

LE TERME CENTRALI DI PORTO TORRES (SS): RILIEVO E RICOSTRUZIONE 3D

ABSTRACT

Il contributo mira a presentare metodi e risultati del progetto di restauro virtuale di un settore dell'antica Porto Torres/*Turrus Libisonis* (Terme centrali, via adiacente e botteghe prospicienti - cd. palazzo del Re Barbaro), frutto di un accordo di collaborazione tra la Direzione Regionale Musei Sardegna e l'Università degli Studi di Padova. Il metodo applicato si basa su tecnologie di fruizione in Realtà Virtuale e ha permesso il restauro virtuale, geolocalizzando il modello virtuale 3D *on-site*: una *App* comanda la visualizzazione di immagini equirettangolari all'interno di visori VR, permettendo visite guidate "aumentate". Il lavoro è partito da una raccolta bibliografica ragionata, alla quale è seguita una campagna di rilievo fotogrammetrico da drone (G. Alvito, Teravista); infine, intrecciando i dati raccolti, si è proceduto alla ricostruzione 3D virtuale degli edifici. Le evidenze strutturali oggi conservate sono state integrate nella scena 3D con puntuali confronti coevi (III sec. d.C.), virtualmente ricostruiti e ricollocati in contesti d'uso verosimili, accrescendo così l'affidabilità ricostruttiva. L'intera attività ricostruttiva è stata vincolata a un rigoroso processo di validazione scientifica basato sul metodo dell'*Extended matrix* e l'esito finale è ora fruibile sia mediante proiezioni tradizionali (*off-site*, tourismA 2020), sia mediante l'utilizzo di dispositivi mobili VR (*on-site*, Giornate europee del patrimonio 2020). In queste e altre occasioni si è riscontrata una eccellente risposta del pubblico, agevolata dal virtuale nella percezione e nella comprensione delle evidenze e delle volumetrie antiche.

The paper aims to present the methods and results of the virtual restoration project of a sector of the ancient Porto Torres/*Turrus Libisonis* (central baths, adjacent street and facing shops - the so-called Palazzo del Re Barbaro); the project is the result of a collaboration agreement between the Regional Museums Direction of Sardinia and the University of Padua. The method applied is based on Virtual Reality fruition technologies and has enabled virtual restoration as well as the geolocalising the 3D virtual model on-site: an App commands the display of equirectangular images inside VR viewers, allowing 'augmented' guided tours. The work started with an annotated bibliographic collection, which was followed by a photogrammetric survey campaign by drone (carried out by G. Alvito, Teravista); finally, interweaving the collected data, the virtual 3D reconstruction of the buildings was carried out. The structural evidence preserved today was integrated into the 3D scene with coeval comparisons (3rd century AD), virtually reconstructed and relocated in plausible contexts of use, thus increasing reconstructive reliability. The entire reconstruction process was bound to a rigorous scientific validation process based on the *Extended matrix* method, and the final outcome is now usable both through traditional projections (*off-site*, presented at tourismA 2020 exhibition) and through the use of mobile VR devices (*on-site*, presented at the European Heritage Days 2020). On these and other occasions, there has

been an excellent response from the public, facilitated by the virtual in their perception and understanding of the ancient architectural evidence.

1. IL PROGETTO E I SUOI PRESUPPOSTI

Il progetto di restauro virtuale dell'area delle Terme Centrali di Porto Torres (SS) è stato sviluppato e portato a compimento nel biennio 2019-2020 e rientra nell'ambito di una più ampia collaborazione scientifica avviata nel 2016 tra il Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università di Padova e la Direzione Regionale Musei Sardegna (già Polo Museale)¹.

Sulla base di un fruttuoso filone di attività di ricerca e divulgazione seguito negli ultimi anni dall'Ateneo patavino, e felicemente applicato in vari siti della Sardegna e dell'Italia antica,² le linee di intervento del progetto, stabilite grazie alla stretta sinergia tra gli enti coinvolti, sono state stilate con l'obiettivo di potenziare il processo di digitalizzazione del patrimonio storico-archeologico della Sardegna. Tale proposito è destinato ad assicurare al grande pubblico la possibilità di apprezzare nell'ambito delle sedi museali isolate monumenti altrimenti non fruibili direttamente, utilizzando strumenti ad alto tasso di innovatività e dotati di forte attrattività specialmente per le giovani generazioni, propense all'utilizzo di strumentazioni informatiche.

La riproduzione tridimensionale dei contesti archeologici regionali all'interno dei complessi museali permette infatti a questi ultimi di incrementare le proprie potenzialità attrattive e di configurarsi quale punto di riferimento centripeto di aree regionali sempre più vaste. Contemporaneamente, questa logica di esposizione e fruizione del territorio tramite sue riproduzioni dislocate nelle sedi museali mira a generare un processo di carattere centrifugo: un'accattivante e dinamica riproduzione di aree archeologiche o monumentali nelle sedi dei Musei può infatti stimolare curiosità e interesse verso le realtà esterne, facendole divenire meta (non preventivata) di flussi turistici inizialmente calamitati dalle sole esposizioni museali.

Jacopo Bonetto

2. LO SVILUPPO DEL PROGETTO: PORTO TORRES/TURRIS LIBISONIS

La prima *tranche* del progetto ha visto la realizzazione di un *tour* virtuale con riproduzioni fotografiche stereoscopiche e ricostruzioni tridimensionali dei principali siti archeologici e degli spazi museali gestiti dal Polo, fruibile mediante visori VR e una postazione multimediale presso il Museo Archeologico Nazionale di Cagliari. Seguendo il filo diretto che va dalla ricerca scientifica all'attività divulgativa, la secon-

¹ Si coglie qui l'occasione per esprimere riconoscenza per la fruttuosa collaborazione a Giovanna Damiani, Roberto Concas, Silvia Caracciolo, Manuela Puddu e Anna Maria Marras.

² BONETTO – ZARA 2017; BONETTO – ZARA 2018a; BONETTO – ZARA 2018b; BONETTO *et alii* 2022. Si ricorda in particolare quanto realizzato per la città antica di Nora (Pula, CA), per Padova romana e, in tempi più recenti, per il centro di Cittadella (PD).

da *tranche* del progetto è stata dedicata all'area delle Terme Centrali di Porto Torres, mai completamente obliterate dopo l'abbandono in età postantica, ma allo stesso tempo ancor oggi solo in parte limitata indagate secondo i moderni criteri della ricerca archeologica (fig. 1).

Come sappiamo da Plinio il Vecchio,³ *Turrus Libisonis* era l'unica colonia di cittadini romani della Sardegna, fondata da Giulio Cesare o da Ottaviano Augusto tra il 46 e il 41 a.C.⁴ La colonia, grazie sia alla sua posizione riparata all'interno del Golfo dell'Asinara, sia al fertile retroterra della Nurra e alla presenza delle miniere di piombo dell'Argentiera, potenziò le sue attività portuali diventando il principale centro della Sardegna settentrionale. Nota in particolar modo per l'esportazione di cereali, come dimostra, in età imperiale, il mosaico dei *Navicularii Turritani* presente nel Piazzale delle Corporazioni ad Ostia,⁵ *Turrus Libisonis* doveva essere inoltre uno scalo obbligato soprattutto per le navi che dall'Europa occidentale, in particolare dalla penisola Iberica e dalla Gallia Narbonense, volevano raggiungere Roma. I reperti rinvenuti nel corso dei decenni confermano di fatto l'immagine di una città vivace dal punto di vista culturale, centrale nella rete degli scambi che coinvolgevano merci, persone e conoscenze nel Mediterraneo.

La sovrapposizione della città moderna a quella antica e le informazioni incomplete ricavate dalle indagini di scavo, tuttavia, non consentono di ricostruire con esattezza l'impianto urbano della colonia: mancano infatti molti dati sui confini, sul perimetro delle mura, ma anche sull'articolazione interna e la specializzazione dei diversi quartieri.

Maria Letizia Pulcini

3. LA RICOSTRUZIONE DELLE TERME CENTRALI E LE FONTI INFORMATIVE

Le Terme Centrali di Porto Torres, complesso conosciuto anche con il nome di Palazzo di Re Barbaro,⁶ si pongono tra i pochi edifici noti della città romana, per la gran parte rappresentati da abitazioni private. Il complesso termale si distingue tanto per lo stato di conservazione quanto per la monumentalità dei resti, che, nelle forme oggi visitabili, risalgono alla media età imperiale, con pavimentazioni musive datate

³ PLIN. *nat.* III, 7, 85.

⁴ La colonia probabilmente non ebbe carattere militare, ma la sua fondazione servì a ricollocare parte della popolazione di Roma, allora in forte crescita. Sulle riflessioni relative alla cronologia della fondazione della colonia si veda ad esempio: MASTINO 1992, pp. 14-15.

⁵ Si trattava delle sedi di commercianti che avevano grandi interessi negli scambi con Roma. Insieme alle corporazioni turritane erano presenti anche i *navicularii Karalitani*, ma non si esclude la presenza anche di Olbia (D'ORIANO 2017, p.59).

⁶ Sul complesso si vedano in particolar modo: BONINU 1984a, pp. 13-18; BONINU 1984b, pp. 48-55; VILLEDIEU 1984, pp. 7-8; MASTINO - VISMARA 1994, pp. 80-84; AZZENA 1999, pp. 374-376; GHIOTTO 2004, pp. 122-123, con ulteriore bibliografia di riferimento. Rilievi planimetrici e sezioni prospettiche del complesso sono edite in BONINU - PANDOLFI 2012, pp. 78-80, figg. 52-56. Una recente ricostruzione assonometrica del complesso è invece in CANU 2021, pp. 90-94, 99, figg. 70-71.

su basi stilistiche tra la fine del III e gli inizi del IV sec. d.C.⁷. Delimitato da due *cardines* e altrettanti *decumani*, il complesso presenta un orientamento nord-sud e, articolato in otto ambienti, era fruibile mediante un percorso di tipo “anulare”: uno spazio porticato pavimentato a mosaico dà adito a un ampio *frigidarium* dotato di due vasche simmetriche sui lati maggiori, dal quale si accede al settore delle terme dedicato ai vanni riscaldati, tra cui un *tepidarium* affrontato ad un ambiente di disimpegno, che a sua volta immette in un primo *calidarium* absidato; un ulteriore *calidarium* occupa invece il settore orientale dell’impianto termale;⁸ nel comparto meridionale del complesso si sviluppa infine in senso trasversale il cosiddetto “criptoportico”, probabilmente un corridoio di servizio seminterrato.

Questo complesso, che insiste su *domus* di età repubblicana in funzione fino alla fine del I sec. d.C.⁹ (oggetto di scavi recenti ed attualmente visitabili), è oggi uno dei monumenti meglio conservati e più imponenti di Porto Torres romana, in continuità fisica con il Museo Archeologico Nazionale “*Antiquarium Turritano*” e a circa un centinaio di metri dalla stazione marittima cittadina. Di per sé già ben inserite nei percorsi turistici urbani, le terme risultano dunque ancor più meritevoli di un apparato divulgativo aggiornato e supportato mediante l’uso delle più recenti acquisizioni nel campo della tecnologia applicata ai beni culturali. Inoltre, gli imponenti resti dell’edificio termale, così come quelli della via basolata e porticata che lo lambiscono, sono dotati di un impatto visivo notevole per il visitatore del parco archeologico, ottimo punto di partenza per la comprensione del monumento, che non può che trarre massimo beneficio da una ricostruzione virtuale immersiva dello stesso. Fondamentale nella scelta di ricostruire virtualmente il sito è stata inoltre la già menzionata continuità fra l’area archeologica e l’*Antiquarium Turritano*, recentemente ristrutturato: la possibilità di fruire una ricostruzione del complesso termale e del panorama circostante tanto all’interno del monumento quanto presso il vicino Museo, che ne conserva i relativi reperti recuperati nel corso degli anni, si configura come un valore aggiunto della ricostruzione, che in questo modo risulta ancor più funzionale alla comprensione delle evidenze archeologiche.

Con questi presupposti ha preso avvio il progetto di ricostruzione e restauro virtuale del complesso termale turritano, nel quale l’attività di modellazione 3D è stata costantemente vincolata a un sistematico processo di validazione scientifica. Nonostante i dati editi e inediti disponibili relativi allo sviluppo dell’edificio e dell’area circostante presentino dei limiti, si è ritenuto comunque indispensabile esplicitare le fonti informative del processo ricostruttivo e il loro livello di affidabilità; in questo modo si è realizzato da una parte un prodotto multimediale scientificamente solido e dall’altra, senza andare a discapito dell’intelligibilità, si è fornita al pubblico una limpida chiave di lettura del percorso che ha condotto alla ricostruzione. Ci si è dunque adeguati

⁷ ANGIOLILLO 1981, pp. 173-186, nn. 141-161.

⁸ Sulle funzioni dei singoli ambienti che compongono il complesso la discussione è ancora aperta (cfr. la differente lettura in NIEDDU 1988, p. 441) e per vari aspetti lungi dall’essere risolta, come ad esempio nel caso del supposto *frigidarium*, per il quale non si esclude un’alternativa funzione di *apodyterium*.

⁹ Orfeo 2011; BONINU *et alii* 2011, pp. 347-348.

al metodo dell'*Extended Matrix*,¹⁰ formalizzato negli ultimi anni dal gruppo di ricerca del CNR-ISPC¹¹ e applicato recentemente in Sardegna anche alle ricostruzioni del sito di Nora, nell'ambito di una tesi di dottorato dedicata al processo ricostruttivo del complesso monumentale forense,¹² e del progetto *e-archeo*, nel corso del quale sono stati modellati altri settori urbani e suburbani del centro norense.¹³

Venendo alle principali fonti informative utilizzate per la ricostruzione tridimensionale delle Terme Centrali di *Turris Libisonis* (tab. 1) sono indispensabili alcune puntualizzazioni. Fra gli anni Sessanta e gli anni Ottanta del secolo scorso sono state redatte planimetrie (D.01-D.03) e sezioni (D.04-D.05) dell'edificio che, sebbene funzionali alla produzione della pianta semplificata dalla quale ha preso le mosse la ricostruzione (fig. 2), non sono state ritenute sufficienti allo sviluppo del modello. Con ciò, si è scelto di integrare i dati ricavabili dai rilievi prodotti con metodi tradizionali con quelli forniti da un nuovo e aggiornato rilievo fotogrammetrico (D.06), realizzato con acquisizioni fotografiche da drone elaborate secondo la tecnica *structure from motion*:¹⁴ in questo modo è stato possibile impostare la ricostruzione su dati geometrici dotati di un adeguato livello di dettaglio, assumendo nel contempo informazioni sul colore, indispensabili alla produzione di *texture* fotorealistiche da applicare agli alzati.

Di notevole importanza per la comprensione dell'articolazione planivolumetrica del complesso sono anche tre disegni assonometrici ricostruttivi dell'edificio termale: un primo, validato da A. Boninu, è stato realizzato per l'apparato divulgativo del vecchio allestimento dell'*Antiquarium Turritano* (D.07) e mostra uno spaccato delle terme, del cd. palazzo di Re Barbaro e degli assi stradali circostanti; recentemente editi da N. Canu sono gli altri due,¹⁵ il primo pure destinato ad illustrare l'intera area nel suo complesso (D.08), il secondo riservato al portico d'accesso e ai complessi pertinenti alle fasi precedenti ad esso sottoposti (D.09). Tali disegni, seppur con i limiti insiti nella loro natura, hanno fornito numerosi e rilevanti spunti sia per la modellazione delle coperture, sia pure per la realizzazione delle *texture* delle superfici orizzontali e verticali.

Come si avrà modo di approfondire oltre,¹⁶ sebbene la ricostruzione abbia interessato l'intero complesso e l'ambiente circostante, un *focus* specifico è stato dedicato ad alcuni spazi, in quanto meglio noti o dotati di un particolare potenziale semantico: si tratta delle strutture lungo l'asse stradale che lambisce le terme ad ovest, del portico d'accesso alle terme e del grande vano interpretato come *frigidarium*. Per quanto concerne la ricostruzione del *kardo* e degli ambienti pertinenti al cd. palazzo di Re

¹⁰ Cfr. *infra* D. Bursich.

¹¹ DEMETRESCU 2015; DEMETRESCU *et alii* 2016; DEMETRESCU – FANINI 2017; DEMETRESCU 2018; FANINI – DEMETRESCU 2019; FERDANI *et alii* 2019; DEMETRESCU – FERDANI 2021.

¹² BERTO 2022. Per i risultati preliminari della ricerca, con un *focus* sulla ricostruzione del tempio del foro di Nora: BERTO *et alii* 2021.

¹³ BONETTO *et alii* 2022.

¹⁴ Il rilievo si deve a Gianni Alvito (Teravista, CA), che si coglie l'occasione per ringraziare per la costante disponibilità dimostrata nell'ambito del progetto presentato in questa sede, così come delle passate attività svolte in collaborazione con l'Ateneo patavino.

¹⁵ CANU 2021, figg. 70-71, pp. 92-94.

¹⁶ Cfr. *infra* D. Bursich.

NOME	DESCRIZIONE	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO/URL	PROPRIETÀ	TIPO DI DATO
D.01	Planimetria dell'edificio, primi anni Sessanta	BONINU – PANDOLFI 2012, fig. 52, p. 78	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.02	Planimetria dell'edificio termale, del palazzo di Re Barnaro e del sistema viario circostante, 1981	BONINU – PANDOLFI 2012, fig. 61, p. 83	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.03	Planimetria semplificata dell'edificio termale e delle strade circostanti	ANGIOLILLO 1981, fig. 38, p. 174	Geometria	Rilievo 2D in pubblicazione scientifica
D.04	Sezioni N-S dell'edificio termale, primi anni Sessanta	BONINU – PANDOLFI 2012, figg. 53-55, pp. 79-80	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.05	Sezioni W-E e S-N dell'edificio termale, 1964	BONINU – PANDOLFI 2012, fig. 56, p. 80	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.06	Rilievo fotogrammetrico dell'edificio	https://sketchfab.com/3d-models/area-archeologica-turris-libisonis-portotorres-96f1891d56da4a3fb5078b65894e6723	Geometria, materiale, altezza degli elevati	Rilievo 3D da fotogrammetria aerea
D.07	Disegno ricostruttivo dell'edificio termale, del palazzo di Re Barbaro e della strada	Archivio Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro	Geometria, materiale, soluzioni architettoniche e stilistiche	Disegno inedito
D.08	Disegno ricostruttivo dell'edificio termale, del palazzo di Re Barbaro e della strada	CANU 2021, fig. 70, pp. 92-93	Geometria, materiale, soluzioni architettoniche e stilistiche	Disegno ricostruttivo in pubblicazione scientifica
D.09	Disegno ricostruttivo del peristilio porticato e degli edifici sottostanti	CANU 2021, fig. 71, p. 94	Geometria, materiale, soluzioni architettoniche e stilistiche	Disegno ricostruttivo in pubblicazione scientifica

NOME	DESCRIZIONE	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO/URL	PROPRIETÀ	TIPO DI DATO
D.01	Planimetria dell'edificio, primi anni Sessanta	BONINU – PANDOLFI 2012, fig. 52, p. 78	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.02	Planimetria dell'edificio termale, del palazzo di Re Barnaro e del sistema viario circostante, 1981	BONINU – PANDOLFI 2012, fig. 61, p. 83	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.03	Planimetria semplificata dell'edificio termale e delle strade circostanti	ANGIOLILLO 1981, fig. 38, p. 174	Geometria	Rilievo 2D in pubblicazione scientifica
D.04	Sezioni N-S dell'edificio termale, primi anni Sessanta	BONINU – PANDOLFI 2012, figg. 53-55, pp. 79-80	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.10	Foto d'archivio (1972) della strada nord-sud in corso di scavo, sulla quale, riverse in crollo, stavano ancora le colonne pertinenti al portico antistante le botteghe, prima dell'anastilosi.	BONINU 1984, fig. 23 p. 44	Soluzione architettonica	Foto d'epoca in edificio scientifico
D.11	Confronto con casa e <i>thermopolium</i> di <i>Vetutius Placidus</i> (Pompei, I, 8, 8) per l'allestimento di una delle <i>tabernae</i> sul lato W della strada	http://pompeiiinpictures.com/pompeiiinpictures/R1/1%2008%2008%20quickie.htm	Geometria, materiale, soluzione architettonica	Foto di confronto da database online
D.12	Caupona della casa di Nettuno e Anfritre (Ercolano, V, 6-7) per l'allestimento di una delle <i>tabernae</i> sul lato W della strada	https://herculaneum.uk/Ins%205/Herculaneum%205%2006.htm	Geometria, materiale, soluzione architettonica	Foto di confronto da database online
D.13	Disegno del mosaico policromo al centro del peristilio	ANGIOLILLO 1981, fig. 39, p. 175	Geometria	Disegno ricostruttivo in pubblicazione scientifica
D.14	Disegno del mosaico policromo al centro del peristilio	Archivio Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro	Geometria	Rilievo 2D

NOME	DESCRIZIONE	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO/URL	PROPRIETÀ	TIPO DI DATO
D.01	Planimetria dell'edificio, primi anni Sessanta	BONINU – PANDOLFI 2012, fig. 52, p. 78	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.02	Planimetria dell'edificio termale, del palazzo di Re Barnaro e del sistema viario circostante, 1981	BONINU – PANDOLFI 2012, fig. 61, p. 83	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.03	Planimetria semplificata dell'edificio termale e delle strade circostanti	ANGIOLILLO 1981, fig. 38, p. 174	Geometria	Rilievo 2D in pubblicazione scientifica
D.04	Sezioni N-S dell'edificio termale, primi anni Sessanta	BONINU – PANDOLFI 2012, figg. 53-55, pp. 79-80	Geometria	Rilievo 2D d'epoca in pubblicazione scientifica
D.15	Disegno del mosaico monocromo lungo i bracci del peristilio	Archivio Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro	Geometria	Rilievo 2D
D.16	Foto del mosaico policromo al centro del peristilio, strappato e conservato nell' <i>Antiquarium</i> Turritano	Archivio Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro	Geometria, materiale, colore	Foto d'archivio
D.17	Mosaico della vasca E del <i>frigidarium</i>	Archivio Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro	Geometria	Rilievo 2D
D.18	Mosaico della vasca W del <i>frigidarium</i>	Archivio Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro	Geometria	Rilievo 2D
D.19	Resti della decorazione del soffitto del <i>frigidarium</i>	Archivio Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Sassari e Nuoro	Materiale, colore	Foto d'archivio

Barbaro, è utile soffermarsi su alcuni punti. In primo luogo, tra la strada e gli ambienti si situa un lungo porticato oggetto di parziale anastilosi, con coppie di pilastri e colonne alternati.¹⁷ tale assetto è stato messo in dubbio in anni recenti, anche sulla base del riesame delle foto d'archivio (fig. 3), in cui ancora si colgono le colonne in crollo (D.10), ragion per cui nella presente ricostruzione si è preferito modellare un più semplice porticato costituito da singole colonne posizionate a distanze regolari, stabilite sulla base dei plinti conservati. Incerte restano anche le funzioni dei vani posti alle

¹⁷ BONINU 1984b, pp. 44-45.

spalle del portico, sebbene con ogni probabilità si tratti in buona parte di botteghe: con ciò, senza voler forzare eccessivamente la ricostruzione, si è fatto riferimento ai più classici esempi di ambito pompeiano ed ercolanese (D.11-D12), seppur di cronologia più alta, così da riproporre l'articolazione interna di due *tabernae* col relativo mobilio. Venendo al grande triportico delle terme, indispensabili alla ricostruzione sono stati senz'altro i rilievi ricostruttivi e i disegni delle pavimentazioni musive presenti lungo i bracci laterali e nello spazio centrale (D.13-D.15): in merito a quest'ultimo tessellato, attenzione particolare è stata riservata alla cromia, ricavata da foto d'archivio del tratto di mosaico strappato e conservato nel vicino *Antiquarium* (D.16). Fonti analoghe sono state sfruttate per la ricostruzione dei mosaici che rivestono il fondo delle vasche presenti nel vasto ambiente variamente interpretato come *frigidarium* o *apodyterium* (D.17-D.18). Tra i punti più critici della ricostruzione vi sono infine i soffitti e le coperture, come di consueto avviene nelle attività di restauro virtuale di monumenti di età antica: in questo senso particolarmente utile è stata la notizia inedita dell'esistenza di resti di intonaco dipinto pertinenti alla volta del *frigidarium* (D.19), nei quali sarebbe rappresentato, in forma stilizzata, un cielo stellato; tale affresco è stato dunque riprodotto nella ricostruzione della crociera, servendosi in questo caso di confronti con cronologie leggermente più basse rispetto a quelle delle terme di Porto Torres.

Arturo Zara

4. IL PROCESSO RICOSTRUTTIVO

Il flusso di lavoro per la ricostruzione virtuale è stato creato appositamente ed è stato diviso in fasi. A lato di questo processo è sempre stato costante il dialogo con il personale tecnico-scientifico della Soprintendenza che in un primo momento ha concesso e favorito la raccolta e l'organizzazione di tutti i dati editi, mentre successivamente è sempre stato garante e guida per le scelte ricostruttive, ottenute da processi di interpretazione del dato scientifico. Questo processo è stato mappato e descritto nella parte di flusso di lavoro chiamato *Extended Matrix*, cui si è fatto cenno in precedenza.¹⁸ Sostanzialmente questo metodo permette, da una parte, di organizzare i dati editi e di archivio, mentre, dall'altra, di crearne di nuovi grazie alla definizione in bassa risoluzione di volumi 3D utili al restauro virtuale degli edifici. Il restauro virtuale è un processo lungo e complicato che non sempre è condiviso dalla comunità scientifica, pertanto l'*Extended Matrix* è stato scelto anche come forma di mappatura decisionale e come controprova e validazione del dato archeologico. Questo processo è *open* e permetterà a chi lo volesse di verificare e discutere le decisioni effettuate. Successivamente per la ricostruzione tridimensionale è stato scelto un ambiente di sviluppo VR in *real time*, il 3D engine chiamato *Unreal Engine 5*. Il programma permette di renderizzare in tempo reale, esportare render a 360° video girati virtualmente

¹⁸ E di cui si parla in particolare in questo prezioso contributo: DEMETRESCU - FERDANI 2021, *passim*.

con camere gestite da una regia, e volendo anche la fruizione in tempo reale dal *web*. Pertanto il flusso di lavoro è stato così suddiviso in fasi:

- F1 – Raccolta dei dati, organizzazione e sistematizzazione;
- F2 – Rilievo dell’edito con UAV;
- F3 – *Extended Matrix*;
- F4 – Restauro virtuale;
- F5 – Esportazione per la fruizione.

4.1. Fase 1

L’acquisizione del dato scientifico è stata bene descritta nel paragrafo precedente.¹⁹ Tutti i dati sono stati organizzati secondo cartelle divise per articoli, immagini di riferimento, dati bibliografici, ecc. Tutti i dati sono stati parametrizzati e inseriti in una tabella Excel, la tabella delle fonti (tab. 1), che mette in relazione testuale il dato bibliografico con il dato archeologico a cui è riferito. Per esempio la planimetria dell’edificio dei primi anni Sessanta si ritrova nel lavoro di A. Boninu e A. Pandolfi.²⁰ Ma non solo. Ogni linea è anche associata al valore “Nome”, un dato codificato della fonte composto da una lettera maiuscola D (documento), un punto ed un numerale incrementale (1, 2, 3, etc.); segue il valore “Descrizione”, ovvero una breve descrizione del riferimento; quindi il valore “Proprietà”, che indica per cosa di sta usando una determinata fonte (es. soluzione stilistica, altezza colonna, geometria, materiale); infine il valore “Tipo di dato”, che segnala se si tratta di un 3D, una foto, un disegno, un articolo scientifico, un testo antico, iconografia antica, etc. (fig. 4).

Questo passaggio è fondamentale sia per organizzare i dati scientifici proprio ai fini ricostruttivi, sia per la validazione del dato, per mappare l’incertezza ricostruttiva e per generare un grafico a blocchi utile per la FASE 3 – detto appunto *Extended Matrix*.

4.2. Fase 2

Rilievo dell’esistente. Dopo l’organizzazione dei dati editi ci si è resi conto che il dato planimetrico 2D non era sufficiente per la restituzione dei volumi, ma che anzi, visto il buono stato di conservazione dell’edificio, molti dati sarebbero derivati proprio dal rilievo 3D, come per esempio l’altezza di alcuni ambienti, la curvatura delle volte, la profondità delle vasche, ecc. A causa dell’estensione della zona archeologica, si è optato per il rilievo indiretto dell’area con drone (UAV) e successivamente la parametrizzazione del modello 3D per ottenere una base volumetrica e planimetrica dell’area, sulla quale andare a operare un restauro virtuale di tutti gli alzati e di tutte le strutture (fig. 5).

¹⁹ Cfr. *supra* A. Zara.

²⁰ BONINU – PANDOLFI 2012, fig. 52, p. 78.

Questo tipo di intervento è stato possibile grazie anche al supporto della ditta Teravista (Gianni Alvito), che ha seguito il processo di ripresa fotografica dall'alto dei resti archeologici.

A seconda della scala del progetto, del livello di accuratezza desiderato e del budget disponibile, solitamente un rilievo da drone è la via ottimale per produrre un risultato buono che permetta di ottenere modelli 3D con una buona metrica e informazioni cromatiche fotorealistiche date dagli scatti da UAV. Il rilievo fotografico aereo del sito è stato finalizzato a raccogliere dati sia su scala territoriale che architettonica. La qualità delle foto è una caratteristica essenziale per questo tipo di operazione e il livello dei modelli 3D (*mesh*) dipende principalmente dalla campagna di ripresa fotografica, oltre che dalla precisione del rilievo topografico.²¹

La *mesh* prodotta è stata poi importata all'interno del *software Blender* per ulteriori ottimizzazioni, poiché in alcune aree è stato necessario un fine lavoro di modellazione manuale per ripristinare virtualmente alcune parti mancanti o chiudere piccoli fori (*holes*) nella *mesh* causati dal sotto-campionamento nel rilievo 3D.

L'*output* finale del lavoro influenza inevitabilmente l'approccio di modellazione e ne modifica l'interpretazione e validazione del risultato. Influisce anche il flusso di lavoro complessivo svolto su geometrie, testurizzazione, ecc. inclusi anche gli aspetti estetici.

4.3. Fase 3

Extended Matrix. Come detto il processo di ricostruzione 3D sta alla base del lavoro di interpretazione dei rinvenimenti archeologici,²² ed è un processo che permette agli archeologi di raffinare eventuali ipotesi ricostruttive. Nel nostro caso si è partiti dalla raccolta bibliografica d'archivio sistematizzando disegni, piante, articoli, immagini e confronti coevi, come descritto nel paragrafo 4.1. Questo processo ha portato ad un lavoro di interpretazione, originato dalla mappatura delle fonti e dalla loro organizzazione descritto poi con un linguaggio formale creato appositamente: il cosiddetto *Extended Matrix* (Matrix Esteso)²³. Il concetto alla base di questo flusso di lavoro è quello della ricostruzione del processo interpretativo dei resti archeologici, ovvero attribuire una valenza scientifica e con una percentuale di attendibilità al modello 3D finale. Con questo sistema è possibile collegare a qualsiasi elemento architettonico un file multimediale o testuale attraverso l'uso di *proxy*. A seguito della creazione di un modello 3D ottenuto da scansione UAV o terrestre (vedi FASE 2), si avvia un processo di trasformazione della *mesh* chiamata *reverse engineering*, per la trasformazione e la parametrizzazione di geometrie complesse in geometrie *low-poly*. La colorazione delle geometrie ottenute non sarà più data dalle fotografie scattate da drone ma dai livelli di affidabilità della scelta ricostruttiva, permettendoci di distinguere a colpo d'occhio il certo dall'incerto. Per esempio, l'altezza di una colonna può essere data: dai resti ritrovati (azzurro) accanto a resti *in situ* (rosso), dall'anastilosi di resti crollati

²¹ PACE – BURSICH 2021, pp. 85-90.

²² DEMETRESCU – FANINI 2017, p. 500.

²³ DEMETRESCU 2015, *passim*.

in situ (giallo), di resti trovati altrove e riassemblati (verde), da confronti coevi, supposizioni e calcoli senza confronti (verde scuro). Questa mappatura dell'incertezza è uno strumento di lavoro che consente alla comunità scientifica di valutare e tracciare il lavoro di ricostruzione (fig. 6).

Extended Matrix (EM) è un linguaggio formale basato su nodi visivi che sfrutta il sistema di rappresentazione ideato da Harris (*Matrix* appunto) utilizzato in archeologia.²⁴ Il termine *Extended* indica che per descrivere la stratigrafia di un sito non solo verranno rappresentate le successioni di US reali ma anche quelle virtuali (USV), ovvero una successione di modelli 3D che verranno creati ex novo sopra al rilievo delle strutture esistenti al fine di restaurarle virtualmente. Una estensione della stratigrafia reale, che invece di procedere verso il basso descrivendo il reale, si snoda verso l'alto, descrivendo il perché di alcune scelte virtuali che hanno portato a questa specifica ipotesi ricostruttiva. Per ora, fattivamente, è possibile compiere questo tipo di operazione, collegando i dati delle fonti ai modelli 3D solo attraverso il *software* di modellazione 3D *Blender* e al *software* *yEd*, un editor di grafici a blocchi. L'interoperatività tra questi due *software* avviene praticamente in tempo reale, ma in maniera unilaterale: se si cambia un dato in *yEd* si può vedere la modifica in *Blender*, ma non viceversa. Ogni blocco di *yED* rappresenta visivamente sia le US che le USV (vedi sopra). I modelli 3D che corrispondono a una USV sono detti *proxy* e sono di fatto il *trait d'union* tra l'utente e il dato tabellare, il sistema che permette di interrogare le *mesh* per visualizzare le informazioni a loro collegate. I *proxy* sono colorati come detto a seconda del grado di affidabilità ricostruttiva.

Queste informazioni potrebbero essere anche utilizzate per implementare il modello virtuale che si otterrà in seguito in modo tale che, navigando al suo interno, possano essere richiamate a piacere toccando degli *hotspot* interattivi, come per esempio accade nei *virtual tour*.

Dopo aver completato il processo interpretativo e approvato l'ipotesi ricostruttiva definitiva, è stato realizzato il modello di rappresentazione finale per una visualizzazione realistica.

4.4. Fase 4

Restauro virtuale. Questa fase è una conseguenza di quelle precedenti e ne raccoglie l'eredità informativa descritta sopra. Per questa operazione esistono moltissime variabili e varianti di lavorazione dei dati per cui non vi è di fatto un flusso di lavoro universale ma anzi viene adottato un processo ricostruttivo che cambia di caso in caso.²⁵ Lo scopo di questa azione è stata primariamente quella di trasformare il dato ottenuto dall'*Extended Matrix* in un modello virtuale esteticamente adatto alla diffusione dei dati al pubblico. Il senso del restauro virtuale non è soltanto dato dalla necessità di completare gli spazi mancanti e i volumi incompleti di un edificio, ma anche dalla accuratezza della rappresentazione di un determinato momento storico con le caratteri-

²⁴ DEMETRESCU 2018, p. 102.

²⁵ Si veda per esempio: LIMONCELLI 2019, pp. 70-75.

stiche architettoniche di quel tempo. Ad esse poi dovranno essere associati tutti quegli elementi di cultura materiale che ne caratterizzano la ricostruzione e che la rendono unica. Pertanto, sono anche stati ricostruiti per esempio candelabri, lucerne e alcune forme vascolari. Tutti questi modelli sono stati aggregati all'interno di un motore 3D *freeware*, *Unreal Engine 5* (UE5), che permette tra le altre cose la renderizzazione dei modelli in tempo reale. Utilizzando in *Blender* processi di modellazione poligonali *low poly*,²⁶ sono stati aggiunti dettagli e sono stati caratterizzati i materiali che compongono la struttura (intonaco, legno, terracotta, pietra). Il comportamento fisico dei materiali è stato simulato in computer grafica attraverso l'uso di *texture* – che rappresentano le informazioni cromatiche di base e sono state create da fotografie – associate a *shader* che controllano caratteristiche come riflessione, rifrazione, rugosità ecc.

In altre parole, il modello ricostruttivo viene importato in un software che permette di visualizzare scenari in tempo reale per assemblare la scenografia ricostruttiva virtuale.

È stato scelto questo tipo di soluzione,²⁷ tra le altre disponibili sul mercato, a causa dell'estrema versatilità del programma UE5 che permette da un lato il totale controllo delle luci, dei materiali, dei volumi, ecc. ma anche delle camere virtuali che si possono spostare aree all'interno di queste scenografie virtuali, della velocità di calcolo che lo contraddistingue rispetto agli altri, e delle future implementazioni possibili in termini di interazione uomo-macchina. UE5 permette infatti di realizzare delle zone sensibili all'interno della scena che si possono toccare e che possono restituire informazioni già inserite nelle tabelle dati e che nell'*Extended Matrix* erano richiamabili all'interno dei *proxy*.

4.5. Fase 5

Esportazione per la fruizione. Una volta terminato il restauro virtuale e completate tutte le operazioni di raffinazione della resa visiva, la disposizione delle luci, degli oggetti, dei materiali ecc., ci si è concentrati sull'esportazione dei dati che corrisponde all'ultima fase dell'intero *workflow*. *In primis* sono state create immagini dette *render* di alcune zone particolarmente interessanti da un punto di vista archeologico di tutto il complesso, utilizzando determinati punti di vista che poi potranno essere utilizzati per la creazione di materiali didattici, volumi, pubblicazioni, cartellonistica e comunicazioni digitali e cartacee (fig. 7); allo stesso modo è possibile giungere alla creazione di un filmato, come è avvenuto con il cortometraggio divulgato al pubblico in anteprima durante l'edizione 2020 di *tourisma*,²⁸ il salone internazionale dell'archeologia e del turismo culturale.

Per la realizzazione della clip si è immaginato di presentare il contesto in una tarda mattinata primaverile, appena dopo un forte acquazzone che ha bagnato le pietre del

²⁶ FERDANI *et alii* 2019, pp. 10-13.

²⁷ Si veda sull'argomento: BURSICH 2018, pp. 96-98.

²⁸ Proiettato domenica 23 febbraio 2020 per l'intervento: «*Da Turrus Libisonis a Porto Torres*». *Un'esperienza che unisce archeologia e paesaggio*, a cura del Comune di Porto Torres (SS).

cardo. Il video mostra una scena vuota rendendo lo spettatore il visitatore privilegiato di questo imponente edificio.

Inoltre, sono state esportate immagini panoramiche a 360° (proiezione equirettangolare) di alcuni scorci, con la finalità di creare un tour panoramico virtuale, georeferenziato, nell'area del parco archeologico. Questo sistema ha permesso di implementare le visite guidate grazie all'uso di visori di realtà virtuale collegati ad un tablet. La visita viene svolta normalmente, ma se ci si posiziona in determinati punti viene chiesto ai partecipanti di indossare i visori VR per cui una app trasmetterà all'interno dei visori l'immagine a 360° dalla ricostruzione 3D di quel preciso luogo, che si sovrapporrà alla realtà, dando la sensazione di camminare nel passato (fig. 8).

Daniele Bursich

5. CONSIDERAZIONI DI SINTESI

La ricostruzione virtuale delle Terme Centrali di Porto Torres è stata un'attività che, seppur realizzata con una precipua finalità divulgativa, si è svolta seguendo un rigoroso processo di validazione scientifica. Documentando puntualmente mediante il metodo dell'*Extended Matrix* tanto le fonti informative utilizzate quanto il processo interpretativo messo in atto, è oggi possibile disporre di un modello tridimensionale fotorealistico ad alta risoluzione dell'edificio termale turritano che, seppur precisabile sulla base di future più approfondite indagini, è valutabile in ogni sua parte tanto dalla comunità scientifica, quanto dal grande pubblico che quotidianamente visita l'*Antiquarium Turritano* e la contigua area archeologica.

In questo modo, dunque, si rendono possibili future integrazioni, modifiche o correzioni della ricostruzione virtuale, che va quindi intesa non tanto come un prodotto immutabile, quanto come uno strumento di riflessione per gli addetti ai lavori e di comprensione del monumento antico da parte dei fruitori non specialisti. Proprio nell'ottica di agevolare al meglio l'approccio al monumento antico da parte dei visitatori, si sono inoltre realizzati degli *output* di immediata comprensione, quali i *render* utilizzabili a corredo grafico di testi a stampa o di panellenistica, o il *videoclip* proiettabile tanto nell'*Antiquarium* quanto nell'ambito di attività divulgative *offsite*.

Di ancor maggior impatto sensoriale è poi senz'altro la fruizione in VR della ricostruzione, anche in questo caso utilizzabile *onsite* ed *offsite* mediante dispositivi mobili: tramite la visione delle immagini panoramiche equirettangolari e il raffronto tra le stesse e i resti monumentali, il visitatore del sito archeologico dispone di un quadro molto più diretto e ampio dell'antico e, grazie alla puntuale validazione del processo ricostruttivo, viene nel contempo dotato di uno strumento che pone le basi per considerazioni critiche sulle scelte che hanno condotto alla realizzazione del modello.

Questa nuova esperienza di studio e ricostruzione virtuale di un complesso antico fortifica la convinzione che il futuro destino delle aree archeologiche sia fortemente legato alle possibilità offerte dalle tecnologie digitali come mezzo di accrescimento

della comprensibilità dei contesti. Vari studi in corso dimostrano infatti come il tasso di fidelizzazione e di apprezzamento dei contesti aperti al pubblico da parte dei visitatori sia direttamente proporzionale alla capacità dei gestori degli stessi di offrire strumenti dei più diversi tipi (risorse umane, strumenti digitali, apparati comunicativi tradizionali) capaci di far superare la percezione dei resti antichi quale “fascinoso campo di rovine” e di farli diventare luoghi dove il vivere antico viene compreso nelle sue molteplici sfaccettature per essere proiettato nella mente del visitatore come qualcosa di riferibile alla propria esperienza quotidiana.

Ogni forma di racconto in questo senso è valida e apprezzata, da quello che può mettere in atto il personale addetto, sulla cui formazione (anche informatica) è necessario investire sempre maggiormente, a quello che, appunto, può essere fornito da strumenti di riproduzione delle antichità scomparse. Se il racconto verbale e il potenziale – anche emotivo ed empatico – del narratore appare fondamentale, la forza delle immagini, della simulazione del movimento, dei punti di vista diversificati, della ricostruzione delle luci e dei colori appaiono tutti effetti che solo le ICT offrono oggi come chiave di volta decisiva per rendere l’antico qualcosa di straordinariamente potente per l’educazione culturale delle comunità.

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

Daniele Bursich
Università degli Studi di Salerno
dbursich@unisa.it

Maria Letizia Pulcini
Direzione Regionale Musei Veneto
marialetizia.pulcini@cultura.gov.it

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

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ANGIOLILLO 1981 : S. Angiolillo, *Mosaici antichi in Italia. Sardinia*, Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Libreria dello Stato, 1981.

AZZENA 1999 : G. Azzena, Turrus Libisonis, *la città romana*, in *Luoghi e tradizioni d’Italia. Sardegna*, Roma, Editalia, 1999, pp. 268-380.

- BERTO 2022 : S. Berto, *Rilievo, Ricostruzione e Rappresentazione tridimensionale in ambito archeologico. Fruizione e valorizzazione virtuale dell'area forense di Nora*, Tesi di Dottorato, xxxiv ciclo, Università degli studi di Padova, tutor prof. G. Salemi, a.a. 2022.
- BERTO *et alii* 2021 : S. Berto, E. Demetrescu, B. Fanini, J. Bonetto, G. Salemi, *Analysis and Validation of the 3D Reconstructive Process through the Extended Matrix Framework of the Temple of the Roman Forum of Nora (Sardinia, CA)*, in «Environmental Sciences Proceedings» (2021) 10.18, [10 pp.].
- BONETTO *et alii* 2022 : J. Bonetto, R. Carlanì, A. Zara, *Il progetto e-archeo. Nuove ricostruzioni virtuali per la fruizione e la valorizzazione di Nora*, in «Quaderni Norensi» 9 (2022), pp. 355-366.
- BONETTO – ZARA 2017 : J. Bonetto, A. Zara, *The Nora Virtual Tour: an immersive visit in the ancient city*, in «Archeologia e Calcolatori» 28, 2 (2017) (= *Proceedings of the KAINUA 2017. International Conference in Honour of Professor Giuseppe Sassatelli's 70th Birthday (Bologna, 18-21 April 2017)*), a cura di S. Garagnani, A. Gaucci, Firenze, All'Insegna del Giglio, 2017), pp. 531-538.
- BONETTO – ZARA 2018a : J. Bonetto, A. Zara, *Nora Virtual Tour*, in «Quaderni Norensi» 7 (2018), pp. 211-213.
- BONETTO – ZARA 2018b : J. Bonetto, A. Zara, *Virtual Archaeology: dalla ricerca alla divulgazione dei beni culturali*, in *Livio, Padova e l'universo veneto nel bimillenario della morte dello storico*, Atti della Giornata di Studi (Padova, 19 ottobre 2017), a cura di F. Veronese, Roma, «L'Erma» di Bretschneider, 2018, pp. 189-202.
- BONINU 1984a : A. Boninu, *Note sull'impianto urbanistico di Turrìs Libisonis. Le testimonianze monumentali*, in A. Boninu, M. Le Glay, A. Mastino, *Turrìs Libisonis colonia Iulia*, Sassari, Edizioni Gallizzi, 1984, pp. 11-36.
- BONINU 1984b : A. Boninu (a cura di), *Antiquarium Turritano 1984. Introduzione alla Mostra «Un Antiquarium per la città» (Porto Torres-Sassari, 15 dicembre 1984)*, Sassari, Edizioni Gallizzi, 1984.
- BONINU *et alii* 2011 : A. Boninu, A. Pandolfi, D. Deriu, E. Petrucci, *Porto Torres. Attività di ricerca, prevenzione e tutela archeologica*, in «Erentzias» 1 (2011), pp. 330-350.
- BONINU – PANDOLFI 2012 : A. Boninu, A. Pandolfi, *Porto Torres. Colonia Turrìs Libisonis. Archeologia urbana*, Sassari, Soprintendenza per i beni archeologici per le province di Sassari e Nuoro, 2012.
- BURSICH 2018 : D. Bursich, *Appendice: La ricostruzione 3D dell'Anfiteatro di Mediolanum*, in G. Le Grottaglie, *L'anfiteatro di Mediolanum fra architettura e topografia*, Atlante tematico di topografia antica: ATTA. Rivista di studi di topografia antica 28 (2018), pp. 77-98.
- CANU 2021 : N. Canu, *Colonia Iulia Turrìs Libisonis*, in *Il tempo dei Romani. La Sardegna dal III secolo a.C. al V secolo d.C.*, a cura di R. Carboni, A.M. Corda, M. Giuman, Nuoro, Ilisso Edizioni, 2021, pp. 88-99.

- DEMETRESCU 2015 : E. Demetrescu, *Archaeological Stratigraphy as a Formal Language for Virtual Reconstruction. Theory and Practice*, in «Journal of Archaeological Science» 57 (2015), pp. 42-55.
- DEMETRESCU 2018 : E. Demetrescu, *Virtual Reconstruction as a Scientific Tool: The Extended Matrix and Source-Based Modelling Approach*, in *Digital Research and Education in Architectural Heritage*, 5th Conference, DECH 2017, and First Workshop, UHDL 2017 (Dresden, Germany, March 30-31, 2017), ed. S. Münster K. Friedrichs, F. Niebling, A. Seidel-Grzesińska, Cham (Switzerland), Springer, 2018, pp. 102-116.
- DEMETRESCU *et alii* 2016 : E. Demetrescu, D. Ferdani, N. Dell'Unto, A.-M. Leander Touati, S. Lindgren, *Reconstructing the Original Splendour of the House of Caecilius Iucundus. A Complete Methodology for Virtual Archaeology Aimed at Digital Exhibition*, in «SCIENTIFIC RESEARCH and Information Technology / Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione» 6.1 (2016), pp. 51-66.
- DEMETRESCU – FANINI 2017 : E. Demetrescu, B. Fanini, *A white-box framework to oversee archaeological virtual reconstructions in space and time: Methods and tools*, in «Journal of Archaeological Science: Reports» 14 (2017), pp. 500-514.
- DEMETRESCU – FERDANI 2021 : E. Demetrescu, D. Ferdani, *From Field Archaeology to Virtual reconstruction: A Five Step Method Using the Extended Matrix*, in «Applied Sciences» 11.5206 (2021), [23 pp.].
- D'ORIANO 2019 : R. D'Oriano, *La Sardegna e il mare*, in S. Angiolillo, R. Martorelli, M. Giuman, A. M. Corda, D. Artizzu (a cura di), *Corpora delle antichità della Sardegna, La Sardegna Romana e Altomedievale. Storia e materiali*, Sassari, Carlo Delfino Editore, 2019, pp. 33-44.
- FANINI – DEMETRESCU 2019 : B. Fanini, E. Demetrescu, *Carving Time and Space: A Mutual Stimulation of IT and Archaeology to Craft Multidimensional VR Data-Inspection*, in *EARTH 2018*, Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage, Cham (Switzerland), Springer, 2019, pp. 553-565.
- FERDANI *et alii* 2019 : D. Ferdani, E. Demetrescu, M. Cavalieri, G. Pace, S. Lenzi, *3D Modelling and Visualization in Field Archaeology. From Survey To Interpretation Of the Past Using Digital Technologies*, in «GROMA. Documenting archaeology» 4 (2019), pp. 1-21.
- GHIOTTO 2004 : A.R. Ghiotto, *L'architettura romana nelle città della Sardegna*, Roma, Edizioni Quasar, 2004.
- LIMONCELLI 2019 : M. Limoncelli, *Il restauro virtuale per la ricostruzione di ambienti antichi*, in M. Capasso (a cura di), *L'uomo e l'ambiente nel mondo antico e nell'età contemporanea*, Lecce, Pensa multimedia, 2019, pp. 69-88.
- MASTINO A. 1992 : A. Mastino, *Turris Libisonis in età romana*, in R. Caprara, A. Mastino, V. Mossa, A. Pinna, *Porto Torres e il suo volto*, Sassari, Carlo Delfino Editore 1992, pp. 9-72.

MASTINO – VISMARA 1994 : A. Mastino, C. Vismara, *Turris Libisonis*, Sassari, Carlo Delfino Editore, 1994.

NIEDDU 1988 : G. Nieddu, *Tipologia delle Terme romane in Sardegna in età tardo-antica*, in *L’Africa romana*, Atti del V convegno di Studio (Sassari, 11-13 dicembre 1987), a cura di A. Mastino, Sassari, Università degli Studi di Sassari, pp. 439-452.

Orfeo 2011 : AA.VV., *Orfeo a Porto Torres*, Porto Torres, La Grafica, 2011.

PACE – BURSICH 2021 : A. Pace, D. Bursich, *New perspectives on documenting Attic pottery*, in V. Baldoni (a cura di), *From pottery to context. Archaeology and virtual modelling*, in «Archeologia e Calcolatori» 32.2 (2021), pp. 83-94. doi 10.19282/ac.32.2.2021.08

VILLEDIEU 1984 : F. Villedieu, *Fouille d’un site romain tadif à Porto Torres, Sardaigne*, Oxford, BAR International Series, 1984.



Fig. 1. Le Terme Centrali di Porto Torres viste da nord-ovest (in alto) e da sud-ovest (in basso)

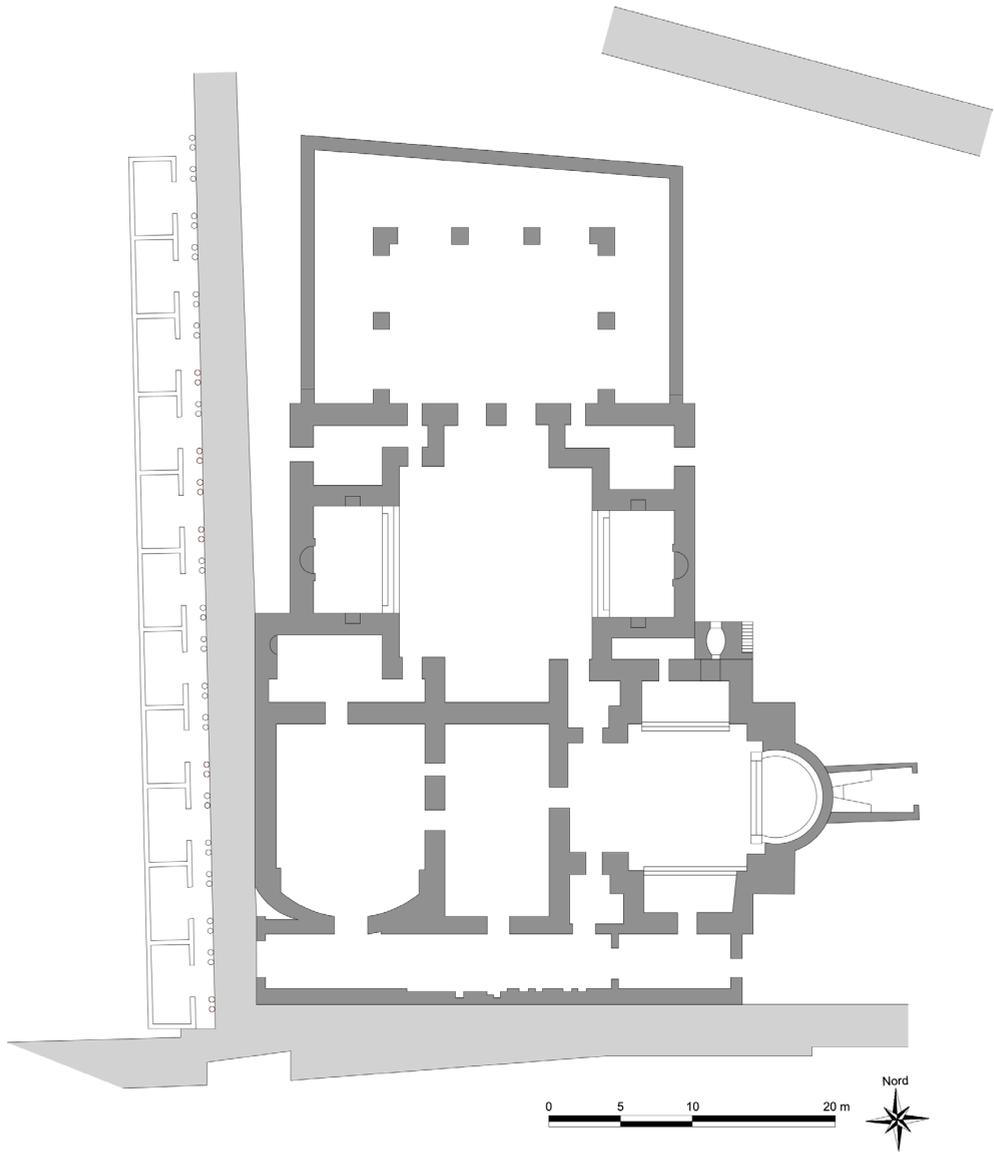


Fig. 2. Planimetria ricostruttiva del complesso delle Terme Centrali.



Fig. 3. La strada che lambisce a ovest il complesso delle Terme prima dell'anastilosi del colonnato lungo il suo margine occidentale (BONINU 1984, fig. 23, p. 44).

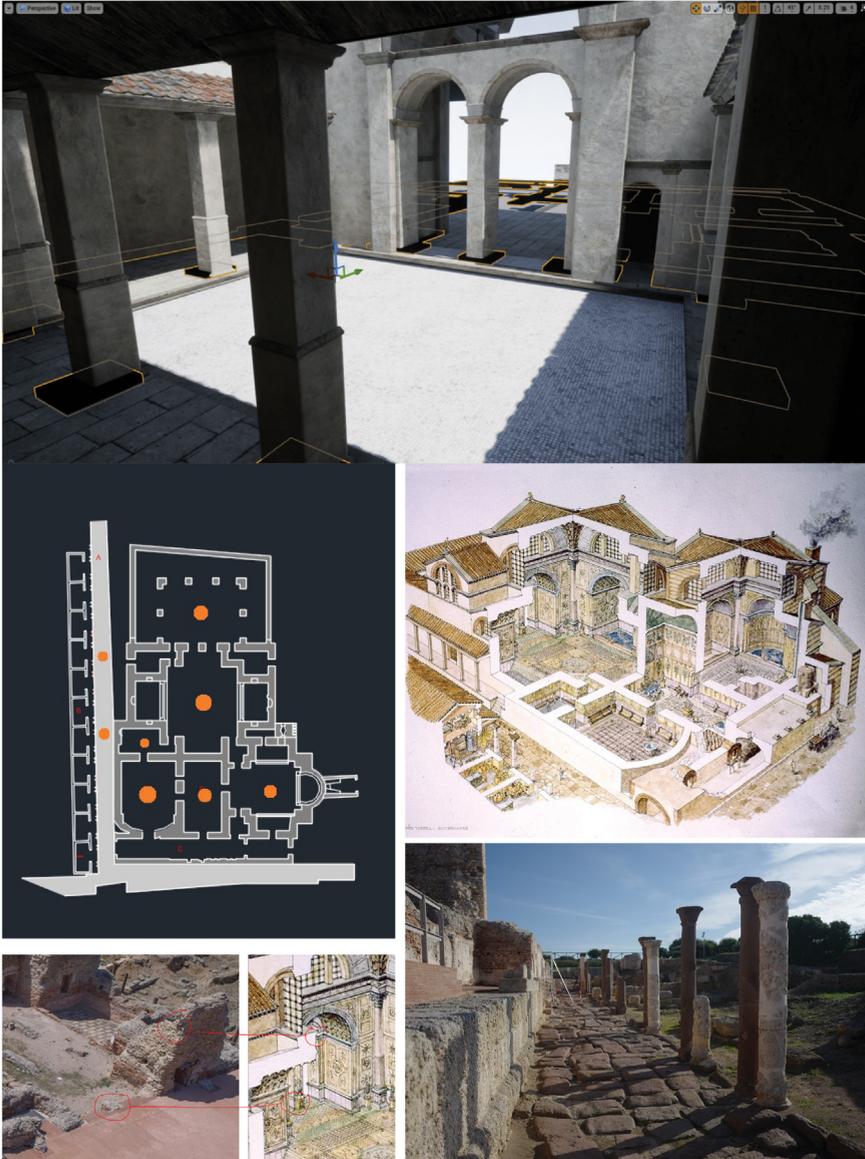


Fig. 4. Alcune fonti informative ed elementi comparativi per il restauro virtuale del complesso termale.

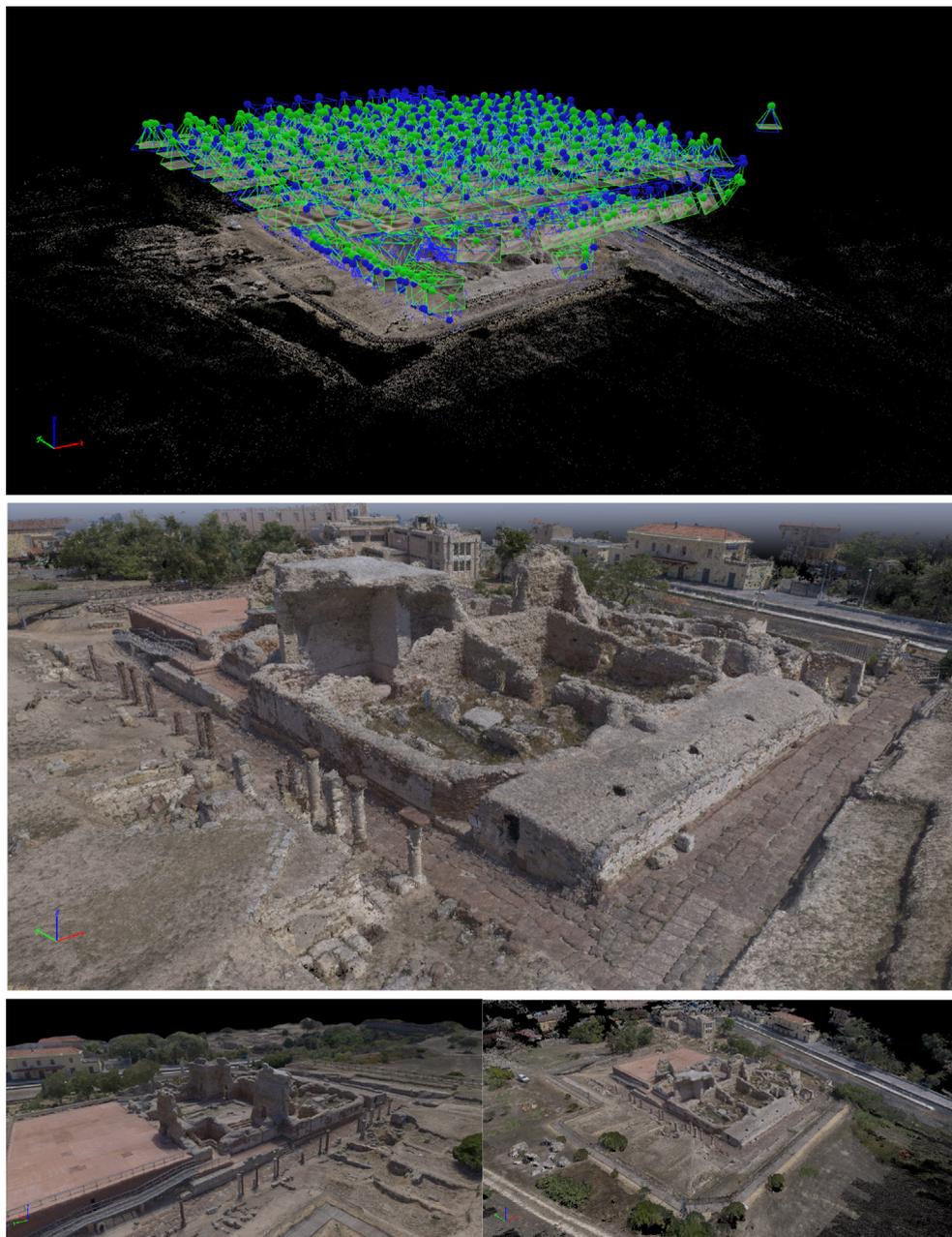


Fig. 5. Alcune fasi di elaborazione della scansione 3D da drone e la conseguente *mesh* texturizzata fotorealisticamente.

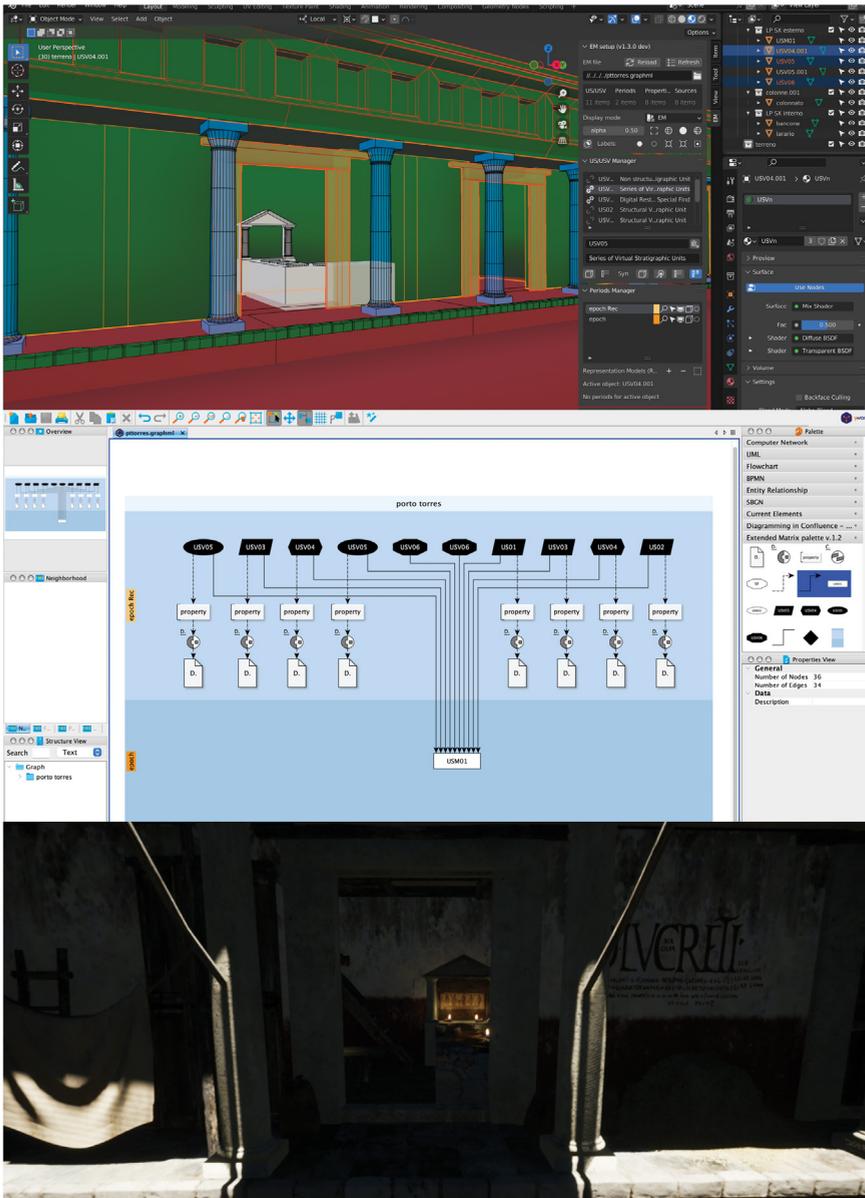


Fig. 6. *Extended Matrix*: i proxy in Blender, il grafo in yEd, e la ricostruzione finale di una delle botteghe, lungo la strada a ovest delle Terme Centrali.

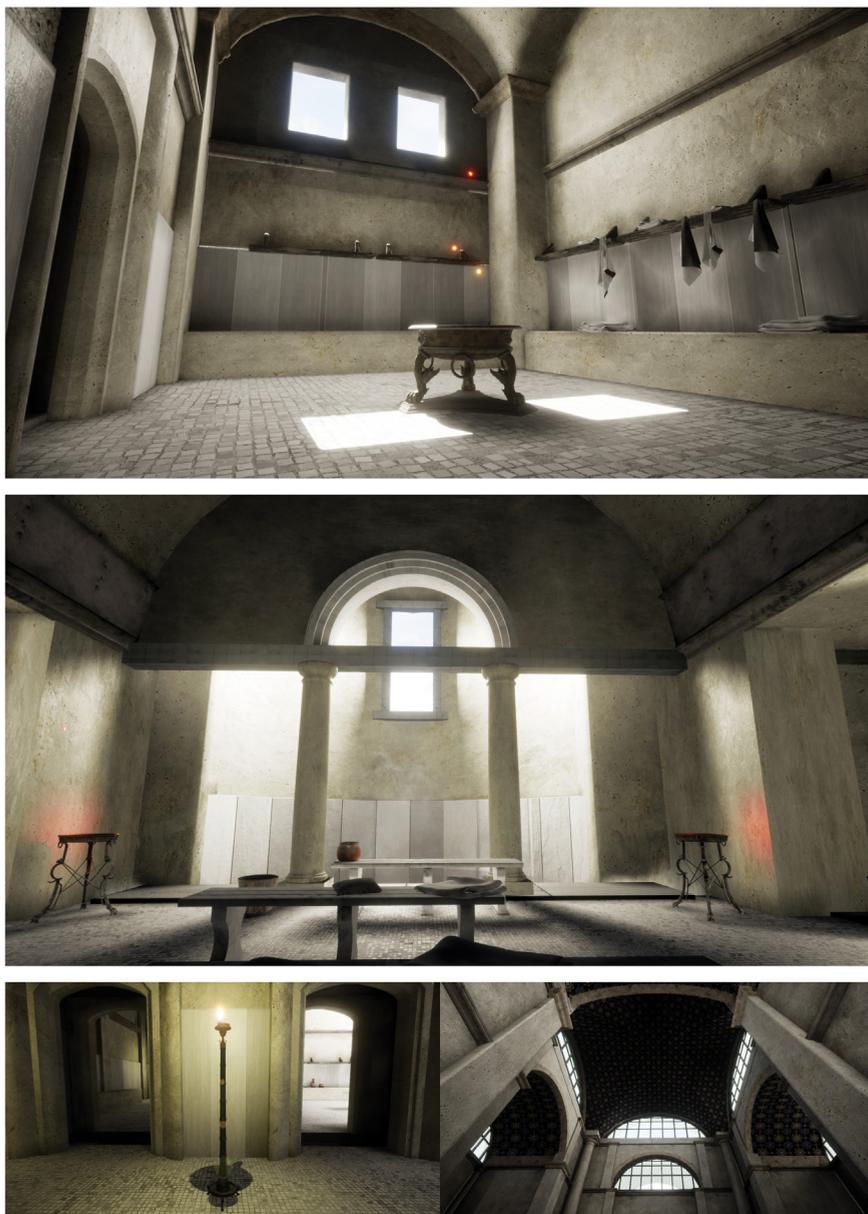


Fig. 7. Render 3D dell'interno degli ambienti delle Terme, dall'alto: spogliatoio, *tepidarium*, dettaglio di un candelabro e soffitto del *frigidarium*.

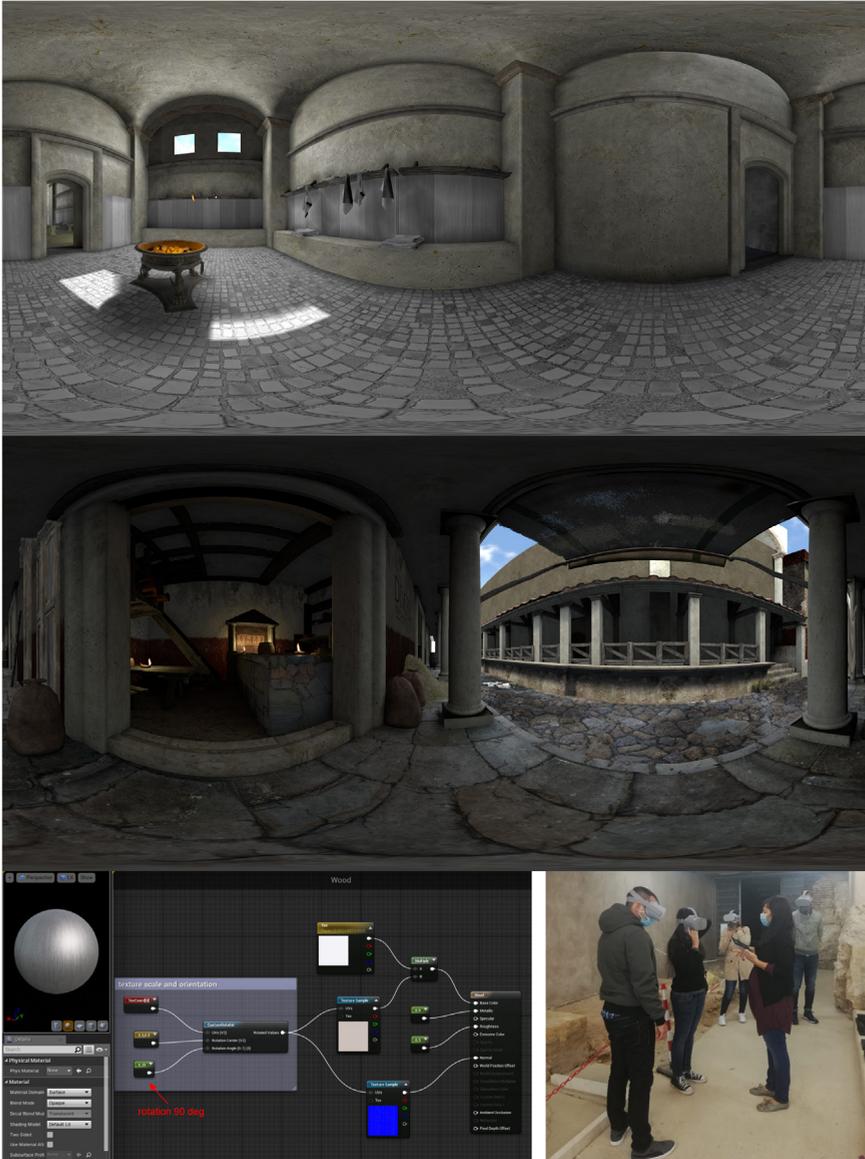


Fig. 8. Dall'alto: Esportazioni equirettangolari dell'interno e dell'esterno delle Terme; una schermata di *Unreal Engine*; la visita virtuale guidata del sito archeologico svolta all'interno delle domus sottoposte al portico d'ingresso.