e nel Peloponneso (Loukou), sia in contesti sacri collegati al celebre sofista (MANNINO 2012a, 472-475; GOETTE 2019, 239-246, 252-255). Nel complesso dei bronzi anche altre sculture sono collegate con Erode Attico, in particolare la testa e il braccio di una statua di bambina (MANNINO 2012b), un frammento di testa confrontabile per l'acconciatura a quella di Polydeukion, un ritratto di Elio Cesare, il principe, padre di Lucio Vero, la cui immagine è attestata a Loukou (MANNINO 2013).

Confermano la provenienza dei bronzi dalla Grecia, o comunque dal Mediterraneo orientale, le lettere "kappa" ed "epsilon", interpretate come numero di inventario ("venticinque"), incise sulla statua del cd. Lucio Emilio Paolo (MANNINO 2010, 106, con bibl.). Per quanto attiene al luogo di esposizione dei bronzi, pur non essendo possibile escludere che il complesso sia costituito da rottami frutto di una casuale raccolta in diversi siti della Grecia, i dati disponibili suggeriscono di riferire tutte le sculture a un unico contesto in relazione con Erode Attico (MANNINO 2012b, 329-330). I bronzi potrebbero aver ornato una delle

ville del sofista, che, com'è noto, erano ricche di opere d'arte di varia cronologia oppure un santuario, a mio avviso quello di Apollo a Delfi, dove sono attestate basi iscritte di statue di Polydeukion e di membri della famiglia di Erode Attico (MANNINO 2012a, 475). La collocazione in un santuario spiegherebbe, fra l'altro, l'ampio arco di datazione delle statue iconiche e ideali pertinenti al complesso.

Le sculture di bronzo, oggi a Brindisi, tra IV e V sec. d.C. raggiungono l'Adriatico, ormai fatte a pezzi e imbarcate, come metalli da riciclare, su una nave che, in prossimità di Punta del Serrone, trovandosi in difficoltà, affonda o abbandona il "prezioso carico di rottami" (AURIEMMA 2010). E come "rottami preziosi", nel 2017, i bronzi di Punta del Serrone approdano a Trieste per essere esposti nella mostra *Nel mare dell'intimità. L'archeologia subacquea racconta l'Adriatico* (AURIEMMA 2018; MANNINO 2018). In quella circostanza, la curatrice scientifica dell'evento, Rita Auriemma, matura l'idea progettuale di utilizzare le tecniche di modellazione e ricostruzione tridimensionale per mostrare al pubblico, accanto ai frammenti delle sculture, le statue come dovevano ipoteticamente apparire in antico quando, integre e imponenti, suscitavano, in chi le ammirava, apprezzamento e stupore. Il progetto, finanziato dalla Regione Puglia, viene realizzato, grazie all'impegno di Luigi De Luca, per la mostra di archeologia subacquea incentrata sul Salento allestita nel 2019 presso l'Aeroporto di Brindisi (ANTONAZZO, AURIEMMA, TINUNIN 2019; MANNINO 2019a). Il mare, voce parlante dell'esposizione, narra ai viaggiatori storie di navi, approdi, naufragi e merci e, fra questi racconti, l'avventura dei bronzi di Punta del Serrone è illustrata, con emozionante efficacia, nel video di Giuliano De Felice e Velia Polito.

Il 2019 segna per i bronzi l'inizio di un nuovo viaggio. Questa volta, tuttavia, a spostarsi non sono i reperti, bensì le ricostruzioni 3D che, mediante la comunicazione multimediale, raggiungono la Cina in occasione della mostra itinerante *Portus. Il mare degli antichi romani* (MANNINO 2019b). Il viaggio dei bronzi continua ancora oggi. Dal 16 al 19 dicembre 2021, a Firenze, nell'ambito di TourismA, il Salone dell'Archeologia e del Turismo Culturale, i modelli delle sculture brindisine sono stati infatti presentati nel quadro delle iniziative di valorizzazione del patrimonio sommerso promosse dalla Regione Puglia e coordinate dall'Euromediterranean Seascapes Archaeology Center: nello stand, accanto alle immagini dei bronzi ricostruiti, spiccava la stampa 3D – di dimensioni pari al vero – della ricostruzione ipotetica del cd. Lucio Emilio Paolo, il capolavoro della scultura antica da sempre "icona" del complesso di Punta del Serrone¹.

K.M.

¹ La stampa 3D della statua virile è stata esposta per la prima volta in occasione della fiera internazionale della subacquea EUDI Show 2020 (Bologna, 28 febbraio-1 marzo 2020), Progetto "Puglia Seascapes", azione Destinazione Puglia, attuato dal TPP-Consorzio per le Arti e la Cultura per il Servizio Turismo (Dipartimento Economia della Cultura, Turismo e Valorizzazione del Territorio), con il coordinamento scientifico di Rita Auriemma (Università del Salento). Attualmente è esposta nel Museo Ribezzo di Brindisi.



Fig. 1 – Brindisi, Museo Archeologico “Francesco Ribezzo”. Statue di bronzo da Punta del Serrone (BR). Da sinistra a destra: ala di Nike; statua di Polydeukion; statua del cd. Lucio Emilio Paolo (“Principe ellenistico”); testa di filosofo; ritratto di Tiberio; braccio e testa-ritratto di bambina (scansione laser 3D e rendering Adriana Bandiera, SIBA-Università del Salento). Su concessione del MIC - Soprintendenza Archeologia, Belle arti e Paesaggio per le province di Brindisi e Lecce.

2. DAI FRAMMENTI ALL’INTERO: I MODELLI 3D DEI BRONZI

I modelli 3D dei bronzi presentati nella mostra *Nel mare dell’intimità. L’archeologia subacquea racconta il Salento* sono il prodotto di un progetto sviluppato, con la direzione scientifica di chi scrive, da una équipe di professionisti. Il primo step del progetto, condotto da Adriana Bandiera (Coordinamento SIBA, Università del Salento), è consistito nell’acquisizione ed elaborazione digitale, mediante scanner laser ad altissima risoluzione, di una selezione di sculture (Fig. 1). In particolare, nel video sui bronzi, progettato e edito per la mostra da Giuliano De Felice, figurano le immagini digitali della statua di Polydeukion (Fig. 2) e di due teste quasi integralmente conservate (filosofo della metà del IV sec. a.C., forse Antistene, allievo di Socrate e fondatore della setta dei Cinici: MORENO 2001; imperatore Tiberio: HERTEL 2013, 147, cat. 26).

Di altre tre sculture frammentarie e di difficile lettura per il pubblico (cd. Lucio Emilio Paolo; ala di Nike; testa e braccio di bambina), Matteo Toriello (3D Box Creative LAB) ha effettuato la modellazione creativa e la restituzione ipotetica delle statue, riproducendo tutti i dettagli e, nel modo più fedele possibile, il colore dell’originale. Come base di partenza per la modellazione di ciascuna statua sono stati utilizzati i disegni ricostruttivi, ideati da chi

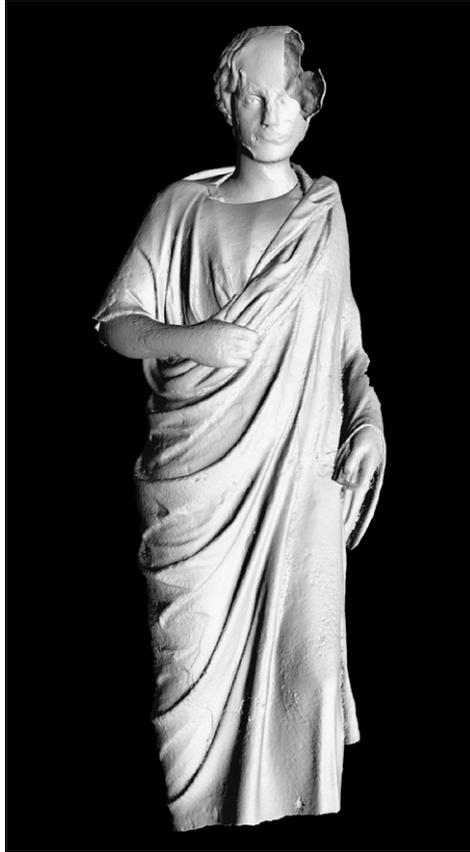


Fig. 2 – Brindisi, Museo Archeologico “Francesco Ribezzo”. Statua di bronzo di Polydeukion (scansione laser 3D e rendering Adriana Bandiera, SIBA-Università del Salento). Su concessione del MIC - Soprintendenza Archeologia, Belle arti e Paesaggio per le province di Brindisi e Lecce.

scrive su base scientifica e realizzati graficamente da Fabiola Malinconico (Dipartimento di Beni Culturali, Università del Salento). Le restituzioni grafiche della Nike e della bambina costituiscono la rielaborazione dei disegni ricostruttivi prodotti nel 2009 per i pannelli della sala bronzi del Museo di Brindisi (MANNINO 2012b, 323). Su disegni appositamente effettuati per la mostra nell’Aeroporto del Salento si basa invece l’ipotesi ricostruttiva della statua, databile al II sec. a.C., del cd. Lucio Emilio Paolo, convenzionalmente denominata anche “Principe ellenistico”.

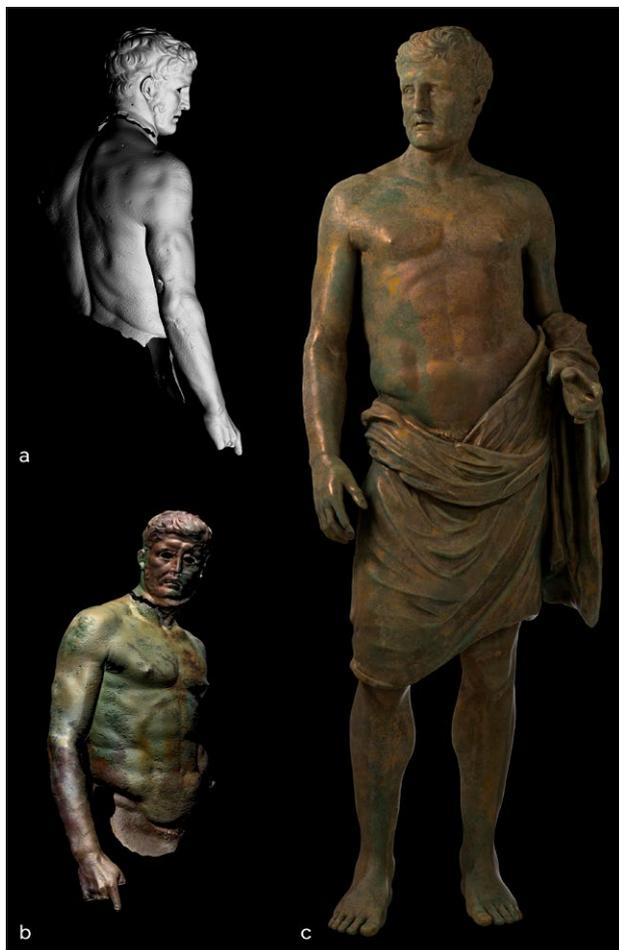


Fig. 3 – Brindisi, Museo Archeologico “Francesco Ribezzo”. Statua di bronzo del cd. Lucio Emilio Paolo (“Principe ellenistico”) (a-b: scansione laser 3D e rendering Adriana Bandiera, SIBA-Università del Salento; c: modellazione creativa e restituzione ipotetica 3D M. Toriello, 3D Box Creative Lab). Su concessione del MIC - Soprintendenza Archeologia, Belle arti e Paesaggio per le province di Brindisi e Lecce.

La scultura raffigura, a grandezza naturale, un imponente uomo stante, dall’aspetto altero e risoluto, reso con il braccio destro appena flesso disteso lungo il fianco, e la testa, dalla chioma a morbide ciocche scomposte, caratterizzata dalla *barbula* e occhi ravvicinati infossati nelle orbite (oggi prive dei bulbi). La determinazione del personaggio si coglie nella torsione del collo e

del busto, un movimento che amplifica la forza espressiva del volto vibrante, animato dalle labbra dischiuse, il naso volitivo e la fronte aggrottata. La scansione 3D della scultura ha consentito di verificare che il torso possente, dalla schiena perfettamente scolpita e pettorali e addome ben definiti, era completamente scoperto. Nella statua di bronzo si legge invece chiaramente il punto dove, lungo il margine inferiore del torso, si innestava il mantello, oggi perduto. Quest'ultimo, che doveva essere drappeggiato in modo da nascondere il bacino e parte delle gambe lasciando intravedere i peli pubici, formava sul ventre un rotolo trasversale che ricadeva sull'avambraccio sinistro, piegato e avanzato, in un fascio di pieghe.

La modellazione 3D valorizza l'aspetto vigoroso del torso nudo proponendo un'immagine del personaggio con la gamba sinistra di appoggio e i piedi nudi ben piantati a terra (Fig. 3). Per ipotizzare le parti mancanti della statua elementi utili hanno fornito sculture ispirate a modelli del IV sec. a.C.: per integrare il mantello e il braccio sinistro con l'avambraccio proteso, un punto di riferimento ha rappresentato l'Efesto dalla villa romana di Formello a Palombara Sabina (PAPINI 2010; 2015, 22-43); per la ponderazione si è tenuta presente la statua funeraria di un giovane – il cd. Hermes – scoperta ad Atalanti (Grecia Centrale) e realizzata in età imperiale riprendendo un tipo del tardo IV sec. a.C. (KALTSAS 2002, 251, n. 524).

Al periodo ellenistico si data anche l'ala destra, a doppia valva, della statua, di dimensioni superiori al vero (circa m 2), raffigurante Nike (Fig. 4). Della statua si conserva anche un frammento pertinente all'altra ala (MANNINO 2010, 99). La resa del piumaggio sulla faccia esterna di entrambi i reperti – la faccia interna è liscia – suggerisce che la dea fosse in posizione eretta, intenta a incedere con andatura solenne simile nell'atteggiamento alla Vittoria con trofeo, un tipo statuariao ellenistico noto da copie marmoree di età imperiale (ISLER-KERENYI 1970; RABE 2008, 188-189). Questo tipo statuariao è stato ripreso nella ricostruzione 3D della Nike di Punta del Serrone per modellare l'immagine, maestosa e imponente, della dea in movimento con la parte inferiore del corpo nudo avvolta nel mantello, il braccio destro sollevato e nella sinistra protesa una corona.

Nella ricostruzione della Nike di Punta del Serrone, la testa si ispira a quella della Vittoria di Brescia, un'opera della prima età imperiale che riprende un originale di fine IV sec. a.C. (MORANDINI, PATERA 2021). Una datazione in età ellenistica della Nike di Punta del Serrone è suggerita da due elementi: le statue romane della dea presentano ali a fusione piena (e non a doppia valva); le analisi dell'ICR hanno riscontrato nel reperto brindisino una bassa percentuale di piombo, fatto che induce a escludere una datazione in età imperiale (DE PALMA, FIORENTINO 2003, 110-116).

La terza modellazione 3D è la statua di una bambina (Fig. 5), di dimensioni pari al vero, di cui si conservano il braccio destro adorno di un bracciale



Fig. 4 – Brindisi, Museo Archeologico “Francesco Ribezzo”. Ala di bronzo pertinente a statua di Nike (a: scansione laser 3D e rendering Adriana Bandiera, SIBA-Università del Salento; b: modellazione creativa e restituzione ipotetica 3D M. Toriello, 3D Box Creative Lab). Su concessione del MIC - Soprintendenza Archeologia, Belle arti e Paesaggio per le province di Brindisi e Lecce.



Fig. 5 – Brindisi, Museo Archeologico “Francesco Ribezzo”. Testa e braccio di bronzo pertinenti a statua di bambina (a-c: scansione laser 3D e rendering Adriana Bandiera, SIBA-Università del Salento; d: modellazione creativa e restituzione ipotetica 3D M. Toriello, 3D Box Creative Lab). Su concessione del MIC - Soprintendenza Archeologia, Belle arti e Paesaggio per le province di Brindisi e Lecce.

serpentiforme e la testa-ritratto completa del collo (MANNINO 2012b: descrizione dettagliata, inquadramento e confronti). La peculiare acconciatura della bambina, con i capelli che, raccolti al centro in una treccia e ai lati ripartiti in bande piatte, formano un’alta crocchia puntata nella parte posteriore del capo, è adottata dalle figlie dell’imperatore Marco Aurelio e dell’imperatrice

Faustina Minore nelle statue che ornavano la fontana monumentale realizzata da Erode Attico nel santuario di Olimpia. Le statue delle due giovani principesse sono state pertanto utilizzate come modello per ricostruire l'immagine della bambina di Punta del Serrone, una delicata aristocratica in cui va forse riconosciuta Athenais, figlia minore di Erode Attico.

K.M.

3. UNA BALLATA DAL MARE PROFONDO: LA COMUNICAZIONE MULTIMEDIALE

Rottami preziosi. Una ballata del mare profondo è un video in computer grafica dedicato al racconto del ritrovamento, della ricomposizione, dello studio e della musealizzazione del contesto dei bronzi di Punta del Serrone, scritto e diretto da Velia Polito e animato e montato da chi scrive. Il video, prodotto in occasione della mostra *Nel mare dell'intimità*, allestita presso l'Aeroporto di Brindisi e fra il 5 luglio 2019 e il 10 gennaio 2021 (ANTONAZZO, AURIEMMA, TINUNIN 2019), è stato parte di un progetto multimediale più ampio, realizzato da Swipe Story s.r.l., che includeva anche altre due installazioni, *La costa nel tempo* e *Un'odissea messapica*, rivolte alla divulgazione del patrimonio costiero del Salento. La prima è una mappa interattiva multiutente che offre al pubblico, con uno stile semplice, dati e informazioni su siti litoranei, relitti e rotte, mentre la seconda è un vero e proprio racconto a fumetti, inframezzato da giochi e approfondimenti, che si dipana nel corso dei secoli, fra passato e presente.

3.1 *Il contesto*

Rottami preziosi è stato concepito per uno schermo installato su una delle tre facce verticali di un grande totem a forma di prisma triangolare che il progetto museografico della mostra prevedeva nel landside dell'Aeroporto, presso i banchi di check-in della sala partenze. Come avremo modo di vedere, le peculiarità del punto di installazione e del supporto hanno fortemente influenzato sotto molteplici aspetti sia il concept che la successiva produzione del video: la collocazione in uno spazio molto grande e a forte traffico di passeggeri ha infatti sin da subito orientato le scelte creative verso un'impostazione basata su immagini e animazioni di grandi dimensioni, che potessero essere colte anche a distanza, e su un uso poco invasivo dell'audio. Un altro fattore di contesto che ha influito sulle scelte di produzione è stato senza dubbio l'impianto "monumentale" del grande pannello LED 4k da 82 pollici, ulteriormente sottolineato dall'installazione in verticale, di oltre 2 m complessivi.

Il formato, condizionante dal punto di vista della produzione, ha sin da subito invitato a sfruttare la grande dimensione e lo sviluppo verticale sia per esaltare i modelli tridimensionali a pieno schermo, in risoluzione 4K e in una scala superiore al vero, sia per sottolineare la profondità del mare e dare spazio



Fig. 6 – Il totem allestito presso l’Aeroporto. In basso, i QR per avviare la riproduzione del video su Vimeo (in formato “portrait”) e YouTube (formato “landscape”).

alle animazioni: tutti elementi che purtroppo si perdono nella distribuzione in formato landscape del video (disponibile su YouTube e installata nella sala dei Bronzi presso il Museo Ribezzo di Brindisi), ma che è possibile in gran parte recuperare nella fruizione su tablet e telefoni (disponibile su Vimeo), nell’originale formato portrait, seppure in scala decisamente inferiore (Fig. 6).

3.2 *Gli asset*

La produzione ha preso il via con la raccolta di tutti gli asset disponibili, a cominciare ovviamente dai rilievi tridimensionali e dai modelli ricostruttivi,

con l'intenzione non solo di valorizzarne la straordinaria qualità realizzativa, ma anche di mettere in mostra in modo dinamico la complessa dialettica archeologica e tecnica fra documentazione e ricostruzione. Se infatti il forte impatto visivo del lavoro di rilievo e modellazione ha da subito reso questi oggetti un punto di partenza nella progettazione, è anche vero che questi digital artifacts di per sé sono insufficienti per esprimere tutto il loro potenziale comunicativo. Ragionando in termini di fruibilità, un prodotto digitale tridimensionale (rilievo o ricostruzione che sia), per quanto strumento preziosissimo di indagine, conoscenza e tutela, rischia di rimanere, al pari di qualunque reperto o di interi contesti archeologici, sostanzialmente muto e di non trasmettere molto più della sua perfezione formale (DE FELICE 2012): uno dei tanti esempi di feticismo che possono minare le motivazioni e i significati dell'archeologia digitale (HUGGETT 2004), se non inserito in una narrazione e raccontato al pubblico (VALENTI 2014, 136).

Nel nostro caso, l'intero progetto del video è stato elaborato non solo dando grande enfasi ai rilievi e alle ricostruzioni, ma utilizzando anche altri linguaggi e stili propri della creatività digitale che permettessero di riconnettere i momenti della storia dei bronzi e i temi storico-artistici di cui sono portatori, attraverso l'uso efficace di tutti gli asset disponibili. A fianco dei modelli tridimensionali infatti è stato possibile utilizzare anche materiale di tutt'altra natura, fra cui numerose immagini fotografiche e affascinanti riprese video risalenti al momento della scoperta e del recupero dal contesto sommerso. Veri e propri reperti di un'altra stagione della tecnica di documentazione archeologica, fortemente caratterizzati dalla grana della pellicola, dal cromatismo e dalla sfocatura tipica delle riprese analogiche e dall'audio in presa diretta del momento del recupero: un materiale diversissimo dai modelli ad alta risoluzione delle statue, ma al tempo stesso altrettanto carico di valore e significato.

Per poter armonizzare asset così fortemente eterogenei e valorizzarne le potenzialità espressive si è deciso di non limitarsi al 3D ma di spaziare fra diversi linguaggi di computer graphic e computer animation, anche bidimensionali (DE FELICE 2016), nella speranza di attirare l'attenzione di un pubblico quanto mai disomogeneo e distratto come quello di un aeroporto, fornendo al tempo stesso informazioni scientificamente accurate.

3.3 *Il concept*

È iniziata così, alla ricerca di un equilibrio fra i diversi contenuti e di uno o più stili in grado di unire asset molto diversi e più livelli di narrazione, la delicata fase di concept. Attraverso la scrittura del soggetto e la ricerca di uno stile grafico e narrativo originale che rendesse protagonisti i bronzi, si è cercato di non limitarsi alla loro rappresentazione ma di sfruttarne appieno la storia, i dubbi su alcuni aspetti (molti dei quali destinati a rimanere



Fig. 7 – Dagli asset al compositing di una delle scene del primo segmento.

irrisolti) e l'innequivocabile fascino di una vicenda così particolare. La scrittura della sceneggiatura è stata improntata dall'idea di una narrazione *à rebours*, che, in modo inaspettato, iniziasse con la presentazione in prima persona dei bronzi (prima enigmatica e poi in forma conclamata) e terminasse con una seconda parte che descrive la ricerca archeologica (scoperta, studio e interpretazione). Ciascuna delle due parti è a sua volta suddivisa in due segmenti narrativi separati, narrati e illustrati con stili diversi.

Nella prima parte, nel segmento iniziale i bronzi si presentano in prima persona e raccontano la loro storia in modo enigmatico ed ellittico, attraverso le loro iconiche silhouette, che delimitano, a tutto schermo e in negativo, il perimetro delle scene. All'interno dei profili neri delle statue più rappresentative, ma anche di parti fortemente evocative come il frammento di braccio della bambina, si svolgono le animazioni che riassumono e idealizzano il destino del carico di rottami bronzei. Sotto un cielo stellato,

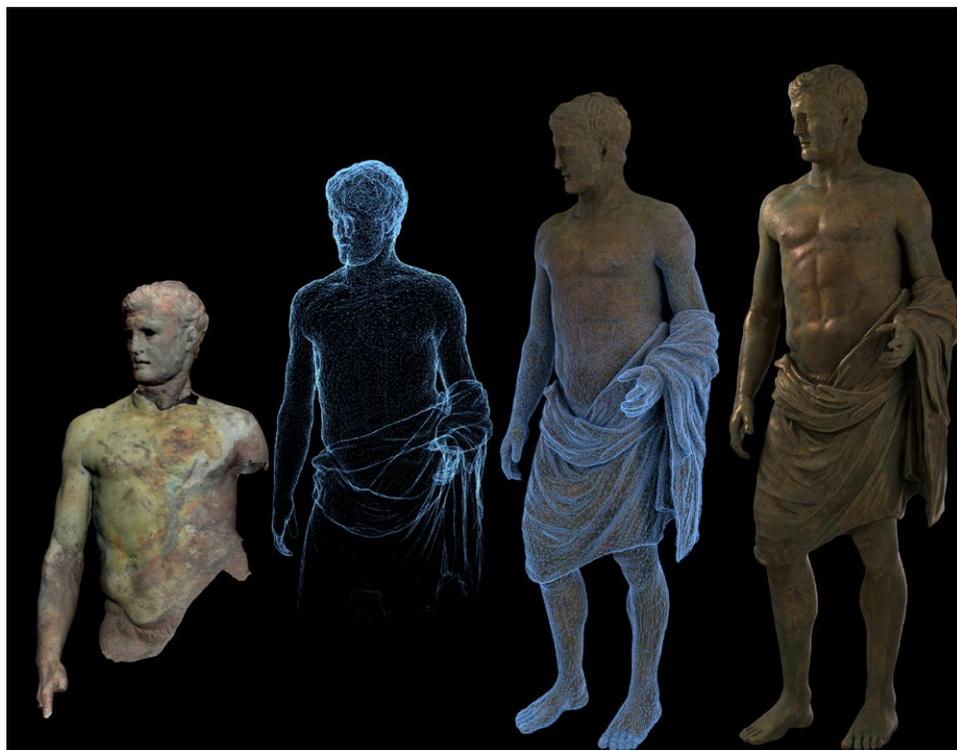


Fig. 8 – L’animazione wireframe dei bronzi: dal rilievo alla ricostruzione.

sulla superficie di un mare colorato in nette sfumature di blu e azzurro che continuerà il suo moto ipnotico per tutto il segmento, avanza faticosamente una nave, raccolta dal profilo della Nike contro cui sembra andare a infrangersi. Successivamente, nel profilo del Lucio Emilio Paolo, dopo che il mare ha riempito l’intera silhouette, vediamo precipitare avvitando su sé stessi alcuni frammenti di una figura umana: una testa, un piede, una mano, che scompaiono sul fondale.

Dopo la dissolvenza, nel sottile profilo della bambina scende sinuosamente un sommozzatore, che sparisce negli strati più bui del mare (Fig. 7). Il segmento termina con la grande silhouette del braccio della fanciulla, collocato in verticale, in cui i reperti, trascinati verso l’alto dai palloni di recupero, riemergono verso il loro nuovo destino.

Le idee visuali del primo segmento sono state sviluppate attraverso lo spoglio di innumerevoli prodotti di arte contemporanea, fra scenografie e locandine teatrali, fotografie d’arte, cinema e installazioni fisiche, sceniche e



Fig. 9 – Dagli asset al compositing di una delle scene del secondo segmento.

digitali. Tutte le animazioni di discesa e risalita, lente come sono i movimenti sott'acqua, sono accompagnate da un'esplosione cromatica di particelle tonde e ad anello, ispirate alla risalita delle bolle d'aria degli spostamenti sottomarini.

Nel secondo segmento della prima parte, i bronzi compaiono a pieno schermo, in un'animazione che, con un morphing in wireframe, mostra il passaggio dal rilievo alla ricostruzione (Fig. 8). In entrambi i segmenti, i bronzi raccontano la storia del loro naufragio e della loro originaria funzione in un linguaggio lirico e nostalgico, ma lo fanno silenziosamente, affidando le loro parole a didascalie che accompagnano le animazioni, affinché nessuna voce fuori campo distolga dal filo del racconto, libero di fluire per immagini, mentre gli unici suoni udibili sono la musica e gli effetti sonori di sfondo.

La seconda parte si apre con un primo segmento in cui, su una mappa del basso Adriatico, una linea gialla mostra il progredire dell'ipotetico

viaggio della nave con il prezioso carico, dalla Grecia verso le coste italiane. Il linguaggio cambia, non è più lirico, a sottolineare che la parola passa agli archeologi e agli storici dell'arte che hanno studiato i bronzi, ipotizzato il motivo del loro abbandono e ricostruito la loro provenienza. Anche in questo caso semplici didascalie descrivono, riassumendole in pochi righe, le certezze e le ipotesi degli studiosi. Il linguaggio grafico abbandona il realismo della tridimensionalità e torna ad essere quello del primo segmento della prima parte: bidimensionale e con semplici animazioni, mentre la musica sparisce dalla scena e il silenzio è rotto solo dallo sciabordare delle onde.

Il secondo segmento della seconda parte conduce alla conclusione dell'intero video. Adesso il linguaggio espressivo si trasforma per l'ultima volta: lo stile grafico viene ulteriormente modificato e sostituito da un collage di spezzoni dei filmati d'epoca che ci riportano, dopo lunghi minuti di immersione nella computer graphics, alla realtà. I bronzi, visti poco prima in tutto il loro splendore, appaiono ora appena riconoscibili, sparsi sul fondale marino, sfigurati e circondati da pesci (Fig. 9). Il commento sonoro è affidato interamente all'audio dei filmati, fra le sirene delle navi di recupero, il fragore degli argani e il respiro dei sommozzatori negli erogatori. Negli ultimi secondi ricompare la musica del primo segmento, mentre i bronzi vengono mostrati nella loro collocazione definitiva nelle sale del Museo Ribezzo di Brindisi.

3.4 *L'audio*

Fra le molte scelte derivate dalla collocazione del totem rientra anche la definizione della dimensione sonora: la decisione di "parlare per immagini" legata alla presenza in un luogo pubblico ha sin da subito portato ad escludere l'uso della voce narrante a favore di una recitazione "muta" affidata a brevi testi, lirici nella prima parte, didascalici nella seconda, che interagissero con le immagini e le animazioni. Un ruolo determinante nella riuscita di questo effetto è stato affidato alla musica: la scelta è ricaduta su una rielaborazione di un brano musicale di I sec. d.C. noto come *Epitafio di Sicilo* (WEST 1992, 301-303), una delle testimonianze più complete e suggestive pervenuteci della musica del mondo antico.

Di questo brano, di cui esistono decine di versioni non sempre musicalmente efficaci, è stata utilizzata l'affascinante rielaborazione di Luca Mauceri (voce di Daria Castellini, arpa di Elena Straudi, Giovanni Valle Edizioni), in cui il testo originale dell'epitaffio è sostituito, secondo un'idea del poeta Guido Ceronetti, con alcuni versi del coro delle Baccanti di Euripide (vv. 412-415) cantati con la pronuncia moderna: il duetto di voci e la lingua poco conosciuta e indecifrabile contribuiscono a rendere protagonisti i versi delle didascalie, come se fossero recitati da un invisibile protagonista fuori campo. Nella seconda parte del video la musica tace e lascia spazio all'audio originale dei filmati relativi alla scoperta e al recupero sottomarino, che accompagnano



Fig. 10 – Il Polydeukion al momento del ritrovamento e un’immagine del Museo Atlántico al largo di Lanzarote, nelle isole Canarie, il primo museo sottomarino d’Europa, dedicato ai profughi del mare.

le didascalie in cui è descritto il viaggio dei bronzi, il loro ritrovamento e i risultati dello studio storico-artistico.

3.5 *Mare prezioso*

Da un punto di vista tecnico, le operazioni di disegno e animazione sono state eseguite interamente con Blender: tutti i rendering 2D e 3D sono stati realizzati ad una risoluzione di 4K. Il mare è stato reso con una serie di piani animati, colorato con un gradiente di interpolazione costante e animato in modo da creare un loop. Le animazioni della nave, delle parti anatomiche, del sommozzatore e della zattera di recupero e le emissioni di particelle sono state renderizzate a parte e compostate solo in fase di montaggio, realizzato con Final Cut Pro.

Al di là degli aspetti tecnici, la produzione di *Rottami preziosi* è stata possibile solo grazie ad un laborioso processo di semplificazione mirato a tradurre in linearità e immediatezza comunicativa la grande quantità di dati e informazioni disponibili: una vera complessità risolta che è, o dovrebbe essere, il fine ultimo della narrazione, anche digitale, dell’archeologia (DE FELICE 2021, 176-182). In questi anni in cui il mare, oltre ad offrirci il suo fascino, ci ricorda quotidianamente la tragedia di naufraghi e naufragi, diventa indispensabile, nel momento in cui si affronta il racconto di esseri umani (per quanto di bronzo) adagiati sui fondali, utilizzare la capacità di immaginare degli archeologi (SHANKS 2020) per connettere passato, presente e futuro con uno scopo non puramente estetico, ma civile (Fig. 10).

Rottami preziosi è stato ideato in sintonia con le motivazioni più profonde della mostra *Nel mare dell'intimità*, perché attraverso l'archeologia si torni a parlare del mare come un luogo di scambi e di rapporti fra civiltà diverse e non come la frontiera impenetrabile che è diventato nei nostri tempi: piccolo Mediterraneo da *monstrum* che inghiotte statue e vite umane ritorni al più presto ad essere *nostrum*.

G.D.F.

GIULIANO DE FELICE

Dipartimento di Ricerca e Innovazione Umanistica
Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"
giuliano.defelice@uniba.it

KATIA MANNINO

Dipartimento di Beni Culturali
Università del Salento
katia.mannino@unisalento.it

BIBLIOGRAFIA

- ANDREASSI G. 2010, *Ai protagonisti dell'estate 1992*, in MARINAZZO 2010a, 13-17.
- ANDREASSI G., COCCHIARO A. 1992, *I bronzi di Punta del Serrone. Ricerche archeologiche subacquee a Brindisi nel 1992*, «Bollettino di Archeologia», Suppl. VIII settimana per i Beni Culturali e Ambientali, 1-16.
- ANTONAZZO A., AURIEMMA R., TINUNIN G. (eds.) 2019, *Nel mare dell'intimità. L'archeologia subacquea racconta il Salento*, Catalogo della mostra, Lecce, Editrice Salentina.
- AURIEMMA R. 2010, *La formazione del giacimento*, in MARINAZZO 2010a, 63-79.
- AURIEMMA R. (ed.) 2018, *Nel mare dell'intimità. L'archeologia subacquea racconta l'Adriatico*, Catalogo della mostra, Roma, 2^a ed., Gangemi Editore International.
- COCCHIARO A. 2010, *Cronaca delle indagini archeologiche a Punta del Serrone*, in MARINAZZO 2010a, 49-61.
- DAEHNER J.M. 2015, *Figura maschile*, in J.M. DAEHNER, K. LAPATIN (eds.), *Potere e pathos. Bronzi del mondo ellenistico*, Catalogo della mostra, Firenze, Giunti, 204-205.
- DE FELICE G. 2012, *Una macchina del tempo per l'archeologia*, Bari, Edipuglia.
- DE FELICE G. 2016, *The new trend of 3D archaeology is ... going 2D!*, in S. CAMPANA, R. SCOPIGNO, G. CARPENTIERO, M. CIRILLO (eds.), *Keep the Revolution Going, CAA 2015. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 43rd Conference (Siena 2015)*, Oxford, Archaeopress, 363-368.
- DE FELICE G. 2021, *Ricostruire e raccontare un contesto archeologico complesso*, in G. DE FELICE, A. FRATTA (eds.), *Ordonia XIII. Dalla città fantasma alla città virtuale*, Bari, Edipuglia, 103-182.
- DE MARINIS G., MICCIO M. 2010, *Il restauro delle grandi statue*, in MARINAZZO 2010a, 95-97.
- DE PALMA G. 2010, *Le analisi dell'I.C.R. Note sullo stato di conservazione e sulla tecnica di fusione*, in MARINAZZO 2010a, 81-93.
- DE PALMA G., FIORENTINO P. 2003, *I bronzi di Brindisi*, in MELUCCO VACCARO, DE PALMA 2003, 97-117.
- GOETTE H.R. 2019, *The portraits of Herodes Atticus and his circle*, in O. PALAGIA (ed.), *Handbook of Greek Sculpture*, Berlin-Munich-Boston, De Gruyter, 225-258.

- HERTEL D. 2013, *Die Bildnisse des Tiberius*, Wiesbaden, Reichert Verlag.
- HUGGETT J. 2004, *Archaeology and the new technological fetishism*, «Archeologia e Calcolatori», 5, 81-92 (http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF15/05_Hugget.pdf).
- ISLER-KERENYI C. 1970, *Nike mit dem Tropaion*, «Antike Plastik», 10, 57-64.
- KALTSAS N. 2002, *Sculpture in the National Archaeological Museum, Athens*, Athens, Kapon Editions.
- MANNINO K. 2010, *Inquadramento storico-artistico*, in MARINAZZO 2010a, 99-129.
- MANNINO K. 2012a, *Bronzi antichi dall'Adriatico: una statua di Polydeukion da Punta del Serrone (Brindisi)*, in T. STEFANIDOU-TIVERIOU, P. KARANASTASI, D. DAMASKOS (eds.), *Classical Tradition and Innovative Elements in the Sculpture of Roman Greece. Proceedings of the International Conference (Thessaloniki 2009)*, Thessaloniki, University Studio Press, 467-476.
- MANNINO K. 2012b, *I bronzi di Punta del Serrone (Brindisi): nuovi dati e ipotesi di ricerca*, in R. D'ANDRIA, K. MANNINO (eds.), *Gli allievi raccontano. Atti dell'Incontro di Studio per i Trent'anni della Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici - Università del Salento (Cavallino 2010)*, Galatina, Congedo Editore, 319-332.
- MANNINO K. 2013, *Un gruppo di Erode Attico fra i bronzi di Punta del Serrone (Brindisi)*, in M.G. BERNARDINI, M. LOLLI GHETTI (eds.), *Capolavori dell'archeologia. Recuperi, ritrovamenti, confronti*, Catalogo della mostra, Roma, Gangemi Editore, 223-227.
- MANNINO K. 2018, *Rottami preziosi: il carico dei bronzi di Punta del Serrone*, in AURIEMMA 2018, 184-187.
- MANNINO K. 2019a, *Dai frammenti all'intero. Le statue di Punta del Serrone in 3D*, in ANTONAZZO, AURIEMMA, TINUNIN 2019, 112-117.
- MANNINO K. 2019b, *Precious relics: The bronzes of Punta del Serrone in 3D*, in R. AURIEMMA, R. SEBASTIANI, M. SERLORENZI, P. TALAMO (eds.), *Portus. The Sea of the Ancient Romans*, Exhibition Catalogue, Peking, Cultural Relics Press, 141-143.
- MARINAZZO A. (ed.) 2010a, *I bronzi di Punta del Serrone. Dal mare al Museo Provinciale di Brindisi*, Bari, Adda Editore.
- MARINAZZO A. 2010b, *Dalla scoperta alla musealizzazione. Il viaggio dei bronzi*, in MARINAZZO 2010a, 19-47.
- MELUCCO VACCARO A., DE PALMA G. (eds.) 2003, *I bronzi di Riace. Restauro come conoscenza*, Roma, Artemide.
- MOCCHEGIANI CARPANO C. 2013, *I recuperi subacquei con particolare riferimento alle scoperte dei bronzi di Porticello e di Punta del Serrone*, in M.G. BERNARDINI, M. LOLLI GHETTI (eds.), *Capolavori dell'Archeologia. Recuperi, Ritrovamenti, Confronti*, Catalogo della mostra, Roma, Gangemi Editore, 197-202.
- MOLLIKA F. 1992, *Il Ministro, intervista ad Alberto Ronchey*, in *I bronzi di Brindisi*, «Nuova Meridiana», 9, VI Suppl., 11.
- MORANDINI F., PATERA A. (eds.) 2021, *La Vittoria Alata. «Non ho visto nulla di più bello»*, Milano, Skira.
- MORENO P. 2001, *Il nome e la cosa*, «Archeo», 196, 102-105.
- MORENO P. 2003, *Statua in bronzo di Emilio Paolo*, in MELUCCO VACCARO, DE PALMA 2003, 119-128.
- PAPINI M. 2010, *Il ritratto cosiddetto di Emilio Paolo nel tipo Tirana-Museo Nazionale Romano*, in E. LA ROCCA, C. PARISI PRESICCE (eds.), *I giorni di Roma. L'età della conquista*, Catalogo della mostra, Roma, Skira, 281-282.
- PAPINI M. 2015, *L'arredo scultoreo e il nuovo Efesto*, in Z. MARI, M. PAPINI, *Un nuovo Efesto per il IV sec. a.C. e la villa romana di Palombara Sabina*, Roma, Scienze e Lettere, 21-44.
- RABE B. 2008, *Tropaia. τροπή und σκῦλα. Entstehung, Funktion und Bedeutung des griechischen Tropaions*, Rahden, Verlag Marie Leidorf.

- SHANKS M. 2020, *The archaeological imagination*, in A. ABRAHAM (ed.), *The Cambridge Handbook of the Imagination*, Cambridge, Cambridge University Press, 47-63.
- VALENTI M. 2014, *L'archeologia come servizio (attraverso l'impiego degli strumenti tecnologici)*, «Archeologia Medievale», 41, 127-140.
- WEST M.L. 1992, *Ancient Greek Music*, Oxford, Clarendon Press.

ABSTRACT

On July 19, 1992, in the waters of Punta del Serrone (Brindisi, Italy), over 200 fragments of bronze statues of exceptional manufacture were found. This paper traces the history of the exceptional discovery and fate of the finds. The first part deals with the recovery, conservation and exhibition and the main phases of the analytical study that led to their identification and the reconstruction of the events that caused their abandonment on the seabed. The second part is dedicated to the digital acquisition and processing of the statues through laser scanning and to the virtual restoration and creative modeling of some of them, carried out on the occasion of *Nel mare dell'intimità/In the sea of intimacy*, an exhibition set up at the Brindisi airport between July 2019 and January 2021. The third and last part discusses the making of the computer animation video *Rottami preziosi. Una ballata del mare profondo/Precious scrap. A ballad from the deep sea*, created for the exhibition, and dedicated to telling the story of the bronzes, retracing the different phases of the creative process and the solutions developed to combine all the available data in a functional narrative.

LE TEMPLE DE KARNAK ET LES PUBLICATIONS NUMÉRIQUES

1. INTRODUCTION

La journée d'étude consacrée à la *Publication archéologique en environnement numérique*¹ a été l'occasion de présenter le résultat de travaux qui ont débuté dans les années 2000. Nous parlons donc d'un temps qui couvre une période quasiment "préhistorique" pour l'informatique documentaire. Les publications numériques évoquées ici ont été réalisées au sein du Centre Franco-Égyptien d'Étude des Temples de Karnak (CFEETK) dirigé alors par François Larché et Nicolas Grimal. Pour l'égyptologie, ce dernier est aujourd'hui considéré comme le pionnier des Humanités Numériques, mais à cette époque, nous ne connaissions pas ce terme et nous appelions cela "faire de l'informatique". Ces projets documentaires n'auraient pu voir le jour sans le travail novateur d'Antoine Chéné, photographe de l'UPR 1002 du CNRS, qui a été le premier à faire connaître la photographie numérique à Karnak (CHÉNÉ *et al.* 1999).

En 2003, notre premier projet a abouti à une publication numérique diffusée sur DVD qui concerne la grande salle hypostyle de Karnak (ARNAUDIÈS, CHÉNÉ 2003). Notre deuxième travail accompagnait la réédition papier d'un ouvrage de référence, celui de Paul Barguet sur l'exégèse du temple de Karnak, augmentée d'une édition numérique sur DVD et qui a été publiée en 2007 (BARGUET 2006-2007). Notre troisième publication est un ePub sur la chapelle de Sésostris I^{er}, dite "chapelle Blanche", publication complètement dématérialisée et mise en ligne en 2015 (ARNAUDIÈS, BEAUX, CHÉNÉ 2015).

Toutes ces publications sont nées d'un projet éditorial qui a rendu nécessaire leur édition sous une forme numérique. Les différentes problématiques que nous rencontrions ne trouvaient de réponses que par l'utilisation d'un nouveau support pour l'information (Fig. 1).

2. LA GRANDE SALLE HYPOSTYLE DE KARNAK

La salle hypostyle est le plus grand édifice de Karnak. Elle est décorée sur tous ses murs et tous ses éléments d'architecture. Avec ses 134 colonnes, ses architraves et ses murs, dont les plus hauts atteignent près de 17 m, la documentation d'un monument aussi gigantesque pose plusieurs difficultés. La salle hypostyle représente un véritable défi photographique et documentaire. De multiples facteurs gênent le travail du photographe: les distorsions

¹ La journée s'est déroulée le 22 janvier 2021 en visioconférence et a été organisée par Virginie Fromageot, co-responsable des humanités numériques, à l'UMR 7041 ArScAn Archéologies et Sciences de l'Antiquité (<https://archeonum.hypotheses.org/945>).

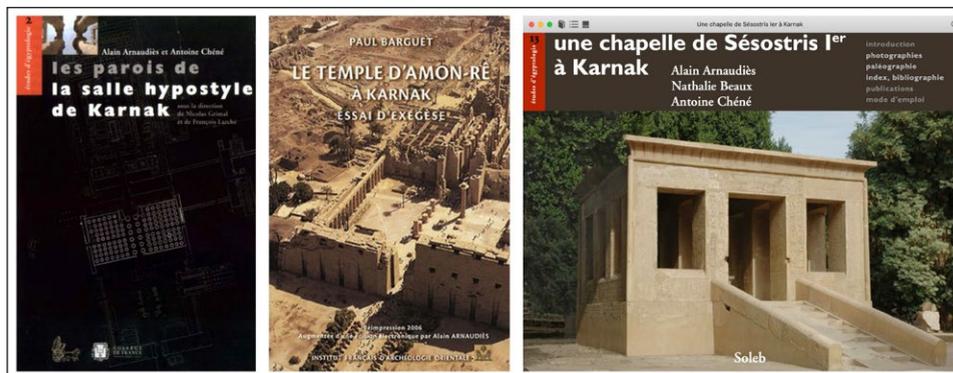


Fig. 1 – Les trois publications numériques consacrées au temple de Karnak.



Fig. 2 – L'intérieur de la salle hypostyle (cliché CNRS/CFEETK - A. Chéné).

dues à la perspective, le manque de recul, la hauteur des scènes, la présence des colonnes, la projection des ombres portées. Ses colonnes forment comme une forêt et font obstacle à la vision d'ensemble des parois latérales (Fig. 2). Les architraves créent des zones d'ombre qui masquent les décors des scènes. Face à ces différents problèmes, la photographie numérique apportait des solutions. Pour obtenir des vues frontales, les photographes ont travaillé sur des échafaudages pendant trois saisons au plus près des murs de la salle hypostyle.

Antoine Chéné a ensuite assemblé les images comme on le ferait pour un puzzle ou une mosaïque. Le résultat de cet assemblage permet d'obtenir une

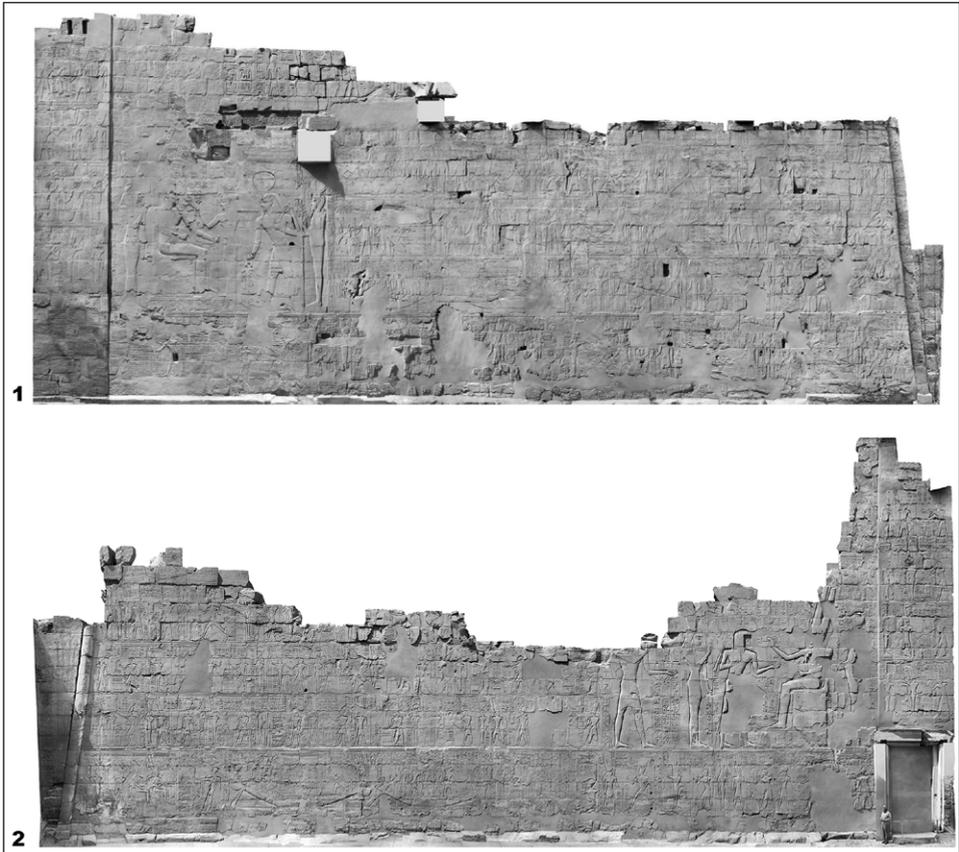


Fig. 3 – Montages numériques, ancêtres des images produites aujourd’hui par photogrammétrie. 1) II^e pylône, môle Nord, paroi Est. 2) II^e pylône, môle Sud, paroi Est (images CNRS/CFEETK - A. Chéné).

image composite par le montage de centaines de photographies issues d’une série de trois prises de vues successives, faites lors de trois saisons différentes. Elles ont permis de supprimer les ombres projetées par les architraves. Cette image est hors norme, elle mesure 2,30 m de long pour 1 m de hauteur, elle a une résolution de 340 dpi. Elle a été réalisée en 2000 et sa taille ainsi que sa résolution sont le résultat d’un compromis imposé par les limites techniques du système d’exploitation de l’ordinateur. Un fichier ne pouvait alors dépasser la taille physique de 2 Go et nos disques durs avaient des tailles variant entre 40 et 80 Go.

Cette photographie est une image virtuelle (Fig. 3, 1). Personne n’a jamais vu la salle hypostyle ainsi et cette photographie n’est donc qu’une restitution

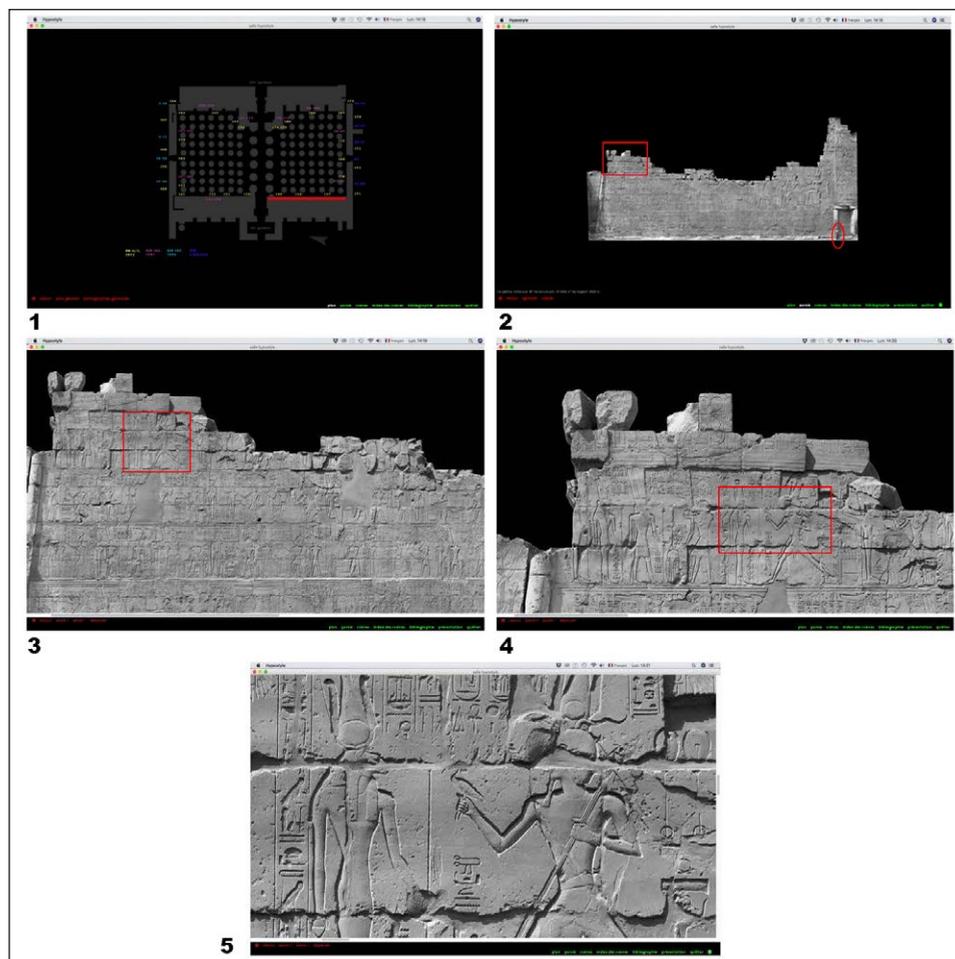


Fig. 4 – 1-5: copies d'écran du DVD de la salle hypostyle (images CNRS/CFEETK - A. Chéné).

de la réalité, et plus que cela, une vue améliorée de la réalité. Un problème nouveau se posait, comment gérer ce type d'image? Au niveau documentaire, nous étions à une période où la Gestion Électronique de Documents (GED) s'imposait dans toutes les institutions. La production d'images numériques entraînait donc une solution numérique. La création d'une base de données spécifique pour intégrer et accéder à ces images d'une très grande qualité a donc été réalisée. Le choix d'une interface graphique semblait être la solution la plus efficace. Le plan de la salle hypostyle est associé à des numéros issus des publications servant à identifier les différentes scènes (Fig. 4, 1).

L'utilisation de la base de données facilite l'accès à n'importe quel endroit de la paroi et permet d'obtenir l'information qui la concerne. Une échelle humaine rappelle la taille du monument (Fig. 3, 2). Cette couverture photographique a été étendue à toutes les parois de la salle hypostyle et très rapidement l'idée d'une publication de ces images a fait son chemin. Mais il s'est alors posé un autre problème: quel type d'édition permettrait de publier des images de 2,30 m de long sur 1 m de hauteur?

Les formats traditionnels de l'imprimerie, limités au A4 ou au A3, faisaient perdre tout l'intérêt de ces montages photographiques. Il était possible d'imaginer des posters à plier ou à rouler, mais finalement, autre solution fut adoptée: l'édition numérique d'une base de données. Cette publication reprend le fonctionnement de la base de données 4D avec un graphisme différent et d'autres fonctionnalités (Fig. 4, 1-3). En quelques clics, il est possible de voir précisément le détail de n'importe quelle scène, comme pour cette course à l'oiseau (Fig. 4, 5). Le but de ce DVD était de donner à l'utilisateur la possibilité de découvrir ce qu'il ne pouvait voir par lui-même sur le terrain. Notre objectif était donc atteint.

3. L'ÉDITION NUMÉRIQUE DE L'OUVRAGE DE PAUL BARGUET SUR KARNAK

Paru en 1962, l'ouvrage de Paul Barguet reste un usuel égyptologique incontournable (BARGUET 1962). Sa mise à jour a évidemment été envisagée, mais elle ne pourra être entreprise qu'après la publication de nombreux travaux qui sont encore en cours. En attendant la réalisation d'une nouvelle synthèse, l'édition électronique s'est vite imposée comme une solution innovante pour faire évoluer cet usuel en un véritable outil documentaire.

La problématique de cette publication était donc relativement simple: comment faire du neuf avec du vieux? L'Institut Français d'Archéologie Orientale du Caire (IFAO) a souhaité une réédition papier que nous avons augmentée d'une édition électronique sur DVD (Fig. 5). Il s'agit bien sûr d'un fac-similé de l'original, une copie qui autorise une recherche intégrale dans le texte, mais ce n'était pas le seul but recherché (Fig. 5, 1). Cette édition devait être une version multimédia donnant accès à l'intégralité de la documentation photographique et bibliographique de l'ouvrage (Fig. 6, 2).

La thèse de Paul Barguet présente l'état du temple de Karnak en son temps, celui des années 1950. La documentation photographique de l'auteur, plus de 1000 clichés au format 6×6, quasiment inédite, est conservée au CFEETK. La documentation bibliographique citée en bas de page est composée d'articles de différentes revues ou d'extraits d'ouvrages. Il nous a donc semblé utile de rassembler toutes ces données essentielles à la connaissance du site sur un seul support qui ne pouvait être que numérique. Ce travail d'édition et de compilation a permis la réalisation d'un livre complètement interactif.

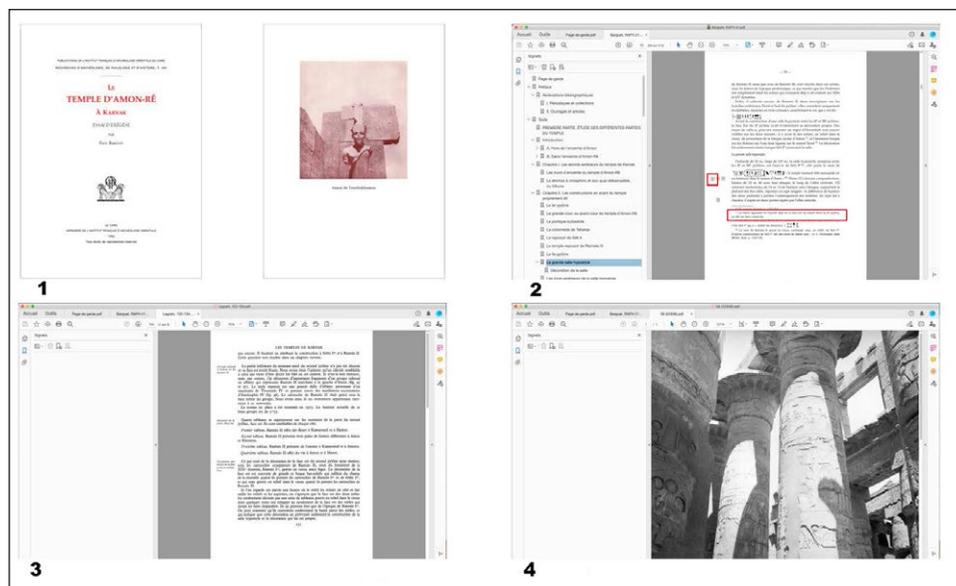


Fig. 5 – Copies d'écran du DVD-Rom du temple d'Amon-Rê à Karnak. 1) Titre. 2) Texte interactif et photographique. 3) Accès à la documentation bibliographique référencée en note de bas de page. 4) Accès au fonds photographique de Paul Barguet.

Un clic sur les notes de bas de pages affichent les extraits d'ouvrages ou les articles complets cités par l'auteur (Fig. 5, 3).

Des rectangles grisés signalent au lecteur les photographies prises par Barguet, et son fonds photographique sert ainsi à illustrer sa propre publication (Fig. 5, 4). Plusieurs index ont été créés pour mieux appréhender le contenu de l'ouvrage. Une annexe photographique de plus de 1000 clichés a été ajoutée, et pour finir, une annexe bibliographique complète le DVD de façon à faire le tour des publications qui ont servi à l'auteur. Ce livre est une publication plus austère que la précédente car il n'a pas fait l'objet d'un traitement graphique. Ce sont les pages du livre qui servent d'interface pour donner accès à toutes les ressources documentaires qu'elles mentionnent.

4. LA CHAPELLE BLANCHE DE SÉSOSTRIS I^{ER}

La chapelle Blanche de Sésostris I^{er} est un édifice du Moyen Empire qui a été démonté et placé comme remploi dans le bourrage du III^e pylône de Karnak. C'est une pratique courante chez les Égyptiens: les anciens monuments pouvaient être réemployés pour en construire de nouveaux. Quasiment tous les éléments d'architecture de cette chapelle ont été retrouvés. Grâce aux travaux

d'Henri Chevrier, architecte et directeur de la mission de Karnak entre 1926 et 1954, la restitution architecturale du monument a été très vite envisagée et a abouti en 1938 à sa reconstruction (CHEVRIER 1938). Ce monument en calcaire est considéré comme un chef d'œuvre de l'art égyptien, notamment pour la finesse des bas-reliefs gravés sur ses piliers. Trois publications ont paru successivement: l'étude égyptologique en 1956 (LACAU, CHEVRIER 1956), son index en 1957 (SAINTE FARE GARNOT 1957), puis son étude architecturale et iconographique en 1969 (LACAU, CHEVRIER 1969).

Au niveau scientifique, la documentation de cette chapelle était exemplaire. Au niveau méthodologique, il ne manquait qu'une seule chose à cette publication: la photographie. Le dessin et la photographie n'ont pas la même fonction et le premier permet d'éclairer l'autre par comparaison. La photographie montre ce que nous voyons, le dessin conforte ce que nous devons voir, et comme il s'agit déjà d'une restitution, il est important de pouvoir confronter les deux pour que l'information portée sur les documents puisse être interprétée au mieux et vérifiable (Fig. 6).

Depuis sa reconstruction en 1938, la chapelle a fait l'objet de travaux de restauration, notamment sur l'une des scènes d'un pilier, qui n'apparaissait pas dans la publication. Dans les années 2000, des actes de vandalisme avaient même eu lieu et certains bas-reliefs avaient été dégradés. Les archives ne possédaient qu'une documentation partielle du monument. Sa couverture photographique restait donc à faire et le choix de la photographie numérique

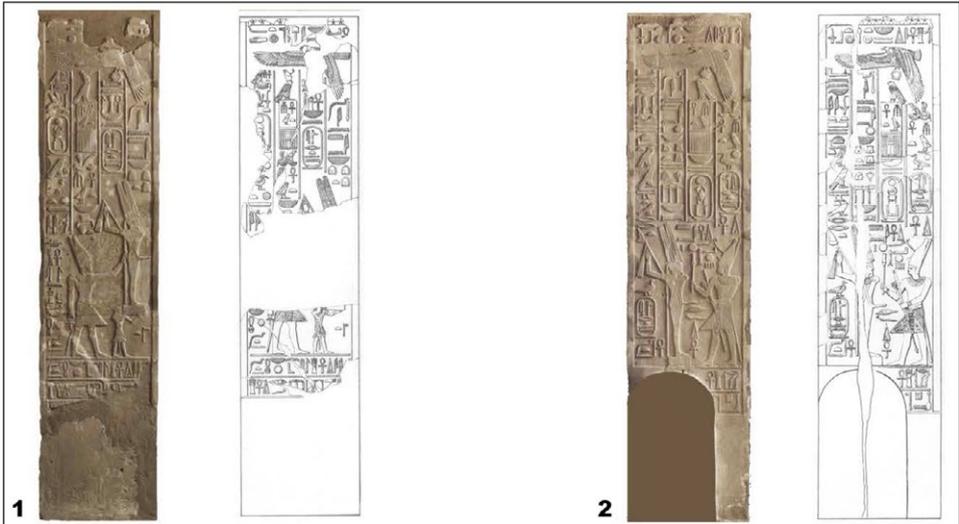


Fig. 6 – Photographies et dessins de la chapelle Blanche (A. Chéné, H. Chevrier). 1) Scène 14 (Nord). 2) Scène 11 (Sud).

s'est une nouvelle fois imposé à cause des difficultés de prises de vue, essentiellement le manque de recul et les problèmes d'éclairage.

Antoine Chéné a donc repris le même procédé que pour la salle hypostyle en assemblant plusieurs clichés pour en proposer un montage, nous donnant ainsi la possibilité de voir l'intégralité des éléments d'architecture, comme les piliers, les architraves et les façades. Les assemblages des piliers mesurent tous plus d'1 m de haut. Les images des façades mesurent 1,70 m de large pour 1,10 m de haut. Pour compléter les vues d'ensemble, des macrophotographies ont été prises pour avoir une meilleure résolution des signes hiéroglyphiques. Le premier problème était de trouver une solution pour gérer cette documentation; nous nous sommes ensuite posés la question de sa publication.

Comme pour la salle hypostyle, la gestion des images fut assurée par une base de données 4D qui reprenait les mêmes principes: une interface graphique et plusieurs entrées multipliant l'accès à l'information et aux documents primaires, les photographies et les publications. Cette nouvelle couverture photographique permettait de combler une lacune, puisqu'aucune photographie n'avait été utilisée dans les publications précédentes. L'édition d'un volume de planches a donc été imaginée, mais le vrai problème récurrent concernait la taille des documents photographiques qui, une fois réduit, même au format A3, perdaient tout leur intérêt. La possibilité d'aller du général au particulier en zoomant dans un même document est l'une des propriétés remarquables de la photographie numérique. Avec la chapelle Blanche, nous retrouvions les mêmes problématiques que dans les deux publications précédentes: la gestion d'une nouvelle génération de documents photographiques et le traitement d'une information ancienne, mais pas obsolète.

Comment publier et mettre à jour cette publication? L'ePub nous a semblé être la solution la plus appropriée pour répondre à ce problème, à condition de lui donner une dimension documentaire plus importante et en lui ajoutant une problématique scientifique, avec l'étude paléographique du monument. Le but de cette publication a donc été de rassembler et de présenter toute la documentation que nous pouvions réunir sur un média électronique. La 3D a aussi été envisagée et nous nous sommes même organisés pour organiser l'interface graphique autour de ce modèle, mais nous nous sommes retrouvés rapidement confrontés à des limites technologiques. Nous sommes trois auteurs pour cette publication, mais derrière, il y a un éditeur, deux graphistes, un tailleur de pierre et surtout un informaticien.

Cet ePub contient en fait plusieurs volumes liés entre eux et interactifs. Le premier donne les planches photographiques composées par Antoine Chéné, le deuxième est l'étude paléographique de la chapelle faite par Nathalie Beaux et le troisième comprend un index renvoyant au monument et aux anciennes publications rééditées sous forme électronique (Fig. 7, 1-3).

Ce volume de planches ne peut exister que sous forme numérique puisqu'il intègre des photographies d'un format hors norme, des séquences animées et un modèle 3D. À partir de la table des matières, le lecteur a accès aux différentes



Fig. 7 – Copies d'écran de l'ePub de la chapelle Blanche. 1) Volume de planches. 2) Volume de paléographie. 3) Volume d'index. 4) Plan interactif. 5) Description des piliers. 6) Vue de la façade Ouest.

ressources. Une animation, générée à partir du modèle 3D, permet de rendre compte de l'architecture et de la décoration du monument. L'ePub a été conçu pour être consulté sur tablette et doit donc obéir au doigt et à l'œil! Pour voir les 64 scènes réparties sur les 4 faces des 16 piliers, l'accès à l'information se fait à partir sur d'un plan ou de la table des matières. La présentation reprend celle du volume de planches de Pierre Lacau et Henri Chevrier (Fig. 7, 4-6).

Le deuxième volume contient l'étude paléographique de Nathalie Beaux. Un texte introductif donne accès à une interface graphique qui permet de découvrir la variété des signes hiéroglyphiques. Les signes sont classés par typologie. Par exemple, la catégorie "oiseaux" regroupe tous les signes les représentant et on peut voir tous ceux qui ont été sculptés sur la chapelle. Quelques clics sur le signe G21, qui désigne la pintade, donnent accès à sa nomenclature, sa valeur phonétique, sa description, sa bibliographie et à ses occurrences dans la chapelle, avec ses différentes gravures (Fig. 8).

Le troisième volume est constitué de plusieurs index permettant d'avoir une vue d'ensemble de toutes les scènes de l'édifice, de les localiser et d'accéder à chacune d'elles. La dernière partie de l'ePub intègre les versions numérisées des anciennes publications.

5. L'ENVIRONNEMENT NUMÉRIQUE

Les trois réalisations décrites ont donc des points communs, elles brassent une quantité importante de documents de différentes natures et sont

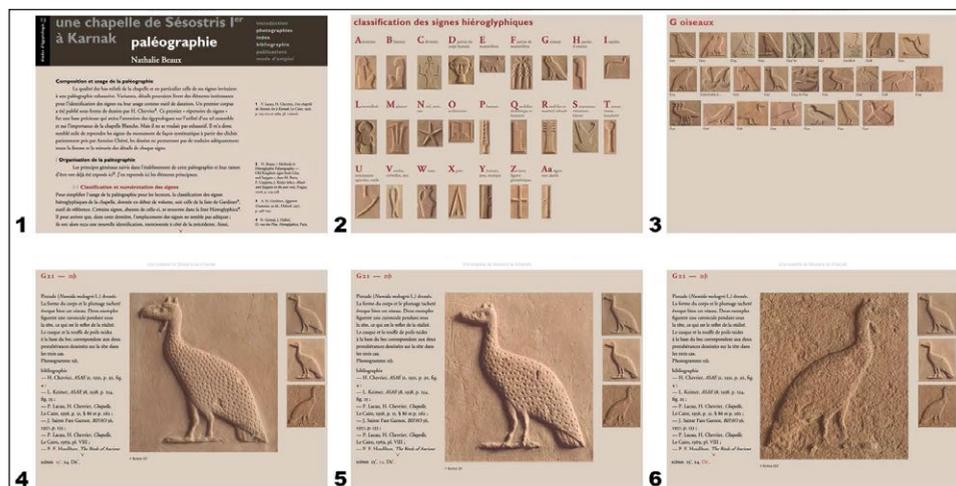


Fig. 8 – Paléographie de la chapelle Blanche. 1) Texte d'introduction. 2) Classification des signes hiéroglyphiques. 3) Signes des oiseaux. 4-6) Étude du signe G21 (pintade).

surtout à considérer comme des outils documentaires. L'archéologie est un domaine qui se prête idéalement à la publication numérique, mais c'est un genre particulier qui demande des moyens et des compétences. Quand nous nous sommes lancés dans cette aventure, notre démarche n'était pas comprise par tout le monde et les usages de l'informatique n'étaient pas innés. Il fallait démontrer l'intérêt de ce type de projet et expliquer son fonctionnement. À chaque fois, nous avons dû réaliser un mode d'emploi pour faciliter l'utilisation de la base de données, celle du logiciel Acrobat Reader ou de l'ePub. Cette particularité montre qu'il existait de vraies difficultés dans la conception et l'appropriation d'une publication numérique. La mise en œuvre de tels projets et leur évolution dans le temps démontrent que, comme toute chose, ils ont un début... mais aussi une fin.

Ce type de projet est le plus souvent mené par une équipe. Dans notre cas, nous avions le soutien du directeur de la publication, Nicolas Grimal, qui était également le directeur scientifique de notre laboratoire. Nous avons eu le support de trois éditeurs: les éditions Cybele (<http://www.librairie-cybele.com>), Soleb (<https://www.soleb.com/livres/index.html>) et l'Institut français d'archéologie Orientale (<https://www.ifao.egnet.net>). Olivier Cabon, directeur des éditions Soleb est aussi intervenu, en tant que graphiste, avec Thierry Sarfis, puis, chef de voûte de tout projet numérique, un informaticien. Éric Aubourg, créateur du logiciel MacScribe, premier traitement de texte hiéroglyphique, il est également astrophysicien et égyptologue. Voyons maintenant les différents éléments qui composent ces publications.

5.1 La salle hypostyle: base de données et développement Java

Le projet de la salle hypostyle a fait l'objet d'un développement informatique spécifique que seul un informaticien pouvait réaliser. Éric Aubourg a programmé une application en Java, ce qui permettait de la déployer à la fois sur Mac, PC et Linux. La véritable difficulté concernait la gestion des images de très grande taille. Les performances en stockage et en calculs de nos machines imposaient des limites. Pour les contourner, Éric Aubourg a utilisé un logiciel de tuilage qui, au lieu de charger toute l'image en mémoire, n'appelait que la partie visible souhaitée par l'utilisateur. Cela explique l'existence du dossier "tiles", qui contient toutes les images, découpées en petits rectangles, réassemblées sur demande. Cela forme un ensemble de plus de 90.000 éléments représentant plus de 2 Go de données.

5.2 L'ouvrage de Paul Barguet: le format pdf

L'usuel de Paul Barguet était beaucoup plus facile à gérer car il prenait appui sur le format pdf et les fonctionnalités offertes par le logiciel Acrobat Pro d'Adobe. Ce projet n'a donc fait appel à aucun support informatique, ni graphique. Tous les documents d'archives qui composent cette publication sont des fichiers pdf utilisables dans les environnements Mac et PC.

5.3 La chapelle Blanche: le format ePub et Java

Le projet de la chapelle Blanche s'appuie également sur un format standardisé, celui de l'ePub, mais il intègre une part de programmation en Java. Éric Aubourg a donc beaucoup contribué pour donner forme à cette publication. L'ePub ne comprend qu'un seul fichier. Il est présenté de façon imagée comme "un mini-site Internet empaqueté". Avec le traitement du modèle 3D, l'équipe a dû s'agrandir pour trouver d'autres compétences. La chapelle avait été photographiée sous toutes les coutures, y compris le toit. Un premier volume en mode filaire a donc été réalisé par Franck Burgos, tailleur de pierre au CFEETK. Un premier essai de 3D a été tenté sur un des piliers. L'idée était d'utiliser les photographies d'Antoine Chéné pour recouvrir le volume 3D. Ces données ont été confiées à deux graphistes, Jean-Jacques Lonni et Joël Bazsalicza, qui ont ensuite créé le modèle 3D définitif, en 2007.

Avec la chapelle Blanche, nous étions au maximum des technologies de notre temps, de nos compétences et de nos moyens. La résolution des photographies des piliers n'était pas suffisante pour obtenir le détail d'un signe hiéroglyphique, il fallait obtenir un compromis entre la taille de l'image et sa résolution. Il était de toute façon impossible de manipuler des images de trop grande taille avec nos ordinateurs. C'est pour cette raison que les prises de vue en macrophotographie étaient nécessaires, de façon à voir les signes au plus près et dans tous leurs détails. La comparaison entre une photographie

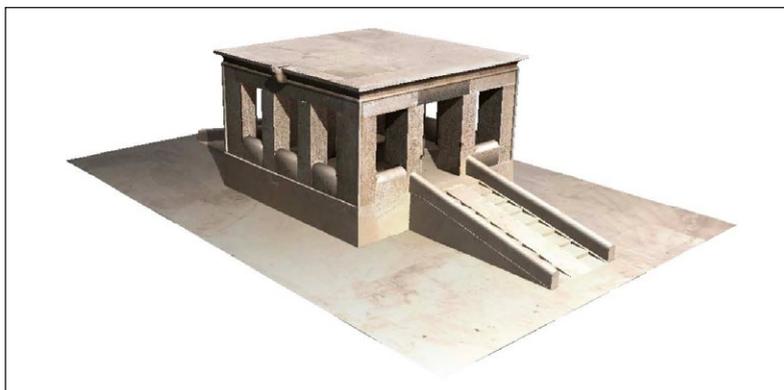


Fig. 9 – Modèle 3D de la chapelle Blanche (image J.-J. Lonni et J. Bazsalicza).

et une macrophotographie permet de voir l'abondance des détails sur le signe de l'abeille qui n'apparaissent pas dans le premier cas.

Même chose pour le traitement du volume 3D, qui est en fait en fausse 3D, les images étant appliquées comme des textures sur les éléments d'architecture (Fig. 9). Là encore, la taille du modèle 3D est le résultat d'un compromis. Calculer, puis surtout manipuler un fichier 3D trop lourd n'aurait pas été possible. Son intégration dans un fichier ePub ne donnait d'ailleurs pas les résultats escomptés, nous avons même fait le choix de le mettre en ligne sur le site de Sketchfab (<https://sketchfab.com/soleb>). Olivier Cabon et Thierry Sarfis ont ensuite proposé une maquette pour la publication, puis Éric Aubourg a assemblé tous ces éléments.

6. ENJEUX ET DIFFICULTÉS PROPRES AUX PUBLICATIONS NUMÉRIQUES

6.1 *L'obsolescence*

Du temps a passé depuis ces réalisations et nous pouvons maintenant prendre un peu plus de recul et mieux cerner les enjeux et les difficultés propres aux publications numériques. Il y a tout d'abord l'obsolescence. En informatique, elle est forcément programmée. Elle peut être soit matérielle, soit logicielle. Nous avons ici deux publications sur DVD, support qui, comme le CD, n'est plus un standard et que nous ne pouvons donc plus lire sur les nouveaux ordinateurs. Sur Mac, les évolutions de l'OS X ont parfois provoqué des problèmes au lancement du programme de la salle hypostyle. On découvre les effets de l'obsolescence lors d'un changement d'ordinateur ou de la mise à jour du logiciel système. C'est une loi du genre, une évolution inévitable qui ne dépend pas du concepteur de projets numériques.

6.2 *L'utilisation des publications numériques*

Le point le plus important concerne l'utilisation des publications numériques. Pour l'utilisateur, deux questions reviennent fréquemment: comment utiliser et citer les ressources électroniques? Nous avons conscience de ces points et, pour y faire face, nous avons cherché des solutions, mais qui étaient celles que nous pouvions imaginer avec les outils et les idées que nous avions au moment de chaque projet. Créer des publications numériques est une difficulté, apprendre à les utiliser en est une autre. Il faut se mettre dans la démarche des concepteurs de la publication et de celle du logiciel qui sert à la lire.

Nous avons dû à chaque fois rédiger un mode d'emploi, exercice obligatoire qui montre que l'utilisation d'une publication numérique n'est pas innée, qu'elle s'apprend. Heureusement, ces modes d'emploi sont de plus en plus courts, car les applications deviennent de plus en plus ergonomiques et intuitives, ce qui laisse supposer un bel avenir aux livres électroniques.

6.3 *La navigation*

Le point essentiel de ces modes d'emploi concernait la navigation. L'interface que nous utilisons est assez commune: un pointeur, qui se transforme en main ou en flèche et qui sert à activer les zones dynamiques. Montrer de façon plus évidente à l'utilisateur les liens hypertextes de la publication par des surbrillances, des effets de loupe ou d'autres procédés sont des points à améliorer pour rendre plus fluide la navigation dans les documents. Dans le cas d'un ePub, l'index prend une part essentielle dans cette navigation et il faut alors créer une interface permettant de passer d'un volume à un autre, de faciliter l'accès à l'information recherchée et de montrer les zones actives.

6.4 *La citation*

Autre point sensible de la publication numérique, la citation. Pour la salle hypostyle, il n'y a pas de difficulté, puisque la base de données de la salle hypostyle renvoie à des numéros de scènes ou aux numéros des documents. L'usuel de Barguet est une reproduction de l'original, il garde donc sa pagination. Les photographies ajoutées dans la publication numérique ont leur propre numérotation qui fait référence aux archives du CFEETK. Pour la chapelle Blanche, l'approche est différente: dans un livre électronique, les pages se composent en fonction de la taille de l'écran. Dans cet ePub, l'absence de pagination n'était pas un problème. En revanche, il était important de pouvoir garder une mise en page fixe pour citer les planches en fonction de leur titre ou de leur numérotation. Il était également important de pouvoir nommer les parties de la chapelle ou les signes qui apparaissaient à l'écran. Le système de classification des signes hiéroglyphiques et leur nomenclature sont placés en entête des écrans. Ils servent à la fois pour la citation et la navigation (Fig. 8, 1-6).

6.5 La pérennité

Le dernier point que nous devons aborder concerne la pérennité d'une publication numérique, elle ne vieillit pas comme un bon vin. C'est un produit qui a une date de production et une date de péremption. Sa durée de vie oscille entre l'obsolescence de sa programmation, qui réduit au fur et à mesure ses fonctionnalités, et les mises à jour logicielles qui mettront un jour un terme à son existence.

6.5.1 La salle hypostyle

Nous pouvons ainsi prendre le cas de la salle hypostyle dont l'histoire est assez exemplaire. Elle connaît un cycle de vie différent sur Mac et sur PC. En 2003, l'OS d'Apple était à sa version 10.2 et tout se passait normalement, jusqu'à la version 10.5. À partir de cette mise à jour système, l'application hypo.jar ne se lançait plus sur Mac. Avec les mises à jour suivantes, l'application put de nouveau fonctionner, mais avec des comportements erratiques, jusqu'à finalement ne plus se lancer du tout en version 10.14. Sur PC, le développement s'est avéré beaucoup plus stable et n'a pas connu ce genre de dysfonctionnement, mais il est inévitable qu'un jour ou l'autre, les évolutions logicielles précipiteront sa fin.

Cette publication numérique ne pourra échapper à cette fatalité, mais, heureusement, son contenu lui survivra. En 2019, les clichés d'Antoine Chéné ont servi à la publication papier d'un volume consacré à la grande salle hypostyle au format A4 (BRAND *et al.* 2019). Finalement, ce que nous avions voulu éviter est arrivé. Le format de cette édition n'est pas approprié, mais il assure au moins la pérennité de notre publication. En outre, les informations du DVD et sa forme survivent à travers le projet Karnak (SITH) mis en ligne sur le site du CFEETK.

6.5.2 L'ouvrage de Paul Barguet

Dans le cas de l'usuel de Paul Barguet, le problème est différent, car cette publication est composée d'un ensemble de fichiers .pdf. Le seul fichier posant problème est le mode d'emploi d'un fichier .mov. Sur Mac, pour pouvoir être exécutés, les fichiers .mov doivent être désormais convertis en .mp4. Le pdf est un standard et on peut se risquer à penser qu'il le sera encore pour la prochaine décennie. De ce fait, les éditeurs de logiciels seront obligés de proposer des solutions et de prendre en considération ce format ou sa conversion dans le développement de leurs futures applications.

Le format ePub n'échappe pas à la règle de l'obsolescence programmée. En 5 ans, nous avons déjà remarqué que certains scripts java ne s'exécutaient plus de la même façon et que certaines zones actives avaient des temps de réponse différés. La publication ne réagit pas non plus de la même façon quand elle est exécutée sur une tablette ou sur un ordinateur. Pour éviter le problème que nous avons rencontré avec la salle hypostyle, nous avons fait le choix de doubler la publication ePub par un pdf.

Ce fichier unique comprend l'ensemble des volumes de l'ePub et compte 1704 pages. Cette conversion de l'ePub en fichier pdf permet, certes, d'assurer la pérennité de la publication, mais ce que nous gagnons en durabilité, nous le perdons en fonctionnalités, les scripts java ne sont pas convertis, seule la navigation hypertexte reste assurée.

7. LES DIFFÉRENTS TYPES DE PUBLICATIONS NUMÉRIQUES SUR KARNAK

L'édition numérique est un ensemble plus vaste qui comporte de nombreux éléments, et pour le temple de Karnak nous devons inclure les sites Internet et les bases de données en ligne. En premier lieu, le site web du CFEETK qui assure la diffusion de plusieurs bases de données mettant en relation la documentation iconographique et bibliographique avec l'objet archéologique (<http://www.cfeetk.cnrs.fr>). À l'IFAO, Laurent Coulon et Emmanuel Jambon ont créé une base de données de référence sur les statues de la cour de la Cachette, un ensemble de plus de 700 statues découvertes entre 1903 et 1907 (<https://www.ifao.egnet.net/bases/cachette>).

Les publications numériques en égyptologie sont encore très rarement des livres électroniques multimédia. Les fichiers de la PAO servent à imprimer une version papier et à générer une version électronique au format pdf qui sont ensuite mis en ligne.

L'IFAO est en train de faire évoluer sa politique éditoriale en proposant de combiner les genres. C'est la solution qui a été retenue pour la publication de l'ouvrage d'Hourig Sourouzian sur la statuaire royale à la XIX^e dynastie (SOUROUZIAN 2020). Le volume de texte est une version papier, son volume de planches est un catalogue qui n'a été édité qu'au format pdf. Il a été mis en ligne et renvoie à une base de données pour les illustrations (<https://www.ifao.egnet.net/publications/catalogue/BiEtud/177>). Cette publication est complètement composite et laisse entrevoir à l'avenir différentes formes d'éditions qui ne sont pas contradictoires, mais complémentaires.

Les éditions Soleb proposent des solutions entièrement dématérialisées. Les publications sont éditées au format pdf, mais elles offrent une grande part d'interactivité entre texte, index et planches. C'est ainsi qu'Olivier Cabon a traité les dernières études architecturales proposées par François Larché, *L'anastylose des blocs d'Amenhotep I^{er} à Karnak* (<https://www.soleb.com/livres/amenhotepier/index.html>). Les publications numériques évoluent et si on ne peut douter de leur avenir, on doit se rappeler qu'elles auront également un passé.

8. ARCHÉOLOGIE NUMÉRIQUE, VIRTUELLE OU CYBER-ARCHÉOLOGIE?

Les publications de la salle hypostyle et de la chapelle Blanche rentrent dans le champ de ce qui est appelé l'archéologie virtuelle ou archéologie numérique. Nous avons d'un côté des photographies en 2D de la salle

hypostyle, qui ne représentent pas la réalité, mais qui semblent plus vraies que nature et de l'autre côté un modèle 3D de la chapelle Blanche qui cherche à s'en rapprocher le plus possible. Nous nous retrouvons face à un étrange paradoxe: réalité virtuelle ou virtualité réelle?

Le rendu actuel du modèle 3D de la chapelle Blanche ne permet aucune confusion entre la réalité et la virtualité. Ce modèle est le seul moyen de visualiser la complexité architecturale du monument et de restituer la richesse de sa décoration. L'utilisateur reste dans un univers cyber, popularisé pour l'archéologie par Jean-Yves Empereur et Lara Croft, dans *TombRaider*, un jeu vidéo en 3D sur *PlayStation*, sorti en 1999. Personne ne se trompe sur la nature de cet environnement virtuel.

Avec la salle hypostyle et l'utilisation de la photographie numérique, l'approche est différente. À partir de 1839, la découverte de la photographie a modifié notre perception du monde réel. François Arago, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, a très bien perçu ce changement, et dès la création de la photographie, l'archéologie a été concernée par cet apport nouveau:

«Pour copier les millions et millions d'hiéroglyphes qui couvrent, même à l'extérieur, les grands monuments de Thèbes, de Memphis, de Karnak, etc., il faudrait des vingtaines d'années et des légions de dessinateurs. Avec le Daguerrotypage, un seul homme pourrait mener à bonne fin cet immense travail. Munissez l'institut d'Égypte de deux ou trois appareils de M. Daguerre, et sur plusieurs des grandes planches de l'ouvrage célèbre, fruit de notre immortelle expédition, de vastes étendues d'hiéroglyphes réels iront remplacer des hiéroglyphes fictifs ou de pure convention; et les dessins surpasseront partout en fidélité, en couleur locale, les œuvres des plus habiles peintres; et les images photographiques étant soumises dans leur formation aux règles de la géométrie, permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées; les plus inaccessibles des édifices» (ARAGO 1839; GIMON 1980).

Ce projet est toujours d'actualité, mais il a subi une nouvelle évolution avec l'arrivée de la photographie numérique. Avec un descendant du Daguerrotypage, Antoine Chéné a pu "mener à bonne fin cet immense travail". Il a été aidé dans les prises de vue par Philippe Groscaux, ancien photographe du Centre Camille Jullian d'Aix-en-Provence, décédé accidentellement en 2014, par Mohammed El-Sa'idi et Dowi Abd el-Radi, photographes du CFEETK. Il a effectué seul les assemblages numériques de toutes les parois de la salle hypostyle.

La photographie numérique modifie une nouvelle fois notre perception du monde réel en se jouant de nos sens. Les images obtenues par Antoine Chéné ne représentent plus cette réalité que l'on croyait figée par la photographie. Elles sont des restitutions améliorées de la réalité. Personne n'a jamais vu et ne pourra jamais voir les parois de la salle hypostyle telles qu'Antoine Chéné les a restituées. Notre vision réelle du monde ne peut nous permettre

de faire abstraction des colonnes, des ombres portées et des déformations de perspective. Face à ce type d'image, nous sommes immergés dans un monde virtuel, où le pixel est suffisamment petit, pour nous faire oublier qu'elle est une production cyber au même titre que notre modèle 3D. Il faut zoomer dans l'image pour découvrir ses imperfections, des décalages à peine perceptibles dans les raccords, mais surtout dans l'éclairage, parfois artificiel, qui ne peut être constant, car l'image est constituée de centaines de prises de vue faites à différents moments d'une journée de travail, à différentes saisons et à l'aide de spots. Il y a de légères variations dans les lumières et les ombres. Il faut donc beaucoup de talent pour jouer avec tous ces paramètres et créer une image uniforme donnant l'illusion du réel.

Nous nous éloignons ainsi de la pratique documentaire de la photographie pour témoigner de la réalité. Nous nous éloignons de l'idée de son objectivité, car désormais ces images vont plutôt vers la subjectivité. L'image créée n'est plus celle du monde réel, mais d'un monde sublimé qui va permettre la création d'un document unique. Tous les éléments objectifs qui viennent gêner la vision du réel ont été éliminés. Les images d'Antoine Chéné sont épurées de toutes scories et font partie d'une nouvelle génération de documents améliorant notre perception de l'image et de l'espace. Elles sont pour les années 2000 les plus fidèles représentations de l'état des parois de la salle hypostyle.

À l'avenir, d'autres technologies seront certainement capables de produire une documentation encore plus précise. Nous pouvons déjà constater, toujours en prenant en compte cette citation de François Arago, que l'arrivée de la photogrammétrie est une nouvelle révolution dans le monde de la photographie, puisqu'elle permet même de s'affranchir des "règles de la géométrie". La production d'orthoimage est une forme d'aboutissement du rêve d'Arago, la photogrammétrie architecturale ouvre donc de larges perspectives en archéologie. Elle a d'ailleurs rapidement trouvé sa place à Karnak. Les premières orthoimages ont été produites par Emmanuel Laroze, architecte, puis directeur du CFEETK entre 2004 et 2008, et Bertrand Chazaly, ingénieur géomètre-topographe, pour relever un autre défi documentaire et architectural: le scannage en 3D et la photogrammétrie des colonnes de la salle hypostyle (<https://sketchfab.com/chazaly>).

Ces travaux aboutissent à la réalisation d'images inédites, les modèles numériques qui permettent de visualiser une colonne et son développé orthophotographique (Fig. 10). Ce procédé, connu sous le nom de périphotographie, était utilisé en argentine pour des objets cylindriques comme des vases (CHÉNÉ *et al.* 1999). Le décor de la colonne est ainsi déroulé et mis à plat, autorisant une vision d'ensemble de la colonne. Cette photographie est complètement virtuelle. Elle représente une colonne sans la figurer et, sans indication, elle pourrait même être confondue avec une paroi du temple (LAROZE, CHAZALY 2009).



Fig. 10 – Colonne de la salle hypostyle avec développé orthophotographique (orthoimage E. Laroze, B. Chazaly).

Dans ce sens, le terme d'archéologie virtuelle nous semble le plus approprié pour désigner ce type de travail. Ces images photographiques sont des réalisations qu'une seule prise de vue ne peut rendre. Elles nous montrent quelque chose que l'on ne peut voir dans la réalité, nous les comprenons donc plus proche du virtuel que du réel. La photographie numérique change assurément notre perception de la réalité.

Un autre mot a fait son apparition et il voudrait le remplacer. Il s'agit de la cyber-archéologie. En 2010, Maurizio Forte, enseignant-chercheur à l'Université de Californie à Merced, proposait d'appeler "cyber-archéologie" l'ensemble des technologies informatiques, essentiellement 3D, permettant de restituer par l'image les mondes anciens, ce qu'on appelait autrefois "l'archéologie virtuelle" (FORTE 2010). Nous ne savons pas si ce terme sera finalement retenu par nos disciplines. Le mot "virtuel" a déjà évolué avec le temps. Dans les années 2000, on parlait de "bibliothèque virtuelle"; ce mot s'opposait à "réelle, physique, matérielle" et il a été remplacé par "numérique", et il en sera sûrement de même pour notre archéologie virtuelle. L'arrivée du clonage numérique qui permettra un jour de restituer un objet archéologique, paroi ou objet, d'une façon la plus parfaite qui soit, semble déjà imposer le mot. Ce concept de clone numérique fait l'unanimité.

Aujourd'hui, nous entendons parler de photogrammétrie, d'orthophotographie, de 3D ou de façon plus générale d'Humanités Numériques. La "cyber-archéologie" reste un mot utilisé outre-Atlantique. Si nous comprenons bien la définition de Maurizio Forte, il nous semble que ce domaine est essentiellement investi par les graphistes, les personnes formées à la maîtrise de l'image et, accessoirement, par les archéologues. Le mot est pourtant intéressant, mais il devrait peut-être servir à désigner une autre réalité.

D'ici juste une cinquantaine d'années, nos archives informatiques comporteront des lots hétéroclites que nous pouvons déjà commencer à lister: disquettes, ZIP, CD, DVD, disques durs avec différentes connectiques, clés USB, ordinateurs et téléphones, tout ce matériel informatique et ces supports de stockage dans lesquels se trouveront des documents avec toutes sortes de formats, complètement désuets ou exotiques (ALBOUY *et al.* 1989). Qui pourra remettre en route ces appareils et qui pourra décrypter ces données, aussi étranges que le cunéiforme ou le code Enigma?

Quelle compétence sera la plus utile pour lire ce passé numérique, entre l'histoire et l'informatique? Cet historien aura besoin de temps, de moyens et des deux compétences. Si demain, il doit exister un cyber-archéologue, il pourrait avoir ce profil et la cyber-archéologie deviendrait alors la science de notre passé numérique, à travers nos vestiges informatiques, et ne serait plus celle de la représentation graphique de notre passé.

ALAIN ARNAUDIÈS

CNRS-UAR 2409

Centre de Documentation de l'Institut des Civilisations du Collège de France
alain.arnaudies@college-de-france.fr

BIBLIOGRAPHIE

- ALBOUY M., BOCCON-GIBOD H., GOLVIN J.-C., GOYON J.-C., MARTINEZ P. 1989, *Karnak. Le temple d'Amon restitué par l'ordinateur*, Paris, M.A. Éditions.
- ARAGO F. 1839, *Rapport de M. Arago sur le daguerréotype, lu à la séance de la Chambre des députés, le 3 juillet 1839, et à l'Académie des Sciences, séance du 19 août*, Paris, Bachelier Imprimeur-Libraire, 28-31.
- ARNAUDIÈS A. 2007, *La base de données "Karnak". Système d'information multimédia du CFEETK*, «Cahiers de Karnak», 12, 65-78 (halshs-02490373).
- ARNAUDIÈS A., CHÉNÉ A. 2003, *Les parois de la salle hypostyle de Karnak*, «Études d'égyptologie», 2, Paris, Éditions Cybèle (DVD).
- ARNAUDIÈS A., BEAUX N., CHÉNÉ N. 2015, *La chapelle de Sésostris I^{er} à Karnak*, «Études d'égyptologie», 13, Paris, Éditions Soleb (halshs-02490629).
- BARGUET P. 1962, *Le temple d'Amon-Rê à Karnak. Essai d'exégèse*, Recherches d'Archéologie, de Philologie et d'Histoire, 21, Le Caire, Institut Français d'Archéologie Orientale.
- BARGUET P. 2006-2007, *Le temple d'Amon-Rê à Karnak. Essai d'exégèse. Réimpression 2006. Augmentée d'une édition électronique*, Recherches d'Archéologie, de Philologie et d'Histoire, 21 (DVD).
- BRAND P.J., FELEG R.E., MURNANE W.J. 2019, *The Great Hypostyle Hall in the Temple of Amun at Karnak*, Oriental Institute Publications, 142, Chicago, Oriental Institute of Chicago.

- CHÉNÉ A., FOLIOT PH., RÉVEILLAC G. 1999, *La pratique de la photographie en archéologie*, Aix-en Provence, Édisud.
- CHEVRIER H. 1938, *Reconstruction d'un Temple de Sésostri I^{er} à Karnak*, «Chronique d'Égypte», 13/25-26, Bruxelles, Fondation Égyptologique Reine Élisabeth, 296-299.
- COULON L. (éd.) 2016, *La Cachette de Karnak. Nouvelles perspectives sur les découvertes de Georges Legrain*, Bibliothèque d'étude, 161, Le Caire, Institut Français d'Archéologie Orientale.
- FORTE M. (ed.) 2010, *Cyber-Archaeology*, BAR International Series 2177, Oxford, Archaeopress.
- GIMON G. 1980, *La photographie ancienne et l'archéologie*, «Revue archéologique», 1, 134-136.
- LACAU P., CHEVRIER H. 1956, *Une chapelle de Sésostri I^{er} à Karnak*, Le Caire, Service des Antiquités de l'Égypte, Imprimerie de l'Institut Français d'Archéologie Orientale.
- LACAU P., CHEVRIER H. 1969, *Une chapelle de Sésostri I^{er} à Karnak. Planches*, Le Caire, Service des Antiquités de l'Égypte, Institut Français d'Archéologie Orientale.
- LARCHÉ F. 2019, *L'anastylose des blocs d'Amenhotep I^{er} à Karnak*, Études d'égyptologie, 18, Paris, Éditions Cybèle (<https://www.soleb.com/livres/amenhotep-ier/>).
- LAROZE E., CHAZALY B. 2009, *Relevés des colonnes de la grande salle hypostyle de Karnak*, «Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres», 153, 669-685 (<https://doi.org/10.3406/crai.2009.92528>).
- SAINTE FARE GARNOT J. 1957, *Index de l'ouvrage de MM. Pierre Lacau et Henri Chevrier, "Une chapelle de Sésostri I^{er} à Karnak"*, «Bulletin de l'Institut Français d'Archéologie Orientale», 56, 131-149 (<https://www.ifao.egnet.net/bifao/56/11/>).
- SOUROUZIAN H. 2020, *Recherches sur la statuaire royale de la XIX^e dynastie*, Bibliothèque d'étude, 173, Le Caire, Institut Français d'Archéologie Orientale.

ABSTRACT

The one-day workshops on 'The Archaeological Publication in the Digital Environment', organized by Nanterre University in 2021, was the opportunity to discuss the work carried out by the Franco-Egyptian Centre for the Study of the Temples of Karnak in the years 2000. The use of digital photography in an archaeological site has allowed the creation of virtual images that modify our perception of the real world and require a digital publication form. Digital technologies, such as 3D and photogrammetry, generate new scientific imagery. Photomontages and orthomosaic photographs are similar in general appearance to reality but they are completely virtual images. The real object is virtually transformed and, at the same time, the generated virtual object strives to be as close as possible to reality. The digital edition of Paul Barguet's work on Karnak temple was an example of a paperless approach and an attempt to dematerialize the traditional information media. Nevertheless, virtuality is anchored to the materiality of the computer world to ensure its durability and it is constrained by IT media and software obsolescence. System upgrades and hardware developments may appear the death-knell for these achievements. These images and software are products of a new discipline called 'virtual archaeology', 'digital archaeology' or 'cyber-archaeology', but is that the right terminology? If there is to be a cyber-archaeologist, what should be his function? In the near future, when many machines and software are no longer executable or consigned to the scrapheap, cyber-archaeology will become the science of our digital past and no longer the science of the graphic representation of our past.

A POSTPHENOMENOLOGICAL PERSPECTIVE ON DIGITAL AND ALGORITHMIC ARCHAEOLOGY

1. INTRODUCTION

This contribution stems from the reflections arising on the sidelines of the ArchAIDE project, which developed an Artificial Intelligence (AI) application for automatic recognition of pottery using Deep Learning algorithms (ANICHINI *et al.* 2021). ArchAIDE is based on two neural networks: one dedicated to image recognition (also called appearance-based recognition, for pottery decorations) and the other for shape recognition (for pottery types). By taking just one picture of the potsherd to recognise and sending it to the classifier, the ArchAIDE app returns five answers ranked based on the algorithm's confidence. The answers are all linked to the information (drawing, images, text, 3D models, locations, etc.) collected in the reference database, and the user can compare the information with the potsherd found. When I first used it through my mobile device, apart from a feeling of magic, I felt a sensation of disruptiveness. My smartphone was mediating between me and the potsherds. I no longer had the need to take the potsherd in my hand, see and touch its surfaces, or observe or lick the paste for performing hermeneutics; I only had to take a picture through my smartphone. Technology was performing cognition instead of me.

The time has come to reflect on the use of AI in archaeology, trying to understand, among the others, how technological mediation takes place in archaeology through AI and if its effects are disruptive concerning epistemology and hermeneutics. This contribution will follow Postphenomenology and material hermeneutics to describe the relationship between archaeology and AI. Postphenomenology developed a philosophy of scientific practice closest to empirical research (IHDE 1990; VERBEEK 2005; IHDE 2009; ROSENBERGER, VERBEEK 2015; DE BOER *et al.* 2018). In Postphenomenology, the key concept concerns the technologies' mediation role of humans' relations with the world, in which technologies act as active and no-neutral intermediaries in establishing how the world is disclosed to scientists. Nonetheless, this *active shaping* is one with the scientist who employs the instrument and both of them as a whole are included in the concept of technological mediation (DE BOER *et al.* 2018). Furthermore, Postphenomenology ascribes hermeneutical aspects to technologies and defines hermeneutical relations as those through which humans read and interpret the world via technologies (IHDE 2009, 43).

As some scholars (HUGGETT 2017; WELLNER 2020) also point out, digital technologies have a material aspect in the complex apparatus composed of

fibre optic cables, servers, satellites, displays, et cetera. Besides, digital technologies *give voice* to things, deliver new significances to information structures and conduct users to specific meanings, and once they come to AI, they also possess technological intentionality (VERBEEK 2008; WELLNER 2020).

2. POSTPHENOMENOLOGY IN BRIEF

Postphenomenology has been theorised by Don IHDE (1990, 2009, 2012) as a modified hybrid phenomenology that takes its origin from Husserl, Heidegger, Merleau-Ponty philosophies. Postphenomenology conceptualises the relationship between human beings, technology, and the world in terms of a continuum and technological mediation (IHDE 1990; VERBEEK 2005) and represents this relation through the formula:

human – technology → world

In postphenomenological formulas, the arrow indicates intentionality (VERBEEK 2008).

Ihde recognises four primary relationships humans can have with technological artefacts: *embodiment relations*, *hermeneutics relations*, *alterity relations*, and *background relations* (IHDE 1990, 72-111; 2009, 42-44).

In *embodiment relations*, humans engage the world with the use of technologies or artefacts. Technology can be embodied by its users, determining a relationship between humans and the world. Glasses allow humans to see through themselves, or the telescope allowed Galileo to see the craters on the moon (IHDE 1990, 73); in both cases, an artefact or an instrument is *incorporated*, and it becomes an extension of the human body. IHDE (1990, 89) represents this relation through the formula:

(human – technology) → world

In *hermeneutic relations*, technologies deliver representations of reality, which need interpretation. A thermometer, for example, displays a value that requires to be read and interpreted for knowing the temperature. IHDE (1990, 89) represents this relation through the formula:

human → (technology – world)

In *alterity relations* (IHDE 1990, 97), technologies are the end of our experience. Humans interact with a device, such as using a printer to print an archaeological report. A permutation of the postphenomenology formula describes this relation:

human → technology (– world)

In *background relations* (IHDE 1990, 108), technologies are simply part of our environment, and they are taken for granted and create a context for

our perceptions (VERBEEK 2008), like the automated backup of data. The following permutation describes background relations:

human (– technology – world)

Apart from alterity relations, human intentionality is constantly mediated by technologies. Human beings do not experience the world directly but rather through a mediating artefact that forms a definite relation between them and the world. This paper will focus on the first two relations described.

3. DIGITAL ARCHAEOLOGY FROM A POSTPHENOMENOLOGY POINT OF VIEW

Postphenomenology considers that hermeneutics is tightly bound to materiality in natural and human sciences (IHDE 2009, 68). It calls this *material hermeneutics*. Archaeology, which is based upon material evidence (CHAPMAN, WYLIE 2015), has material hermeneutics per se. Let us take the example of the study of the body of Otzi the Iceman. The scientific instruments for analysing the Otzi body turn it from its condition of a mute thing into a speaking object and allow archaeologists to give voices to things (IHDE 2009, 70). However, the use of technology entails embodiment; it changes the human body to become a larger entity that includes technological artefacts (ROSENBERGER, VERBEEK 2015)¹ and becomes part of our experience of the world. As long as it enters our body, technology withdraws, becomes quasitransparent, and thus it is not object-like; instead, it is a means of experience, not an object of experience in use (IHDE 2009, 42).

In embodiment relations, the partial symbiosis of the human with the technology is given by the latter's capacity to become perceptually transparent (IHDE 1990, 86). Embodiment relations include the paradox between total transparency and omnipotence (IHDE 1990, 75). Total transparency means total embodiment, whereas omnipotence means having the power the technologies make available. This paradox can also be found in the digital sphere, between the transparency of the infrastructure that allows the use and transformation of information and the hardware that needs to be continuously updated as it is never considered adequate (WELLNER 2020)². For Wellner, the difference in digital technologies is that they are indirectly effective on the body.

¹ This concept came from Merleau-Ponty's phenomenology. In his analysis of the blind man's cane (MERLEAU-PONTY 1962, 144), the body intentionality extends through the artefact into the world in a distinctive technological mediation. This kind of embodiment results familiar to archaeologists. The trowel for an archaeologist is no longer perceived as an object. Its point and blades have become an area of sensitivity. The archaeologists feel the composition and compactness of the sediment and its changing through the trowel, which they feel like an extension of their arm and hand.

² Continuing the trowel example, the paradox is between the total transparency of the trowel, i.e. digging without perceiving it as an instrument, and the omnipotence given by the power of the trowel in digging everything.

Nevertheless, it could be argued that digital technologies are often embedded in a thing, as the ArchAIDE app is embedded in a smartphone. In this way, the smartphone has an embodied relationship with the body, and AI amplifies that. We will come back later to this point.

Along the human-technology continuum envisaged by Postphenomenology, hermeneutic relations follow but do not depend on embodiment relations (IHDE 1990, 80). Postphenomenology defines hermeneutic relations as those through which we extract information and interpret the world through technologies. Digital technologies also engage meaning-oriented capacities, which implicate reading, i.e. extraction and interpretation (WELLNER 2020). Hermeneutic relations are formalised by a permutation in which the technology and the world elements form an entity with which the human interact:

human → (technology–world)

Archaeologist → (hyperspectral camera – flint)

The already mentioned study of Otzi the Iceman body shows the need for archaeology «to utilise [...] material investigation» (IHDE 2009, 69) and achieve material hermeneutics. Indeed, material hermeneutics «gives things voices where there had been silence and brings to sight that which was invisible» (IHDE 2005) and «reveals the written accounts to be partial and in some ways to show phenomena that are in tension with the written accounts» (IHDE 1990, 73). There is a co-constitution of humans and their technologies ontologically interrelated. This implies that «transformations are non-neutral» (IHDE 2009, 44). In other words, «both what is experienced and how one experiences the object are changed. Technologies transform our experience of the objects in the world non-neutrally» (IHDE 1990, 47).

In Digital Archaeology, hermeneutic relations can be easily shown using technologies related to the representation of a particular view. Even a photograph has a specific point of view, assumptions, and potential biases. For example, a monument represented by a digital camera can supply a different interpretative perspective from the image of the same monument portrayed by a hyperspectral camera. These different perspectives highlight the non-neutrality of technology. Furthermore, these aspects are essential and intrinsic in hermeneutic relations. They become even more evident when archaeologists use algorithms to identify bare-earth or ground within a point cloud to create a Digital Surface Model from airborne LiDAR data. For example, the so-called vegetation removal algorithms allow us to reveal features hidden by woodland canopies and can direct to unforeseen inferences (DEVEREUX *et al.* 2005). Nevertheless, different filters for ground extraction from airborne LiDAR point clouds are not qualitative and quantitative analogous, and each filter has biases compared to the others (ŠTULAR, LOZIĆ 2020).

Shifting the point of view a bit makes it possible to give technology intentionality. Scholars like VERBEEK (2008) suggest that technologies can have intentionality that directs to specific ways of operating or thinking and, more widely, to a specific interpretation, distinguishing it into *hybrid intentionality* and *composite intentionality*. Hybrid intentionality refers to human/technology merging rather than interacting, whereas the latter refers to the composition of intentionalities of human and technological artefacts. The former is associated with half organic, half technological beings, such as *bionic* beings or cyborgs. We will not consider this interaction because it is not developed in archaeology. The meaning given by Verbeek is different from the concept of Cyborg Archaeology by MORGAN (2019). In composite intentionality, intentionality is directed to construct reality and show a novel way of seeing the world instead of representing a phenomenon (VERBEEK 2008). For example, hyperspectral imaging produces a visible image of an archaeological artefact showing molecular bonds that are not visible to the human eye. In this case, the instrument translates the molecular bonds into bodily perceivable images.

This *translation* is a technological transformation of a phenomenon into a readable image. Because it brings into presence previously unknown phenomena, it does so through a hermeneutic process, i.e. a process that is not limited to textual or linguistic phenomena, by translating what is detected into images that embodied observer can read. Here, hyperspectral images and other imaging techniques used in archaeology allow experiencing phenomena that otherwise would not be perceptible by the body but become experienced because they are technologically mediated. From a Digital Archaeology perspective, it is essential to underline that sensors perceive data that the human eyes cannot detect. Then, in a double translation process, data is processed through the digital conversion into image and image into data that allow the image construction (IHDE 1990, 92). In this case, technological intentionality is not directed at representing a phenomenon; instead, it constructs reality. The addition of human and technological intentionalities is addressed «at making accessible ways in which technologies ‘experience’ the world» (VERBEEK 2008).

Furthermore, we can use different technologies to analyse a potsherd or a prehistoric flint. Hyperspectral imaging, X-ray fluorescence (XRF), and Raman spectroscopy could be applied. Each produces a slice of the overall information and shows different aspects of the artefact. This is a phenomenological variation. Smart glasses offer an even more evident example, as in the restoration of Alexander the Great’s mosaic in the Archaeological Museum of Naples (MAN) (MUSEO ARCHEOLOGICO DI NAPOLI 2021). Smart glasses and Virtual Reality (VR) allow a bodily extension of the observer’s perception, capable of experiencing what the human eye cannot perceive. Here, smart glasses perform hermeneutics and digitally mediate the experience of the world.

In Digital Archaeology, visualisation is dominant. If, in the beginning, such a visualism has been decried as reductive in respect of linguistic hermeneutics, now digital applications such as Augmented Reality (AR) or GIS and other imaging practices have produced a very sophisticated *visual hermeneutics* (IHDE 2009, 64). In the case of ARtefactKit (THE ARTEFACTKIT 2017), a multi-sensory AR application allows archaeologists to compare an excavated animal bone with bones from a 3D virtual reference collection to aid identification and examination. The application makes it possible to see and hear the real animals from which the bones are derived, distribution maps, and other data. In the case of GIS spatial analysis (GILLINGS *et al.* 2020), where again composite intentionality operates, maps are obtained from algorithms that analyse the data and display a visual model like the case of viewshed or least-cost analysis. In both cases, visual hermeneutics is performed, i.e. a more perceptual than linguistic interpretation is applied when we investigate nonspeaking, nonwriting, and nonlinguistic phenomena.

The massive use of 3D models in Digital Archaeology represents *constructive intentionality*, a different type of composite intentionality (VERBEEK 2008). 3D models, especially in interactive and immersive virtual reality, produce highly realistic representations of a reality that could not have occurred in the past. These models do not depict the past's reality as it existed; instead, they create a new reality of the past that occurs because human intentionality is accompanied by technological intentionality. The 3D and photorealistic models have not equivalent to the past reality. The intentionality given by researchers to the 3D immersive virtual reality is not directed at making an existing reality of the past visible but at constructing a new reality of the past. This aspect appears clearly in 3D visualisation for reflexive archaeology developed at Çatalhöyük (LERCARI 2017), where highly evocative reconstructions of one of Çatalhöyük history house was built to foster multiple and inclusive interpretations (PERRY 2015).

To sum up, in composite intentionality, two forms of intentionality are involved: technological intentionality directed toward *its* world and human intentionality toward the preceding technological intentionality's outcomes. Here, humans are addressed/targeted at how technology is directed in the world (VERBEEK 2008). Composite intentionality is described by adding an arrow between technology and the world:

human → (technology → world)

Archaeologist → (3D software → Archaeological reconstruction)

If, in general, this variation represents the way in which digital technologies create a trace in the world (WELLNER 2018), in archaeology, this variation describes how digital technologies produce a trace in how we represent the materiality of the past.

Furthermore, in composite intentionality, the outcome and the instrument, e.g. the hyperspectral image and the hyperspectral instrument, compose the *technology* element. This element can be split between materiality, which is intertwined into hermeneutic relations, and the information handled by materiality for dealing with digital materials. WILTSE (2014) proposes to separate technology into *substrate* (materiality) and *trace* (information) because distinctive technologies take part in producing information and its display. The same separation exists between hardware and software, where the invisibility of materiality and the visibility of immaterial information produce a paradox (WELLNER 2020). The creation of information is normally concealed while the information is shown, gaining users' attention. The virtual becomes visible, and the physical invisible; accordingly to a Heideggerian perspective, it withdraws. This detaching between writing and displaying is exemplary of the digital environment. A vertical separator represents it in the permutation of the postphenomenological formula where the substrate faces the world while the trace faces the human (WILTSE 2014):

human → ([trace | substrate] → world)
Archaeologist → ([Hyperspectral imaging software | Hyperspectral camera]
→ archaeological remains)

This permutation describes the hermeneutic relations in digital environments and underlines the importance of materiality in this process. The hardware we use to mediate ourselves as archaeologists with the materiality of the past is not a secondary aspect of archaeological interpretation. It does not depend on computing power alone; instead, it is intrinsic in the digital sphere's hermeneutics.

More complexity can be envisaged. Every instrument has embedded digital software and hardware within it, which determine its capabilities (and limitations). Consequently, different versions of the same instrument, as well as altering the settings on the instrument, will produce different outcomes. Differently from WILTSE (2014) and WELLNER (2020), it is possible to suggest a different permutation mapping the trace ('information') to data rather than software. The definition of the paradox seems to underline the problem: if the visualised information ('trace') is facing the human, and the device ('substrate') is facing the (archaeological) world, the creation of information presumably sits in the software. So, the earlier mapping of trace onto software should instead be onto the software's output, which means the software does indeed sit somewhere between trace and substrate.

human → ([data – |trace – | substrate] → world)
Archaeologist → (Data visualisation – | Hyperspectral imaging software – |
Hyperspectral camera] → archaeological remains)

Tools for multi-sensorial engagement, such as VR goggles, AR tools, vibrating-haptic simulating gloves, and virtual treadmills to virtualise and augment reality and explore artefacts, museums, archaeological sites, or landscapes are widely used in digital archaeology (EVE 2017), and critiques on their application have already been produced (EVE 2012). Nevertheless, postphenomenology can be applied to understand the virtual tool-user relations by examining how the physical and virtual aspects are blended, as in the case of AR tools. In this case, it is possible to distinguish between *technology* (the technological artefact) and *object* (the information) and propose a permutation that does not consider the world component, revealing, instead, which of the two elements attracts the users' attention (LIBERATI 2016).

human \rightarrow ({Object}- Technology),

human \rightarrow (Object - {Technology}).

User \rightarrow ({AR archaeological reconstruction} - Mobile device),

User \rightarrow (AR archaeological reconstruction - {Mobile device}).

The curly brackets indicate which element entices the user's attention: the hardware or the information. The absence of the world element is related to the nature of virtuality that blurs the boundaries between the world and the information (WELLNER 2018). In this way, the materiality of the past is experienced and interpreted together with the information, i.e. the display, and the users' attention could be enticed more by the display than the artefacts, i.e. the past.

In archaeology, AR tools are related to material remains or the landscape where material remains laid, so standing attention to which element entices the user's attention, the world element could be added, taking care of the former point:

User \rightarrow ({AR archaeological reconstruction} - Mobile device \rightarrow archaeological remains),

User \rightarrow (AR archaeological reconstruction - {Mobile device} \rightarrow archaeological remains).

AR example clarifies how humans can be considered 'artefacts' shaped and used by machines, with humans reacting to technological stimuli rather than vice-versa (DEMETIS, LEE 2018, 930).

4. POSTPHENOMENOLOGY AND AI

AI is gradually becoming part of everyday archaeological practice. Consequently, it is paramount to address the challenges posed by autonomous digital tools possessing technological agency before they are more widely employed within archaeology (HUGGETT 2021). Attention must be paid to epistemology, hermeneutics, technological agency, and competitive cognitive

artefacts, which raise concerns about digital practices and autonomy lying beyond human control.

In the digital world, technologies not only give voice to things but also support information to talk. Let us develop this concept. The first link in the chain is big data. Any AI application requires large amounts of data to train a neural network which contains thousands of layers and parameters. The ResNet-50 network used for ArchAIDE appearance-based recognition is composed of a sequence of blocks whose maps are multidimensional and include many channels, whereas the network for shape-based recognition, based on PointNet, is even more complex (ANICHINI *et al.* 2021). By finding correlations between data, the focus moves on technologies' role in producing an interpretation, i.e., on the mediating role of algorithms in perceiving the world. From this point of view, a new AI application, as possibly in the case of ArchAIDE, may determine new informational structures and even lead to changes in the content itself.

As GATTIGLIA (2015) discussed, Big Data is also connected with the process of datafication. Differently from digitisation, which is the migration of something in digital support, therefore is an heir of the analogue age as in the case of a digitised document such as an archaeological report or an excavation plan, datafication is the transformation of an object or a phenomenon in tabular data that can be analysed through algorithms. This is the distinction envisaged by MANOVICH (2013) between a *document* (digitisation) and a *performance* (datafication). The former represents a fixed visual representation that can be accessed identically and repeatedly. The second represents multistability, i.e. «the idea that technologies can be put to multiple purposes and can be perceived to have different meanings for different users» (FRIEDIRCH *et al.* 2022). In the performance, AI algorithms deliver information and define how it is presented to the users. More precisely, the performance differs based on when, how, and who uses the app.

In ArchAIDE appearance-based recognition, the same potsherd of Majolica of Montelupo photographed with different devices or viewpoints, et cetera, and sent to the classifier always maintains the 83% probability of being in the list of the top five outcomes. However, the degree of confidence the algorithm gives can vary; the correct result could be listed in a different position and perceived differently by users. By being a performance, the information cannot be exactly reread because it changes every time it is displayed. Nonetheless, the performance can perform hermeneutics by extracting meaning from data through a virtual cognitive process embodied in computational media (HAYLES 2017). In the case of ArchAIDE, the neural network extract meaning from the data used during the training and perform cognition through its embodiment in the smartphone or tablet. This process represents an act of knowing and can be considered cognition, which, unlike thinking, can be achieved by humans and non-humans, including technology. These cognitive capabilities give the

algorithms «a strong evolutionary potential than any other technology [...] which [...] enable them to simulate any other system» (HAYLES 2017, 33).

This digital material hermeneutics is associated with technological materiality. The materiality of the device constrains potential uses because technology cannot be whatever the user wants it to be. In the case of ArchAIDE, the digital material hermeneutics is coupled with the mobile device's materiality. In other words, AI technology actively mediates the world and possesses technological intentionality, i.e., it directs to a specific interpretation. Therefore, hermeneutic relations in AI reflect the algorithms' technological intentionality. In ArchAIDE, the neural network is coupled with the smartphone and directs to a specific interpretation, i.e. the recognition of a potsherd as belonging to a particular type. The algorithm achieves the interpretation and directs the user on what to read. Consequently, AI algorithms have autonomy and intentionality; they require cognition and create a trace in the world. This non-anthropocentric shift embodies the more and more crucial role of AI algorithms. In the AI age, Archaeology's challenge is to recognise technology as an agent (HUGGETT 2021) on whom we depend on extracting meaning and, at the same time, as something that partially reflects our hermeneutics (WELLNER 2020).

More in detail, we can split the technology element into two, distinguishing between the algorithm and the data. To describe this new perspective, WELLNER (2020) suggests a new permutation reversing the arrow to reveal the algorithms' technological intentionality and separate the technology element into *tech* (i.e., the algorithm) and *information*:

human → tech → information → world
Archaeologist → ArchAIDE Neural Network → automated recognition → pottery

In Wellner permutation, the tech element faces the human element and is followed by the information because the algorithm (tech) performs hermeneutics and directs the humans what to read. In contrast, the arrow between the information and the world represents the trace left in the world.

Finally, let us consider how a neural network is developed; this process is partly due to human choice and partly to technology intentionality. In the case of ArchAIDE, the neural network has been created by humans based on human-made catalogues, which define ceramic types based on morphological or stylistic characters determined by archaeologists and by the digital technology intentionality of the algorithm itself. In this case, we are in front of *composite intentionality*: the AI intentionality related to the algorithm and the human intentionality inherent to the creation of the algorithm and the establishment of the ceramic types. This process contains biases but also agency, understood in terms of the technology's mediating ability (VERBEEK 2005).

In ArchAIDE and more in AI, we can imply a composite agency, a human agency given by human intentionality in building the neural network, and a

technological agency given by digital technology intentionality. This represents an even more disruptive element because when we use AI, the algorithm performs hermeneutics, but it is hybrid intentionality, in which humans and technology merge through their agency, creating a symbiotic agency (DEMETIS, LEE 2018, 944). Programmers design deep learning algorithms by which these systems generate classification, but even for them, it is often difficult to understand how algorithms come to conclusions. Algorithms also depend on large amounts of data to build a robust model, which raises concerns about data quality and provenance. Moreover, the training data set constrains the construction of the algorithm itself and may also encode human misunderstanding and bias (O'NEIL 2016). When ArchAIDE gives its five answers, who is answering is a hybrid agent. The application allows archaeologists to choose if the algorithm suggests the right answer. Are we sure ArchAIDE app allows archaeologists to perform hermeneutics?

From an epistemological point of view, this reasoning leads us to the black-box question. AI appears ontologically distinct from other technologies. While a digital camera enables the proper exercise of archaeology, AI threatens it because AI has peculiar traits that make it seem unlike other technologies habitually used in archaeology. Archaeologists do not directly control AI the way they control a total station; neural networks, once programmed, are internally autonomous. Further, even if the triggering controls of AI may look similar, the outputs are different. This is what we have called a *performance*. AI is mining data in ways not wholly delineated or anticipated by its designers. In other words, a black box generates outcomes, but knowledge of how they arrive remains hidden. It is seen as a mysterious, inscrutable, powerful entity connected to a «data-driven algorithmic culture» (STRIPHAS 2015, 396). If archaeologists cannot trust and verify that the AI algorithm has made a correct identification, the result cannot be used in research.

ArchAIDE has worked in this direction, trying to transform the black box into a glass box capable of revealing what was hidden. Indeed, ArchAIDE made use of open source software and made the code accessible on the MAPPA Lab GitHub repository (<https://github.com/mappaLab/archaide-software>). However, understanding the code requires technical skills and algorithms «based on training data do not naturally accord with human semantic explanations» (BURRELL 2016). Other methods for accessing digital black boxes have been suggested, among others, by BARREDO ARRIETA *et al.* (2020), BUCHER (2016), CHRISTIN (2020), and HUGGETT (2017). All these solutions are challenging and far from straightforward. Not only because of the complexity and opacity of neural networks composed of complex layers of connected nodes but because of the two-sidedness of technological mediation, i.e. the epistemological *revealing* and *concealing* transformation of the world produced by technological mediation (IHDE 1990, 49). When analysed through postphenomenological

lenses, explainability, or its lack, appears like a feature of technological mediation and does not make black-box AI so risky for archaeology as to must be put aside. The lack of explainability is merely an aspect of the ontological revealing-concealing dimension, not a novel concern in its own right, and archaeologists may be more cognizant of their own by paying attention to this dimension of technological mediation. Nevertheless, AI algorithms may alienate archaeologists from their object of research and create further divisions between those who have the knowledge for implementing AI models and those who do not, creating disequality in the research. If the technology cannot be explained, archaeologists may also feel alienated from their role as knowledge-bearers. Here is not the mediating effect itself that is negative, but rather how archaeologists fail to attend to the mediating effects of technology that can produce poor research outcomes based on unintentional use of the technology.

When explainability threatens to alienate archaeologists from their ability of interpretation, there is an opportunity for them to become sceptical towards the use of AI. These are not concerns, per se, but rather effects of technological mediation that call our attention to some aspects of archaeological practice.

5. CONCLUSION

The archaeological record has been seen as intrinsically and radically digital in its nature, genesis, and epistemological structure because archaeology operates from the bottom up, building its interpretation starting from fragments rather than from the whole and breaking it down (BUCCELLATI 2017, 232-233). In other words, archaeology is intrinsically digital because it performs material hermeneutics, but turning the inside out, it performs material hermeneutics because it is digital. This means that archaeology is affected by the mediation's role of digital technologies. We collect data with digital instruments (e.g. using a GPS for geolocalisation or TLS for archaeological surveys), we manage data using software (and specific hardware) such as RDBMS or GIS, we analyse data with statistics packages such as R, or with GIS and through their mediation we perform hermeneutics and visual hermeneutics. Because we «live and move and have our being in the midst of our technologies», they mediate the world for us, often in uncritical ways (IHDE 1990, 1).

Digital technologies used in archaeology allow experiencing phenomena that otherwise would not be perceptible by the body but become experienced because they are technologically mediated. Furthermore, digital technologies have an intentionality that is not directed at representing a phenomenon; instead, it constructs reality. To sum up, archaeology is mediated by never neutral instruments, and our knowledge of material evidence depends on the technology used. In other words, archaeologists, together with digital technologies, create a reality of the possible pasts.

All these aspects may seem intuitive. They become counterintuitive when we use AI algorithms. Here a sense of disruptiveness appears. When technologies support information to talk, everything changes. We cannot understand how the algorithms work, and we feel as being in front of a black box, but rather because algorithms perform hermeneutics instead of humans. When the ArchAIDE algorithm recognises pottery, or when a Convolutional Neural Network recognises archaeological features from a digital ground model derived from an airborne LiDAR, algorithms perform cognitive processing. Their autonomous digital technological intentionality creates information, performs hermeneutics instead of us and finally directs archaeologists on what to read. For example, ArchAIDE offers five answers and leaves archaeologists a final control, but are we sure archaeologists can really understand how those answers were derived? Here, the critical question becomes whether the algorithmic mediation, digital hermeneutics and cognitive outputs are capable of explanation. At present, they are not or if they are, the explanations are either uninterpretable or greatly simplified. Even if transparency seems achieved by publishing the source code on GitHub, the high specialist skill level needed for their understanding produces a form of opacity given by technical illiteracy (HUGGET 2021). On the other hand, using human semantic explanations is equally problematic because it does not naturally accord with neural networks (BURRELL 2016, 10). All this delivers ethical questions related to the difficulties (or rather impossibilities) of verifying what cannot be fully understood.

Finally, when we infer knowledge based on algorithms, we should be aware that the intentionality of the algorithms mediates our reconstruction of the past. Again, it is a model, one of the possible pasts. In the AI age, the understanding of the past is non-anthropocentric. Digital technology is an agent on whom we depend on extracting meaning and, at the same time, partially reflects our hermeneutics because in training a neural network, we use our knowledge, and in some way, we transfer our agency to algorithms. The next challenges for AI in archaeology will include understanding how inscribing agency into the algorithms may lead to algorithmic bias (O'NEIL 2016), which reflects human bias. IHDE (1990) describes the phenomena of human-technology relations, considering the multiple ways humans can interact with the world through technologies and, more interestingly, how, through these relations, humans and technologies «become what they are» (GERTZ 2018, 45). The ontological, practical and ethical dimensions of technological mediation of *revealing-concealing*, *enabling-constraining*, and *involving-alienating* also shape human experience (KIRAN 2015). What composes the world for us is revealed through engagement with technologies, and whatever does not belong to this context is concealed. In digital technology, concealing leads to *double forgetfulness*. We forget to ask questions, and that «things, the world, could be revealed in different manners» (KIRAN 2015, 128).

In the practical enabling-constraining dimension, technologies enable us to do certain things. When we use a specific technology, from XRF to AI: it enables us to do things we otherwise could not do. Nonetheless, as in Hodder's Entanglement theory, this positive enabling also has a related constraining: technology shapes how we do things but diverts our attention from other possible ways of doing it. Finally, in the ethical involving-alienating dimension, «technologies constitute situations as ethical situations, with specific limitations on how the ethical issues are formulated (or formulate-able), and they constitute actors as ethical actors, with specific restraints on how we can behave and choose» (KIRAN 2015, 135). For example, the physical distance that occurs in online 3D models is alienating by excluding physical contact with the archaeological artefact. In contrast, algorithms for AI image recognition create the possibility for further alienation. However, this technology is not per se negative; rather, by being not neutral, it leaves it to us to determine how and to what extent we will receive and engage with digital technology, especially AI.

GABRIELE GATTIGLIA

Department of Civilisation and Forms of Knowledge
University of Pisa
gabriele.gattiglia@unipi.it

Acknowledgements

This contribution was conceived after the development of the EU Horizon 2020 ArchAIDE project (GA No. 693548). I thank all the team members, particularly Francesca Anichini, for her brilliant hint, and Roberto Gronda for his valuable suggestions.

REFERENCES

- ANICHINI F., DERSHOWITZ N., DUBBINI N., GATTIGLIA G., ITKIN B., WOLF L. 2021, *The automatic recognition of ceramics from only one photo: The ArchAIDE App*, «Journal of Archaeological Science: Report», 36, 102788 (<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102788>).
- ANICHINI F., GATTIGLIA G. 2018, *Big archaeological data. The ArchAIDE project approach*, in *Conferenza GARR_17 Selected papers* (<https://doi.org/10.26314/GARR-Conf17-proceedings-03>).
- BARREDO ARRIETA A., DÍAZ-RODRÍGUEZ N., DEL SER J., BENNETOT A., TABIK S., BARBADO A., GARCIA S., GIL-LOPEZ S., MOLINA D., BENJAMINS R., CHATILA R., HERRERA F. 2020, *Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI*, «Information Fusion», 58, 82-115 (<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>).
- BUCHER T. 2016, *Neither black nor box: Ways of knowing algorithms*, in S. KUBITSCHKO, A. KAUN (eds.), *Innovative Methods in Media and Communication Research*, Cambridge, Palgrave Macmillan, 81-98 (https://doi.org/10.1007/978-3-319-40700-5_5).
- BURRELL J. 2016, *How the machine 'thinks': Understanding opacity in Machine Learning algorithms*, «Big Data & Society», 3, 1, 1-12 (<https://doi.org/10.1177/2053951715622512>).
- CHAPMAN R., WYLIE A. 2015, *Material Evidence. Learning from Archaeological Practice*, New York, Routledge.

- CHRISTIN A. 2020, *The ethnographer and the algorithm: Beyond the black box*, «Theory and Society», 49, 897-918 (<https://doi.org/10.1007/s11186-020-09411-3>).
- DE BOER B., TE MOLDER H., VERBEEK P.-P. 2018, *The perspective of the instruments: Mediating collectivity*, «Foundations of Science», 23, 4, 739-755.
- DEMETIS D., LEE A. S. 2018, *When humans using the IT artifact becomes IT using the human artifact*, «Journal of the Association for Information Systems», 19, 10, 929-952 (<https://doi.org/10.17705/1jais.00514>).
- DEVEREUX B. J., AMABLE G. S., CROW P., CLIFF A. D. 2005, *The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies*, «Antiquity», 79, 305, 648-660.
- EVE S. 2012, *Augmenting phenomenology: Using augmented reality to aid archaeological phenomenology in the landscape*, «Journal of Archaeological Method and Theory», 19, 4, 582-600.
- EVE S. 2017, *The embodied GIS. Using Mixed Reality to explore multi-sensory archaeological landscapes*, «Internet Archaeology», 44 (<https://doi.org/10.11141/ia.44.3>).
- FRIEDRICH A.B., MASON J., MALONE J.R. 2022, *Rethinking explainability: Toward a post-phenomenology of black-box artificial intelligence in medicine*, «Ethics and Information Technology», 24, 8 (<https://doi.org/10.1007/s10676-022-09631-4>).
- GATTIGLIA G. 2015, *Think big about data: Archaeology and the Big Data challenge*, «Archäologische Informationen», 38, 113-124.
- GERTZ N. 2018, *Nihilism and Technology*, Lanham, Rowman & Littlefield.
- GILLINGS M., HACIGÜZELLER P., LOCK G.R. (eds.) 2020, *Archaeological Spatial Analysis: A Methodological Guide*, New York, Routledge.
- GUALANDI M.L., GATTIGLIA G., ANICHINI F. 2021, *An open system for collection and automatic recognition of pottery through neural network algorithms*, «Heritage», 4, 1, 140-159 (<https://doi.org/10.3390/heritage4010008>).
- HACIGÜZELLER P. 2012, *GIS, critique, representation and beyond*, «Journal of Social Archaeology», 12, 2, 245-263.
- HAYLES N. K. 2017, *Unthought: The Power of the Cognitive Nonconscious*, Chicago, University of Chicago Press.
- HE K., ZHANG X., REN S., SUN J. 2016, *Deep residual learning for image recognition*, in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770-778.
- HUGGETT J. 2017, *The apparatus of Digital Archaeology*, «Internet Archaeology», 44 (<https://doi.org/10.11141/ia.44.7>).
- HUGGETT J. 2021, *Algorithmic agency and autonomy in archaeological practice*, «Open Archaeology», 7, 1, 417-434 (<https://doi.org/10.1515/opar-2020-0136>).
- IHDE D. 1990, *Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth*, Indianapolis, Indiana University Press.
- IHDE D. 2005, *More material hermeneutics*, in *Yearbook 2005 of the Institute for Advanced Studies on Science. Technology and Society*, Profil, Technology and Society, 341-350.
- IHDE D. 2009, *Postphenomenology and Technoscience: the Peking University Lectures*, Albany, Suny Press.
- IHDE D. 2012, *Technics and Praxis: A Philosophy of Technology*, New York, Springer.
- KIRAN A.H. 2015, *Four dimensions of technological mediation*, in R. ROSENBERGER, P.-P. VERBEEK (eds.), *Postphenomenological Investigations: Essays on Human-Technology Relations*, Lanham, Lexington Books, 123-140.
- LATOUR B., WOOLGAR S. 1986, *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*, Princeton, Princeton University Press.
- LERCARI N. 2017, *3D visualization and reflexive archaeology: A virtual reconstruction of Çatalhöyük history houses*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 6, 10-17 (<http://doi.org/10.1016/j.daach.2017.03.001>).

- LIBERATI N. 2016, *Augmented Reality and ubiquitous computing: The hidden potentialities of Augmented Reality*, «AI & SOCIETY», 31, 1, 17-28 (<https://doi.org/10.1007/s00146-014-0543-x>).
- MANOVICH L. 2013, *Software Takes Command*, New York, Bloomsbury Academic.
- MERLEAU-PONTY M. 1962, *The Phenomenology of Perception*, New York, Humanities Press.
- MORGAN C. 2019, *Avatars, monsters, and machines: A cyborg archaeology*, «European Journal of Archaeology», 22, 3, 324-337 (<https://doi.org/10.1017/eea.2019.22>).
- MUSEO ARCHEOLOGICO DI NAPOLI 2021, *La tecnologia per il restauro del Mosaico di Alessandro* (Facebook post: <https://www.facebook.com/watch/?v=861676827956572>) Last accessed: 12 March 2021.
- O'NEIL C. 2016, *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*, London, Allen Lane.
- ROSENBERGER R., VERBEEK P-P. 2015, *A field guide to postphenomenology*, in R. ROSENBERGER, P-P. VERBEEK (eds.), *Postphenomenological Investigations: Essays on Human-Technology Relations*, Lanham, Lexington Books, 9-41.
- STRIPHAS T. 2015, *Algorithmic culture*, «European Journal of Cultural Studies», 18, 4-5, 395-412 (<https://doi.org/10.1177/1367549415577392>).
- ŠTULAR B., LOZIĆ E. 2020, *Comparison of filters for archaeology-specific ground extraction from airborne LiDAR point clouds*, «Remote Sensing», 12, 18, 3025 (<https://doi.org/10.3390/rs12183025>).
- THE ARTEFACT KIT 2017, *The Heritage Jam* (<https://heritagejam.hosted.york.ac.uk/>). Last accessed: 22 December 2021.
- VERBEEK P-P. 2005, *What Things Do: Philosophical Reflections on Technology, Agency, and Design*, University Park, Pennsylvania State University Press.
- VERBEEK P-P. 2008, *Cyborg intentionality: Rethinking the phenomenology of human-technology relations*, «Phenomenology and the Cognitive Sciences», 7, 3, 387-395 (<https://doi.org/10.1007/s11097-008-9099-x>).
- WELLNER G. 2018, *From cellphones to machine learning. A shift in the role of the user in algorithmic writing*, in A. ROMELE, E. TERRONE (eds.), *Towards a Philosophy of Digital Media*, Berlin-New York, Springer, 205-224.
- WELLNER G. 2020, *Material hermeneutic of digital technologies in the age of AI*, «AI & SOCIETY» (<https://doi.org/10.1007/s00146-020-00952-w>).
- WILTSE H. 2014, *Unpacking digital material mediation*, «Techné: Research in Philosophy and Technology», 18, 3, 154-182.

ABSTRACT

Digital technologies are not neutral tools; rather, they mediate our knowledge of material evidence. This contribution stems from the reflections on the sidelines of the ArchAIDE project, which developed AI tools to recognise ceramics and attempts to answer questions, among others, on how technological intervention takes place in archaeology, particularly through AI, and if such effects are disruptive concerning epistemology and hermeneutics. Postphenomenology and material hermeneutics have been considered to describe the relationship between archaeology and digital technology. In the AI age, Archaeology's challenge is to recognise technology as an actor (or maybe as an agent) on whom we depend on extracting meaning and, at the same time, as something that partially reflects our hermeneutic. The algorithms have digital technological intentionality that creates information, performs hermeneutics in our place, and finally directs archaeologists what to read. This act of knowledge is performed instead of ours. If, in Heidegger's ontological inversion, science becomes dependent on technology and, in a sense, a tool of technology, in the same way, archaeology has become dependent on technology and entrapped by it.

NOTE E RECENSIONI

Archeologia e Calcolatori
33.2, 2022, 335-340
doi 10.19282/ac.33.2.2022.18

ArcheoNum “L’archéologie dans les Humanités Numériques”

La conférence *ArcheoNum “L’archéologie dans les humanités numériques”* organisée le 27 janvier 2022 à Nanterre a proposé une présentation de la mise en œuvre de l’infographie dans les phases d’étude et de publication de sites et de monuments, à travers les travaux récents de deux collègues. Nous avons accueilli Alban-Brice Pimpaud – archéologue indépendant fondateur de la société Archeo3D¹, membre associé d’ArScAn féru de modélisation 3D et de web qui a participé aux systèmes d’information bâtis par plusieurs institutions dans plusieurs pays – et Thomas Sagory, archéologue, chef de projet numérique en France au Musée d’Archéologie nationale, domaine national de Saint-Germain-en-Laye et au Ministère de la Culture (Paris)². Les profils de ces deux archéologues avaient des points communs: collaborations avec des missions françaises travaillant en France et à l’étranger, acquisitions photo et 3D sur le terrain, expertise sur la diffusion numérique auprès des spécialistes et du grand public. La séance avait vocation à leur poser des questions autour la diffusion des résultats de la recherche en archéologie.

Au sein de notre unité ArScAn (CNRS, Universités Paris 1, Paris 8 et Paris-Nanterre, Ministère de la Culture), ArcheoNum constitue un projet collectif transversal et ses séminaires réunissent des historiens d’art, des spécialistes des textes, des archéologues d’horizons divers et des praticiens des outils et méthodes numériques, au rythme d’une manifestation ou deux par an, grâce à trois porteurs du programme: Anne-Violaine Szabados (*Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae*, équipe Espri-LIMC), Mathieu Linlaud (équipe Themam) et moi-même³. Cet axe de travail est partagé avec les services communs de la Maison des Sciences de l’homme de Nanterre, MSH Mondes⁴, qui héberge sept unités, deux bibliothèques, un pôle éditorial chargé de l’édition de trois collections d’ouvrages et de quinze revues imprimées, numériques ou hybrides et une plateforme ArchéoScopie offrant des compétences en microscopie optique et électronique, en analyse d’images, analyse élémentaire et modélisation 3D. Enfin, l’axe de la publication archéologique en environnement numérique continue à être développé au sein de notre équipe Archéologie du monde grec et systèmes d’information et s’inscrit dans la continuité des recherches sur l’ergonomie et la mise en œuvre des bases de données menées par R. Ginouvès et A.-M. Guimier-Sorbets, depuis

¹ <http://www.archeo3d.net/> (toutes les adresses web ont été vérifiées le 27 juin 2022).

² <https://musee-archeologienationale.fr/>; <https://archeologie.culture.gouv.fr/>.

³ <https://archeonum.hypotheses.org/>.

⁴ <https://www.mshmondes.cnrs.fr/>.

1968, pour l'archéologie classique⁵. À ces trois échelles, unité, maison de recherche, équipe, nous sommes attentifs à l'articulation de la documentation avec les publications archéologiques, grâce à son analyse dans des systèmes descriptifs et hypertextes.

A.-B. Pimpaud et T. Sagory s'étant succédés au sein du même service du ministère de la Culture, ils ont rappelé l'ancienneté des pratiques de diffusion sur le web. À la fin des années 1990, en archéologie, les sites web qui proposaient des contenus à l'usage du grand public étaient nombreux, et a contrario peu de contenus à l'usage des spécialistes étaient disponibles. En 1995, le Ministère de la Culture lança un appel d'offres pour l'étude de la Grotte Chauvet et dans le même temps communiqua sur son site web les images de quelques panneaux peints. La mission de la recherche et de la technologie du ministère, sous la responsabilité de Jean-Pierre Dalbéra, inaugura en 1996 une collection de publications électroniques *Grands sites archéologiques* pour une diffusion élargie. Cet exemple pionnier montra la rapidité de diffusion, le rôle des images, la consultation pour une assez longue durée comme des avantages du web sur les supports traditionnels. De ces sites web, la *Wayback Machine* a aujourd'hui conservé, dans sa mémoire constituée des captures de pages web, celles de janvier 1997 pour la Grotte Chauvet et de 2000 pour l'accueil de la collection. Ainsi, les travaux anciens accordaient déjà une place importante à la communication d'images et de rendus interactifs, pour des œuvres phares; les progrès actuels tiennent à la richesse de la documentation rassemblée et aux possibilités de visualisation interactive.

La présentation d'A.-B. Pimpaud, intitulée *Des aquarelles aux modèles 3D: vers l'exploration interactive de sites et de la documentation graphique associée* a ciblé l'aspect de la modélisation 3D des vestiges *in situ*, complétée d'images d'archives additionnelles, parmi un catalogue de réalisations plus vaste. Sa première réalisation s'insère dans le programme d'étude de la Villa de Diomède à Pompéi, dirigé depuis 2012 par Hélène Dessales du laboratoire AOROC de l'École normale supérieure (DESSALES *et al.* 2020)⁶ et son intervention a porté sur des outils de couplage de la restitution numérique avec la documentation réunie et analysée par l'ensemble des partenaires du programme. Ce *corpus* considérable de 550 documents graphiques et photographiques élaborés à la suite de la fouille précoce de la villa, entre 1771 et 1775, par Francesco La Vega, officier du génie et auteur d'un relevé d'une grande précision, a été pris en compte en vue de compléter l'analyse du programme décoratif dans ses différentes phases, de l'ensemble des phases de réfection et de restaurations antiques et modernes. L'analyse de ce corpus à partir de la base de données Pompéi - Villa de Diomède dirigée par H. Dessales et confiée à Agnès Tricoche (AOROC) a constitué une étape préliminaire⁷ à la phase d'enrichissement du modèle 3D (campagnes 2012, 2013 et 2015); l'aboutissement est venu de l'idée de projeter spatialement les vues en coupe, les copies des peintures, les vues d'artiste préalablement numérisées.

La mission d'A.-B. Pimpaud a consisté à définir et créer un assemblage spatial par des séries de points de calage assurant la cohérence des projections dans le

⁵ <http://archaeologicalcomputing.cnr.it/itineraries/institutions/le-centre-taac-et-linformatique-en-archeologie-classique/>.

⁶ <http://villadiomede.huma-num.fr/3dproject/>.

⁷ <http://villadiomede.huma-num.fr/bdd/>.

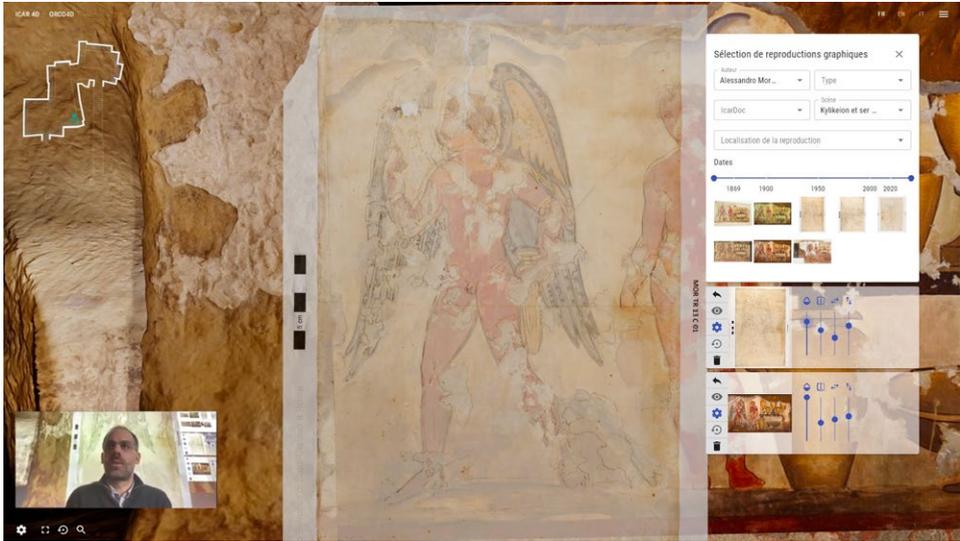


Fig. 1 – Extrait du site Orco 4D, visite interactive de la *Tomba dell’Orco*: écran montrant un calque ancien repositionné sur le modèle 3D, par l’utilisateur, à la suite d’une requête sur la scène du *kylikeion* et de traitements (<http://icar.huma-num.fr/4D/Orco4D>).

maillage et dans les textures du modèle. Il a opéré ce calage sous les logiciels Blender, QGIS et avec une programmation en Python et a présenté l’exemple des polygones ajoutés pour les colonnes du grand jardin péristyle ornemental et le positionnement des aquarelles sur les parois et les voûtes des salles de l’espace thermal. Vous êtes invités à la visite de la villa à travers l’application 3D du programme⁸. Depuis une vue aérienne, où vous pouvez appeler un espace, vous verrez l’état restitué de cet espace et vous pourrez revenir à la vision de l’état originel par l’outil “superposition”; enfin, un diaporama complémentaire est accessible pour compléter votre visite.

En second lieu, il a été chargé par Natacha Lubtchansky, professeure à l’Université de Tours qui consacre ses recherches à la fois à l’archéologie funéraire étrusque et à la fortune de l’antiquité étrusque auprès des savants, collectionneurs, artistes et architectes (XVII^e-XX^e siècle), de compléter l’infographie des modèles 3D de la tombe dell’Orco et de la tombe des Biges de la nécropole antique de Tarquinia (Fig. 1). Elle étudie cette documentation graphique moderne à travers un ensemble graphique plus vaste, réuni par plus d’une dizaine d’institutions culturelles propriétaires des fonds, dans le cadre du programme “Fac-similé” de l’École française de Rome, organisé par N. Lubtchansky, Susanna Sarti et Lucrezia Cuniglio; ce programme a mis à disposition de la communauté un portail web commun grâce à une politique d’interopérabilité des données (CUNIGLIO, LUBTCHANSKY, SARTI 2019)⁹. Le travail s’appuie aussi sur

⁸ <http://villadiomede.huma-num.fr/3D/app.html>.

⁹ Le blog: <https://facsimile.hypotheses.org/>.

les analyses rassemblées par le groupe de travail de la base de données ICAR, ICOnographie et ARchéologie pour l'Italie préromaine, coordonné par N. Lubtchansky et Annick Fenet (AOROC: FENET, LUBTCHANSKY 2020). Le développement 3D s'est d'abord fondé sur les techniques d'acquisition par lasergrammétrie (avec le concours de J.-P. Corbellini, MSH Val de Loire) et par photogrammétrie des vestiges (Archeo3D) appliquées aux deux tombes. Puis A.-B. Pimpaud a travaillé sur la modélisation, qu'il définit comme «modélisation 4D», la 4^e dimension étant une notion temporelle s'ajoutant à la lecture spatiale en trois dimensions. Il a conçu un outil d'accès permettant d'appeler les reproductions graphiques et de les recontextualiser aisément sur les parois du monument lui-même.

La présentation de janvier 2022 ne comportait que des copies d'écran de cette application, mais la mise en ligne d'Icar 4D s'est ouverte depuis¹⁰. On donne un exemple de l'interactivité offerte tout à fait originale:

- choisir une tombe, la tombe dell'Orco à gauche;
- chercher des reproductions d'une scène, "symposion avec Charun" à droite;
- sélectionner une reproduction précise, comme la dernière vignette du fac-similé d'A. Morani de 1900, Ny Carlsberg Glyptotek de Copenhague;
- projeter celle-ci avec l'icône de flèche;
- régler l'affichage à l'aide des icônes: l'œil pour l'affichage, l'écrou pour cinq nouveaux outils, la flèche retour pour réinitialiser l'écran, la poubelle pour supprimer l'incrustation.

Parallèlement, la base ICAR livre les données sur cette scène: «un démon ailé (...) barbu, à peau bleue, chevelure de serpents et un gros serpent dépassant de son dos, tenant un maillet (...), désigné par une inscription comme Charu(n)»¹¹.

Dans la seconde intervention, Thomas Sagory, responsable du développement numérique au Musée d'Archéologie nationale, domaine national de Saint-Germain-en-Laye, a abordé «la production d'infographie 3D au sein de la collection Grands sites archéologiques». Cette collection¹² (SAGORY 2019) est liée à un vivier de missions archéologiques, sélectionnées grâce au pilotage de la sous-direction de l'archéologie (Paris), en lien étroit avec le conseil national de la recherche archéologique, et à celui du Département des Affaires européennes et internationales, en lien avec le ministère de l'Europe et des affaires étrangères, la commission des fouilles et les équipes de recherche. L'animation du site web a été confiée à ce seul agent permanent. Le profil de T. Sagory est marqué par la double compétence: archéologue, photo cervoliste, diplômé de l'École Pratique des Hautes Études en archéologie égyptienne et de l'École de l'Image-Gobelins (Paris) comme chef de projet numérique et UX design. Il assure la responsabilité de cette collection depuis 2005 et le développement de la politique numérique du Musée d'Archéologie nationale de Saint-Germain-en-Laye, depuis 2015. Son travail d'édition multimédia est indissociable de ses travaux d'acquisition sur le terrain. Ainsi, dans l'équipe de recherche de la Grotte Chauvet (Fig. 2), il assure la coordination des

¹⁰ <http://icar.huma-num.fr/> (en français, italien, anglais). Veillez à configurer votre navigateur pour ouvrir tous les paramètres de sécurité.

¹¹ Extrait de la base ICAR: <http://icar.huma-num.fr/4D/>.

¹² <https://archeologie.culture.gouv.fr/>. Réseaux sociaux: @GSArcheo @ArcheoNationale.



Fig. 2 – Extrait du site Grotte Chauvet-Pont d'Arc dans la collection du Ministère de la Culture Grands Sites Archéologiques: panneau des Chevaux dans la salle Hillaire - Nord (<https://archeologie.culture.gouv.fr/chauvet/fr/visiter-grotte?pano=5809>).

acquisitions photo et 3D dans la grotte, gère l'indexation des documents pour dépôt auprès du Centre national de Préhistoire et assure la mise à jour du site internet consacré à la grotte: archeologie.culture.gouv.fr/chauvet. Il contribue également à différents projets de recherche en France et à l'étranger: Wakarida (Éthiopie), carrière d'albâtre d'Hatnoub en Égypte¹³, palmeraie de Masafi aux Émirats Arabes Unis...

De retour de ses missions, il anime la collection structurée autour de quatre séries thématiques: *Archéologie en France*, *Archéomonde* (travaux des équipes françaises à l'étranger), *Patrimoine du Proche-Orient* (SAGORY 2020a, 2020b) et *Patrimoine de l'Afghanistan*. Vous trouverez les tables de matières interactives de chaque série, sous la forme de cartes et de chronologies interactives pour repérer les contenus mis à disposition. L'illustration y tient une place essentielle pour assurer des consultations ouvertes à tous, en plaçant images d'archives et images de haute résolution, visites et modélisations 3D au milieu de textes réduits pour une lecture à l'écran. On peut donner deux exemples de parcours qui illustrent cette variété de documents, d'abord le média Étiolles, campements paléolithiques, qui invite à découvrir les vestiges de campements parfaitement fossilisés dans les dépôts d'inondation de la Seine afin de retrouver les indices des modes de vie des chasseurs-cueilleurs nomades; les ressources de la visite virtuelle 3D et de la numérisation 3D d'un nucléus partiellement remonté sont caractéristiques de l'intégration de médias interactifs dans ces publications augmentées.

¹³ Exposition *Expéditions en Égypte. Des carrières d'Hatnoub aux grandes pyramides*, Musée et sites gallo-romains de Saint-Romain-en-Gal (17 juin-6 novembre 2022, France), <https://musee-site.rhone.fr/expositions-temporaires-2/>.

Ensuite, le média *Nimrud, une capitale d'Assyrie* présente une restitution 3D de l'Ezida de Nimrud, "temple de vérité", dédié au dieu des scribes, Nabu, ainsi que la numérisation 3D de la statue dédiée au dieu; voir aussi, dans ce média, la page consacrée à Agatha Christie, photographe à Nimrud. Dans les deux cas, les contenus sont mis au point grâce au soutien de partenaires scientifiques et culturels nombreux. Bien d'autres sujets méritent la visite et s'ouvrent à un public international, grâce aux textes souvent en anglais, ou en arabe, parfois en espagnol, avec des versions en langue des signes.

L'insertion dans cette collection d'un module de spatialisation d'archives, appelé "mémoires numériques", qui permet de positionner des documents d'archives sur un modèle 3D sous forme de nuage de points a été testé par T. Sagory et la société Iconem pour la visite virtuelle du Crac des Chevaliers. Cette démonstration a été probante et a fait écho au concept de modélisation 4D examiné par A.-B. Pimpaud.

Ainsi, la conférence a-t-elle permis d'insister sur la technicité des deux intervenants qui l'ont développée en associant une formation initiale en archéologie, une formation complémentaire en ingénierie multimédia et une formation continue sur les médias interactifs. Dans cette dernière partie, ils ont su intégrer l'utilisation des infrastructures web et 3D offertes par les institutions de recherche (Huma-num au CNRS) ou par les institutions culturelles (Mandala/Drupal au Ministère de la Culture). Leur métier a vivement intéressé des étudiants du master Archéologie et Sciences de l'archéologie et du parcours archéologie de la licence de l'Université de Nanterre. De ce point de vue, ce type de journées participe de notre vocation à préparer les jeunes à des métiers qui s'inscrivent dans l'avenir.

VIRGINIE FROMAGEOT-LANIEPCE

UMR Archéologies et Sciences de l'Antiquité (ArScAn)
CNRS, Université Paris 1, Université Paris Nanterre, Université Paris 8,
Ministère de la Culture
virginie.fromageot@cnrs.fr

BIBLIOGRAPHIE

- CUNIGLIO L., LUBTCHANSKY N., SARTI S. (eds.) 2019, *Fac-simile 1. Le collezioni di documentazione grafica sulla pittura etrusca. Consistenza dei fondi, contesti di produzione e impiego (Rome 2017)*, «Mélanges de l'École française de Rome. Antiquité», 131.2, 261-429 (<https://doi.org/10.4000/mefra.7905>).
- DESSALES H. (ed.) 2020, *The Villa of Diomedes, The Making of a Roman Villa in Pompeii*, Paris, Centre Jean Bérard, Éditions Hermann.
- FENET A., LUBTCHANSKY N., 2020, *ICAR (Iconographie-Archéologie pour l'Italie préromaine)*, «Mélanges de l'École française de Rome. Antiquité», 132.1, 51-58 (<https://doi.org/10.4000/mefra.9882>).
- SAGORY T. 2019, *Grands sites archéologiques: une collection numérique destinée à un large public*, «Culture et Recherche», 139 (https://www.culture.gouv.fr/content/download/219270/file/Culture-et-Recherche-139_web.pdf?inLanguage=fre-FR).
- SAGORY T. 2020a, *La série Patrimoine du Proche-Orient. La genèse 1/2*, «ArchéOrient, le blog» (<http://archeorient.hypotheses.org/15093>).
- SAGORY T. 2020b, *Patrimoine du Proche-Orient. Une série de la collection Grands Sites Archéologiques en constante évolution 2/2*, «ArchéOrient, le blog» (<http://archeorient.hypotheses.org/15120>).

Archeologia e Calcolatori
 33.2, 2022, 341-345
 doi 10.19282/ac.33.2.2022.19

Facebook e Twitter per «Archeologia e Calcolatori»

L'uso dei social nel settore dei beni culturali si è rivelato negli anni recenti sempre più un efficace veicolo di diffusione di dati e informazioni a livelli diversificati. Come è stato evidenziato nel dibattito scientifico e mediatico che si è svolto nel secondo decennio del nuovo millennio¹ e come ha recentemente rilevato Giuliano Volpe, in riferimento specifico al settore archeologico, l'esplosione dei nuovi media digitali ha portato a riflettere su come queste potenti forme di comunicazione possano favorire il rapporto tra archeologia e società, sviluppando la conoscenza e favorendo l'interazione tra pubblico e bene antico (VOLPE 2020, 71). Dal momento che i dati trasmessi dai social vengono comunicati in modo amplificato, è infatti importante che i contenuti presenti siano solidi, anche se veicolati in maniera più leggera e accattivante, così da garantire la validità di una informazione, che deve anche stimolare la partecipazione attiva dei destinatari del messaggio (RICHARDSON 2019, riguardo l'uso dei dati derivati dai social media).

Nel nostro settore, l'impiego di questi nuovi strumenti comunicativi è certamente legato in modo prioritario alle istituzioni museali, quale veicolo di trasmissione di campagne di divulgazione istituzionale, di promozione di mostre ed eventi, di comunicazione di informazioni di base, finalizzate a valorizzare il rapporto con il pubblico, attraendo visitatori e accrescendo l'interesse e la curiosità nella visita. Ma non solo. Come dimostra il recente workshop *Digging Archaeology through Social Media* (Fig. 1), organizzato nell'aprile 2022 dall'olandese ARCHON National Research School of Archaeology (<https://www.archonline.nl/wp-content/uploads/2022/01/Digging-Archaeology-through-Social-Media-Program.pdf>), sono infatti molti i casi in cui i social vengono impiegati come mezzo di diffusione di attività di studio e ricerca, nella prospettiva di condividere informazioni scientifiche riguardanti il patrimonio antico. È questo ad esempio il caso degli scavi archeologici, che affidano alle piattaforme più utilizzate, *in primis* Facebook, le notizie riguardanti l'andamento delle ricerche e delle scoperte, associando i testi scritti a disegni, fotografie e video per una esperienza conoscitiva che dalla comunità degli archeologi si allarga a tutto il pubblico interessato.

Tra i social media più frequentati nell'ambito antichistico, c'è proprio Facebook che è anche il più grande sito di social networking del mondo. In Italia è utilizzato da oltre un decennio da musei e siti archeologici e «i Gruppi e le Pagine dedicate alla divulgazione archeologica sono centinaia di migliaia a livello globale e raccolgono attorno a sé community di archeologi e appassionati: aggiornano sulle ultime scoperte, sono punti di aggregazione e diffusione di immagini e “meme”, luoghi di scambio di opinioni e pareri scientifici, megafono per cause e petizioni» (D'EREDITÀ *et al.* 2016, 335). Anche Twitter sembra godere di un certo successo, però come strumento

¹ L'attenzione per le tematiche in oggetto è testimoniata in quegli anni, ad esempio, dalla mostra internazionale *Archaeology & Me* (GUERMANDI 2016) o dai contributi editi nel n. 46, 2017 di «Internet Archaeology», dedicato a *Digital Co-Production in Archaeology* (<https://intarch.ac.uk/journal/issue46/index.html>).



Fig. 1 – Locandina del workshop *Digging Archaeology through Social Media*, 2022 (<https://www.archonline.nl/wp-content/uploads/2022/01/Digging-Archaeology-through-Social-Media-Program.pdf>).

veicolante un'informazione diversa, più rapida e capace di esprimere l'essenzialità del dato da comunicare. Dal momento che ogni tweet può contenere infatti al massimo 280 caratteri, è evidente che esso necessita di sintesi e di un linguaggio diretto ed efficace. «Archeologia e Calcolatori» ha ospitato in passato articoli rivolti alla descrizione dell'uso dei social media in archeologia, soprattutto in relazione ai musei, nella prospettiva di incentivare la conoscenza dei nuovi strumenti utilizzati dall'archeologia di oggi per una comunicazione culturale aperta e partecipata (D'EREDITÀ *et al.* 2016; LO BLUNDO, MARRAS 2016; CALDAROLA *et al.* 2019).

In questa ottica e nell'ambito delle riflessioni maturate in seno al gruppo di lavoro sull'Open Science attivo nell'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) del CNR e mirate all'esplorazione delle forme più aggiornate di condivisione di dati e informazioni, nella primavera del 2022 la pagina Facebook di «Archeologia e Calcolatori», già curata dalle Edizioni All'Insegna del Giglio, è stata presa in carico e rinnovata dalla redazione della rivista, andandosi così ad aggiungere al profilo Twitter, già presente dal 2015 (<https://www.facebook.com/archeologiaecalcolatori>; <https://twitter.com/ISPCAEC>). In ambito ISPC l'uso dei social media quale strumento di trasmissione di notizie relative alle numerose attività svolte dall'Istituto nei vari settori dei beni culturali di cui è competente è supportato dalla presenza di un social board istituzionale, che oltre a divulgare le news attraverso i canali Facebook, Instagram e YouTube, fornisce assistenza e informazioni di base per le iniziative dei ricercatori: così è stato anche per la nostra rivista.

Per quanto riguarda Facebook, si è deciso di articolare e diversificare i post pubblicati con cadenza pressoché settimanale, dividendoli nelle seguenti quattro



Fig. 2 – La pagina Facebook di «Archeologia e Calcolatori» (<https://www.facebook.com/archeologiaecalcolatori/>).

sezioni principali: #news, #focus, #dicono gli autori, #nella rete, di cui rispettivamente sono responsabili e autori Alessandra Piergrossi, Francesca Buscemi, Paola Moscati e Alessandra Caravale. Attraverso queste varie forme di messaggi, sempre accompagnati da una serie di immagini ad illustrare l'argomento trattato, si vuole far innanzitutto partecipare gli utenti alla vita e alle iniziative legate alla rivista, soprattutto nel campo della promozione delle pubblicazioni elettroniche, dell'open access e della scienza aperta. Se la rubrica #news è orientata a segnalare con brevi post attività, workshop, webinar, conferenze, etc. che coinvolgono direttamente «Archeologia e Calcolatori», ma anche più in generale l'editoria open e la promozione della scienza aperta specie nel settore antichistico, quella del #focus prevede testi più articolati e lunghi mirati ad approfondire tematiche più specifiche sempre negli ambiti di interesse della rivista. In questa sezione sono stati pubblicati, ad esempio, approfondimenti sull'archeomusicologia, o archeologia musicale, un ambito dell'archeologia che ha conosciuto un notevole sviluppo negli ultimi dieci anni, oggetto anche di una sezione speciale ospitata nel numero 32.1, 2021 curata da A. Bellia.

Alla sezione #dicono gli autori è invece affidato il pensiero espresso da alcuni autori di riferimento di «Archeologia e Calcolatori» nel corso della sua ultratrentennale attività, in relazione a tematiche chiave dell'informatica archeologica sia in una prospettiva storica, sia nella sua visione più attuale. #nella rete offre, infine, approfondimenti su argomenti inerenti il web nei suoi molteplici aspetti legati all'editoria, ma anche in generale all'open science nelle diverse declinazioni rilevabili nel nostro settore disciplinare.

Per quanto riguarda Twitter, il profilo della rivista è stato usato inizialmente per dare notizie soprattutto legate all'attività di «Archeologia e Calcolatori»: uscita di volumi, segnalazione di articoli di particolare rilievo, partecipazione dei membri della redazione ad incontri di studio o ad altre iniziative. Con l'apertura della pagina Facebook si è pensato di rinnovare anche il profilo Twitter, sia nella sua veste grafica, sia nell'articolazione dei tweet, che, oltre alla linea seguita in precedenza, ora si attengono, anche se con stile e spazi diversi, ai post pubblicati su Facebook, con conseguenti arricchimento e movimentazione dell'attività.

Osservando le riviste elettroniche di archeologia presenti in DOAJ, la Directory of Open Access Journal (<https://doaj.org/>), con particolare riferimento ai paesi europei, si nota come diverse riviste siano oggi attente all'aspetto "social". È presente su Facebook, ad esempio, «Internet Archaeology» (<https://intarch.ac.uk/>), che pubblica con frequenza, orientandosi soprattutto a dare notizie circa le sue attività editoriali, con la promozione di articoli o di numeri tematici. Su Facebook si condividono anche dati sugli accessi al sito del journal, mentre con l'hashtag #From the Archives si segnalano articoli editi dalla rivista negli anni passati e dedicati a soggetti diversi nell'ambito degli studi archeologici. Il «Journal of Computer Applications in Archaeology» (<https://journal.caa-international.org/>) è una rivista che dal 2018 pubblica online su tematiche relative all'applicazione e allo sviluppo delle tecnologie digitali in archeologia ed è legata alle CAA Conferences, che da cinquant'anni costituiscono una occasione di incontro e dibattito per i vari aspetti dell'informatica archeologica. Il journal è attivo su Twitter con post che segnalano articoli di recente pubblicazione, ma anche più in generale attività legate alle Conferences, iniziative in ambito "open" e addirittura opportunità lavorative in università europee.

Tra le riviste italiane indicizzate in DOAJ, «Cartagine. Studi e Ricerche» (<https://ojs.unica.it/index.php/caster>) usa Facebook per pubblicare notizie relative all'archeologia del Nordafrica nei suoi vari aspetti di ricerche sul campo, momenti di incontro, studi specifici, mentre «Archeomatica» (<https://www.archeomatica.it/>), attraverso entrambi i social media sopraindicati, informa su progetti di digitalizzazione e ricostruzione virtuale ad alto impatto visuale. Sulla stessa linea la spagnola «Virtual Archaeology Review» (<http://polipapers.upv.es/index.php/var/index>), che tramite i tweet diffonde accattivanti immagini ricostruttive relative al patrimonio culturale spagnolo e non.

Un esperimento di una nuova forma di editoria elettronica è infine quello portato avanti da PCI Archaeology, legata all'ambiente francese e al progetto Peer Community In. Lanciata nel marzo 2020, l'iniziativa si basa su un gruppo internazionale di «recommenders, playing the role of associate editors, who recommend unpublished articles based on peer reviews to make them complete, reliable and citable articles, without the need for publication in 'traditional' journals» (<https://archaeo.peercommunityin.org/about/about>). Gli articoli valutati sono preprints inerenti l'archeologia su scala mondiale. Il profilo Twitter di PCI Archaeology promuove con entusiasmo le attività legate ai preprints, incoraggiando la scelta della piattaforma come nuova strada editoriale da percorrere per il 2022: "Try us, this is the way to go in 2022!"

ALESSANDRA CARAVALE

Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
alessandra.caravale@cnr.it

BIBLIOGRAFIA

- CALDAROLA G., D'EREDITÀ A., FALCONE A., LO BLUNDO M., MANCINI M. 2019, *Communicating archaeology in a social world: Social media, blogs, websites, and best practices*, in E. PROIETTI (ed.), *Developing Effective Communication Skills in Archaeology*, IGI Global, 259-284 (<https://www.igi-global.com/gateway/book/230953>).
- D'EREDITÀ A., FALCONE A., PATE D., ROMI P. 2016, *Strategie di divulgazione dell'archeologia online: metodologie, strumenti e obiettivi. Dalla redazione del piano editoriale alla misurazione dei risultati*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 331-352 (<https://doi.org/10.19282/AC.27.2016.17>).
- FALCONE A., D'EREDITÀ A. (eds.) 2018, *Archeosocial. L'archeologia riscrive il web: esperienze, strategie e buone pratiche*, Mozzecane (VR), Dielle Editore.
- GUERMANDI M.P. (ed.) 2016, *Archeology & me. Pensare l'archeologia nell'Europa contemporanea. Looking at Archaeology in Contemporary Europe*, Catalogo della mostra, Bologna, IBC.
- LO BLUNDO M., MARRAS A.M. 2016, *Archeologia in 140 caratteri: l'esperienza su Twitter di due musei archeologici nazionali*, in P. BASSO, A. CARVALE, 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», 8, 217-222.
- PALLECCHI S. 2017, *Raccontare l'archeologia. Strategie e tecniche per la comunicazione dei risultati delle ricerche archeologiche*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- RICHARDSON L.-J. 2019, *Using social media as a source for understanding public perceptions of archaeology: Research challenges and methodological pitfalls*, «Journal of Computer Applications in Archaeology», 2.1, 151-162 (<http://doi.org/10.5334/jcaa.39>).
- VOLPE G. 2020, *Archeologia pubblica. Metodi, tecniche, esperienze*, Roma, Carocci.

Archeologia e Calcolatori
33.2, 2022, 345-348
doi 10.19282/ac.33.2.2022.20

G. SCARDOZZI, *Il territorio di Hierapolis di Frigia. Guida archeologica*, Istanbul, Ege Yayınları 2020.

Il volume edito da Giuseppe Scardozi (con contributi di L. Castrianni, G. Di Giacomo, I. Ditaranto, I. Miccioli) è stato pubblicato ad Istanbul da Ege Yayınları, in tre edizioni: italiano, turco e inglese. Esso consiste in 314 pagine, con 245 illustrazioni (quasi tutte a colori) di buona qualità e chiaramente leggibili. Il libro è articolato in alcuni capitoli introduttivi, in quattro sezioni pertinenti ad aree territoriali distinte e quindi in un glossario e abbreviazioni bibliografiche. La prima parte illustra in modo sintetico ma puntuale il contesto geomorfologico, la storia degli studi e delle ricerche, gli aspetti generali del territorio di Hierapolis ed una sintesi storica. Le sezioni che seguono prendono in esame il quadro storico-archeologico precedente alla fondazione di Hierapolis, la *chora* della città, l'altopiano di Uzunpinar e l'altopiano di Çal.

Ad una prima vista, la sede editoriale potrebbe trarre in inganno, facendo supporre che si tratti di un lavoro di natura divulgativa, ma in realtà la serie generale e la collana "Hierapolis. Guide archeologiche" costituiscono da tempo un riferimento molto importante per gli studiosi dell'Asia Minore, con edizioni curate ed estremamente aggiornate. Nel caso specifico, il volume di G. Scardozi illustra i risultati di quindici anni di ricerche (2005-2020), condotte in modo multidisciplinare e

con grande rigore metodologico, utilizzando con ampia padronanza tutti gli strumenti degli studi di topografia antica. Alla disamina delle fonti storiche (epigrafiche e letterarie) è stata affiancata una serie di ricognizioni di superficie che ha avuto come esito la scoperta di una notevole quantità di nuovi materiali e di siti archeologici non noti precedentemente, debitamente posizionati mediante GPS. Particolarmente rilevante è l'uso ottimale e proficuo delle immagini aeree, costituite in questo caso non dalle fotografie (il cui impiego è usualmente più consueto nelle ricerche archeologiche, ma che non sono disponibili per le aree in esame), ma da immagini satellitari ad alta risoluzione acquisite da varie piattaforme, unitamente a fotografie cosmiche realizzate nella seconda metà del Novecento. Tale materiale è stato sapientemente utilizzato sia per l'individuazione di tracce e anomalie, come anche per ottenere stralci cartografici, venendo in tal modo a integrare la cartografia ufficiale della regione, sovente non aggiornata o su scala a medio denominatore.

Non secondaria e anzi di primaria importanza è l'attenzione data agli aspetti geologici e naturali nello studio di un territorio esteso, articolato in due macro-aree molto diverse tra loro. La prima è costituita dalla parte settentrionale della valle dell'antico Lykos (affluente del Meandro), la seconda dagli altopiani dominanti il versante NE. Se la valle del Lykos è una pianura derivata da ampi depositi alluvionali che hanno avuto come esito un territorio estremamente fertile, gli altopiani circostanti presentano un quadro particolarmente composito, con formazioni di diverso tipo e natura, connotato dalla presenza di numerose faglie e di sorgenti idrotermali.

Questa situazione alquanto complessa è contrassegnata da rapidi cambiamenti geomorfologici che hanno condizionato nei secoli – come chiaramente evidenziato – tipologie e modi insediativi, con continui adeguamenti legati a tali trasformazioni. In questo quadro si inserisce una peculiarità di assoluto rilievo, vale a dire l'abbondanza di materiali lapidei di tipo e composizione diversi che vanno dal travertino a vari tipi di alabastro, dalle brecce policrome a scisti e marmi di diversa qualità e altri ancora. Se, da un lato, questa straordinaria conformazione ha comportato, in determinate circostanze, condizionamenti o impossibilità nella ricerca archeologica (a causa del concrezionamento e della rapida formazione di travertini), dall'altro essa fu senza dubbio una grande risorsa in antico per l'area, ampiamente sfruttata con l'estrazione e la lavorazione dei vari materiali.

Negli ultimi anni le problematiche connesse con il "marmo frigio" e, più estesamente, con i diversi tipi lapidei del territorio di Hierapolis sono state oggetto di parecchi e cospicui contributi da parte di G. Scardozi, corresponsabile del progetto "Marmora Phrygiae", da cui sono giunti importanti risultati su tutto il distretto estrattivo presente nel territorio ierapolitano, interessando sia i materiali più pregiati esportati sino a Roma sia quelli di uso più prettamente locale. Parte di questi aspetti sono trattati in modo consono alla Guida Archeologica in più punti, dal momento che cave antiche sono state individuate e documentate in tutta la regione, a conferma della capillarità dello sfruttamento del materiale litico della stessa. Grazie a queste ricerche sistematiche, si è giunti a determinare l'ubicazione e l'estensione di molti bacini estrattivi, le modalità di lavorazione e anche altri aspetti, come ad esempio le rare testimonianze di rilievi con divinità tutelari delle attività in cava. Collegato a questa tematica è un problema nuovo per la regione, debitamente segnalato da G. Scardozi: quello del rischio che corrono le cave antiche di fronte alla ripresa di

nuove attività estrattive, che minacciano (se non distruggono irreversibilmente, come è accaduto per i siti di Karakaya e di Yarikkaya) i fronti di lavorazione antichi.

Altre evidenze di notevole importanza sono costituite dagli acquedotti di Hierapolis: ben tre, necessari ad approvvigionare l'area urbana, le cui copiose sorgenti termali non fornivano acqua potabile. Mediante le ricognizioni, sono stati riconosciuti non solo i percorsi di tali infrastrutture (in uso tra l'epoca ellenistica e quella bizantina), ma anche la loro complessità realizzativa che prevedeva tubature di terracotta, messe in opera con modalità differenti. Assimilabile in qualche modo agli acquedotti è un'altra singolare antica evidenza di gestione del territorio, peculiare dell'area in esame: la presenza di una rete di canali tagliati nel banco di travertino. Questi (di fatto caratteristici dell'area in esame e realizzati sin dall'età ellenistica fino al periodo medio-bizantino) sono stati puntualmente mappati e interpretati (con tutta probabilità a ragione) come funzionali all'irrigazione e, al tempo stesso, come limiti agrari, consentendo peraltro il deflusso di acque in eccedenza.

Naturalmente, in uno studio territoriale adeguata esposizione è stata data alla viabilità nel suo insieme, strutturata con una rete viaria volta a collegare i centri principali di Hierapolis, Laodikeia e Tripolis unitamente ad assi minori, ma altrettanto importanti per le connessioni regionali. Le ricerche condotte nel territorio, per quanto influenzate da condizioni critiche di visibilità, hanno quindi evidenziato la presenza di fattorie (testimoniate spesso da elementi pertinenti a frantoi di vario tipo), impianti termali, ma anche di aree religiose, come il tempio di Develi, la grotta sacra del Ballık Dere e, ancor più, l'area sacra di Apollo Karios preso il Somaklı Tepe e di Apollo Helios Lairbenós presso Asartepe.

Particolarmente rilevante è poi l'individuazione di abitati di differenti dimensioni e consistenza, che definisce un quadro molto interessante e articolato, utile per la ricostruzione storica e sociale antica della regione. La varietà degli insediamenti è molto diversa, andando dagli abitati minori riscontrati presso Küçükdereköy, Kocagözler, Eymir sino a centri di rilevanza maggiore come Thiounta, Boyallı, Gavurdamarkası Tepe (sull'altopiano di Uzunpınar) e Yüksektepe, di Mossyna, Kagyetta e di Atyochorion (sull'altopiano di Çal), caratterizzati da una notevole estensione dell'area e da ragguardevoli livelli monumentali e culturali.

Conclude il quadro dello studio territoriale il riconoscimento di una divisione agraria regolare nel settore settentrionale dell'altopiano di Uzunpınar, individuata grazie a tracce derivate dall'interpretazione delle immagini satellitari combinata con riscontri in superficie. È questa probabilmente la parte più critica della ricerca, dal momento che, come sottolinea l'autore, «non vi sono molti elementi per poter produrre una cronologia», sebbene si avanzi l'ipotesi di una sua pertinenza all'età ellenistica. Senza dubbio, il problema è estremamente spinoso da vari punti di vista, dal momento che poco è noto dei modi e dei criteri delle divisioni agrarie di questo periodo: le pochissime testimonianze sono vaghe, complicate dal quadro articolato e composito dei regni ellenistici, totalmente diverso dall'unitarietà dell'autorità romana in età repubblicana e imperiale. A questo si aggiungono le profonde incognite della gestione che ebbe il territorio nel Mediterraneo orientale in età ottomana e, ancor più, nella lunga fase bizantina. La testimonianza è comunque preziosa e importante, destinata ad aprire nuove discussioni scientifiche.

In generale, il volume è senza dubbio un lavoro riuscito che, per quanto sintetico e riepilogativo, si basa su attività di ricerca di alto livello, completa e all'avanguardia.

In conclusione, due aspetti risultano particolarmente rilevanti e da sottolineare. Il primo di questi è l'oggetto stesso dell'opera, volta allo studio analitico e sistematico di un territorio, tema che è ancora oggi non molto diffuso in Turchia, nonostante la sua evidente e indiscutibile importanza storica e archeologica. A questo proposito è significativa la storia delle ricerche proprio della regione in esame, che fu esplorata essenzialmente nella seconda metà dell'Ottocento e quindi nell'ambito del programma dei *Monumenta Asiae Minoris Antiqua* degli anni Trenta del secolo scorso, a cui si aggiungono le disamine epigrafiche dell'instancabile e onnipresente Louis Robert. Tale complessiva disattenzione verso il territorio in Asia Minore appare sempre più incomprensibile e giustificabile solo per le difficoltà operative, che tuttavia possono essere ampiamente ricompensate dai risultati che si possono conseguire.

Appare infatti molto chiaramente il notevolissimo apporto di nuove informazioni utili per la ricostruzione del popolamento delle *chorai* antiche che, in casi come questo, sono estese e considerevoli per le risorse di diverso tipo, soprattutto agricole e estrattive. Esse – come confermato dalle indagini in oggetto – furono sfruttate in modo intensivo e utilizzate non solo localmente, ma esportate in tutto l'impero romano. Oltre a ciò, le ricerche edite in questo volume da G. Scardozzi sono importanti anche per altri motivi, primo tra tutti la tutela. Al pari di quanto accade per gran parte della Turchia odierna (e non solo), il rischio della perdita irreversibile di materiali e di strutture archeologiche (se non di interi siti) è molto alto, nonostante gli efficienti sistemi di controllo, per cui la registrazione del patrimonio archeologico (unitamente ad una adeguata interpretazione dei dati, funzionale alla ricostruzione storico-topografica) è quanto mai importante e positiva.

Il secondo aspetto da rimarcare è la tempestività nel pubblicare i risultati di complesse ricerche che pur si sono concluse molto recentemente. Questo esito dovrebbe essere l'esito logico e naturale di ogni ricerca scientifica, ma il condizionale appare oggi quanto mai d'obbligo, dal momento che la quantità di risultati che rimangono inediti cresce esponenzialmente per le indagini archeologiche e questo si sta verificando soprattutto per alcune attività condotte all'estero (non solo prestigiose, ma anche costose e impegnative), delle quali si sta silenziosamente perdendo la memoria.

MARCELLO SPANU

Università degli Studi Roma Tre
marcello.spanu@uniroma3.it

Archeologia e Calcolatori
33.2, 2022, 348-351
doi 10.19282/ac.33.2.2022.21

A. CASTRORAO BARBA, *La fine delle ville romane in Italia tra Tarda Antichità e Alto Medioevo (III-VIII secolo)*, Munera 49, Bari, Edipuglia 2020.

Il volume di Angelo Castorao Barba offre un nuovo importante contributo al dibattito storiografico sul tema della "fine" delle ville romane, focalizzando l'attenzione sulla documentazione del territorio italiano. L'autore aveva già pubblicato in varie sedi i risultati preliminari delle sue ricerche, ma il volume permette di presentare in maniera

più dettagliata la ricca documentazione raccolta e di analizzarla in maniera critica, con un approccio metodologico che si è avvalso soprattutto di metodi quantitativi per l'analisi statistica dei risultati delle indagini. Come afferma lo stesso autore nella prefazione (p. 6), «questa proposta statistica non vuole avere l'assolutezza dei numeri e nemmeno una pretesa modellizzante: si tratta, invece, di un primo tentativo di inquadrare sistematicamente le tendenze, che si spera possano costituire il sottofondo da cui partire per approfondimenti mirati allo studio in ambiti regionali e micro-regionali».

La prima parte dell'opera è dedicata al dibattito generale sulla fine delle ville romane che, pur avendo attirato ormai da decenni l'attenzione di storici e archeologi della tarda antichità e del primo medioevo a livello europeo, rimane ancora sostanzialmente aperto e si arricchisce costantemente di nuove proposte interpretative. Nei lunghi secoli presi in esame (III-VIII), le dimore rurali delle aristocrazie, espressione dello stile di vita e di modelli di gestione del territorio propri delle classi dirigenti romane, subiscono profonde trasformazioni, a seconda di aree geografiche e fasi storiche, ma con modalità ricorrenti. Dalla metà del V secolo, in particolare, si affermano sempre più nuove forme di occupazione degli edifici, caratterizzate dall'impiego di materiali deperibili, dal riuso e riciclo di strutture e arredi preesistenti, dall'installazione di attività artigianali, di aree funerarie e in qualche caso dalla costruzione di edifici di culto cristiano. Tali cambiamenti sollevano numerosi interrogativi di carattere storico, a cui sono state fornite risposte anche molto differenti fra loro. Particolarmente utili per il lettore sono quindi le due rassegne archeologiche sulla fine delle ville in *Gallia* e in *Hispania*, regioni per le quali il tema è stato maggiormente approfondito e discusso nell'ambito di indagini dedicate alle ville romane in una prospettiva diacronica. Questo ampio e articolato quadro storiografico è indispensabile per fornire un contesto di riferimento alla documentazione relativa all'Italia.

La seconda parte del volume è dedicata al momento che precede la fine delle ville romane in Italia, cioè il periodo tra gli ultimi decenni del III e gli inizi del V sec. d.C., in cui si registra il massimo splendore delle residenze tardoantiche quali *in primis* la villa del Casale di Piazza Armerina, ma anche le altre ville siciliane di Patti Marina e di Cadeddi sul Tellaro, fino ad arrivare alla villa di Desenzano in Lombardia, per non citare che alcuni degli esempi meglio noti. Il fenomeno è legato allo sviluppo del "sistema agrario tardoantico", analizzato nei lavori fondamentali di D. Vera. Tuttavia, sebbene fino al V secolo si possano individuare interventi edilizi volti a mantenere il carattere aulico di alcuni edifici, e persino riprogettazioni di ville con caratteri di prestigio (dalla villa di Faragola in Puglia a quella di Galeata in Emilia Romagna, attribuita a Teoderico), già dalla fine del III sono presenti fenomeni di trasformazioni, abbandoni e riusi delle strutture residenziali, con fini e funzioni differenti, analizzati in maniera puntuale nel secondo capitolo che compone questa sezione del volume. In alcuni edifici, infatti, si attuarono riconversioni in senso produttivo di parti dei settori abitativi, sia in collegamento con la produzione agricola, sia per funzioni di tipo artigianale. A partire dal IV secolo, inoltre, in settori abbandonati di ville preesistenti vennero ad inserirsi nuclei di sepolture o nuove strutture abitative in forme architettoniche più modeste e con materiali spesso deperibili o di reimpiego. Cominciano inoltre ad essere attestati degli edifici di culto, per i quali non è sempre possibile accertare la contemporaneità di utilizzo con strutture abitative ancora in funzione con carattere residenziale.

La parte III raccoglie i dati archeologici relativi a casi di riusi che attestano discontinuità funzionale, resilienza e affermazione di nuovi modelli insediativi nelle ville tra V e VIII secolo, con un criterio geografico dal Nord al Sud della Penisola che tiene conto della distinzione in *regiones*, più le province di Sardegna e Sicilia. Si tratta di riusi a carattere produttivo, funerario, abitativo, ma anche religioso, con la creazione di edifici di culto. Il repertorio è vastissimo e risulta di estrema utilità per acquisire riferimenti specifici su una grande quantità di siti, con bibliografia puntuale e aggiornata.

La parte IV del volume è di carattere metodologico: vi si chiarisce, infatti, l'approccio di tipo statistico utilizzato per processare una grande quantità di dati al fine di restituire una panoramica dettagliata delle dinamiche diacroniche delle ville e dei loro riusi. Il lavoro si è basato sulla raccolta quanto più possibile completa del materiale edito, nella consapevolezza dei limiti di una documentazione piuttosto eterogenea per quantità e qualità. I dati infatti provengono sia da siti indagati tramite prospezioni di superficie che con scavi archeologici; anche quest'ultimi però offrono evidenze diverse, a seconda che si tratti di interventi occasionali o di emergenza, ovvero di indagini sistematiche realizzate sulla base di progetti pluriennali. Va inoltre tenuto conto che spesso solo di recente le ricerche archeologiche sono state condotte con un'adeguata attenzione nei confronti delle fasi più tarde di uso degli edifici. Le cronologie proposte in letteratura dovrebbero quindi in molti casi essere ulteriormente verificate attraverso nuove indagini o studi dei materiali. La vastità dell'area presa in esame, infine, non ha sempre consentito approfondimenti puntuali e ovviamente esiste anche un'ampia documentazione inedita o non accessibile.

Tuttavia, avere raccolto un dossier così vasto di dati, e averlo sottoposto ad un vaglio critico, costituisce un primo importante e utile risultato della ricerca condotta dall'autore. Su questa base è stato costituito infatti un *corpus* di 1850 siti di ville, distinti in tre gruppi a seconda delle informazioni disponibili: 767 siti oggetto di indagini stratigrafiche; 688 siti scavati con una cronologia non generica del periodo di occupazione di epoca romana; 329 siti scavati con una cronologia non generica del periodo successivo all'utilizzo della villa. Per la raccolta e gestione dei dati è stato utilizzato il DBMS Carta Archeologica progettato per le ricerche del Laboratorio di Informatica Applicata all'Archeologia Medievale (LIAAM) dell'Università di Siena, diretto da Marco Valenti. Questo materiale è stato processato con metodi di analisi statistica e precisamente con calcoli di tipo descrittivo sulla base di interrogazioni dei campi del database relativi alle fasi cronologiche delle ville. È stato così possibile elaborare delle statistiche sulla cronologia iniziale delle ville nelle varie *regiones* e nelle province di Sicilia e Sardegna e successivamente sul loro sviluppo diacronico come edifici di carattere residenziale, per arrivare a statistiche sulle ultime fasi di vita. Altre analisi statistiche sono state eseguite su siti in cui è attestata una discontinuità di funzioni, verificando le percentuali di abbandoni e riusi e analizzando poi le diverse tipologie di riuso in una prospettiva diacronica.

Sulla base dei risultati delle quantificazioni statistiche sono stati proposti alcuni quadri di insieme sulle trasformazioni delle ville e su ciò che accade "dopo le ville" tra III e VIII secolo, individuando il momento di massima destrutturazione del sistema durante il VI secolo, quando gli edifici persero definitivamente il loro ruolo di residenze aristocratiche. Nei secoli successivi si assiste a fenomeni di resilienza e

di riuso di siti di ville, ma si tratta di una discontinuità funzionale in una continuità topografica. Le statistiche elaborate risultano molto efficaci nell'illustrare i fenomeni, analizzati con puntuali riferimenti alle complesse questioni storiche al centro del dibattito scientifico attuale.

I disegni e le fotografie che accompagnano l'esposizione costituiscono il corredo di molti dei casi-studio in esame, mentre i grafici illustrano le statistiche elaborate. L'ampia e aggiornata bibliografia raccolta costituisce un ottimo strumento di lavoro e contribuisce a far sì che l'opera possa diventare un punto di riferimento per le ricerche sulle ville romane in Italia nel più ampio dibattito europeo.

CARLA SFAMENI

Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR
carla.sfameni@cnr.it

33.2
2022

€ 40,00

ISSN 1120-6861

e-ISSN 2385-1953

ISBN 978-88-9285-124-5

e-ISBN 978-88-9285-125-2



AC-33.2

ARCHEOLOGIA
E CALCOLATORI