

LE FORNACI ROMANE DI POLLENTIA-URBS SALVIA (URBISAGLIA-MC): UN MODELLO DI FRUIZIONE IMMERSIVA PER IL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro nasce, in accordo con la Direzione Regionale Musei Marche, come “Azione Pilota” del Piano di Gestione del Parco archeologico di *Urbs Salvia* (PERNA *et al.* 2023) ed è stato elaborato all’interno del Progetto europeo Adrion TRANSFER (<https://adriontransferplatform.cti.gr/>), progetto concretizzatosi nell’edizione di un Common Sustainable Governance Model for Archaeological Parks (PERNA 2023). Il Progetto partiva anche dalla constatazione (PERNA 2020) che approcci bottom-up sono ormai lo strumento imprescindibile di ogni attività che vuole avere un’effettiva capacità di incidere sui processi decisionali che hanno effetti sullo sviluppo dei territori. Si tratta di un percorso metodologico che dopo l’approvazione della Convenzione di Malta ha avuto significative accelerazioni grazie alla Convenzione europea del Paesaggio (CEP), che sollecita il protagonismo dei soggetti coinvolti nella definizione e nella realizzazione delle politiche paesaggistiche, e alla Convenzione quadro del Consiglio d’Europa sul valore dell’eredità culturale per la società (VOLPE 2019). Diventa ancora più importante, dunque, che l’archeologo fornisca ad un’ampia base di interessati gli strumenti utili al riconoscimento dei valori di cui il bene è portatore, affinché le comunità coinvolte nei processi decisionali si facciano portatrici della necessità della tutela e della valorizzazione. Fondamentale è quindi una comunicazione dei risultati della ricerca che sia realmente efficace e accessibile, in termini fisici e cognitivi ai diversi tipi di pubblico (PALLECCHI 2017). A tale scopo le tecnologie digitali risultano essere un ottimo strumento, utili non solo a documentare in modo preciso e accurato lo stato di fatto (CAVULLI *et al.* 2024), ma anche a comunicare in modo narrativo, emozionante e coinvolgente tale sapere (PIETRONI *et al.* 2023).

Nel Parco archeologico di *Urbs Salvia* l’“Azione Pilota”, seguendo dunque le indicazioni del Piano di Gestione, si è concentrata sulla dimensione diacronica del sito con l’obiettivo di valorizzare e comunicare contesti relativi alle fasi più antiche dell’insediamento, generalmente poco visibili e fruibili in quanto coperte dai successivi livelli di vita della città (PERNA 2024). È stato dunque scelto il complesso delle fornaci repubblicane di *Pollentia-Urbs Salvia* site a S della piazza forense della città (PERNA *et al.* 2021) e relative alla fase del *conciliabulum* (PERNA 2022). Si tratta infatti di un complesso non più visibile, coperto da un edificio repubblicano, questo stesso nel 2021 oggetto

di un progetto di restauro e musealizzazione che ha previsto di lasciare visibili proprio le strutture della fase successiva legata alla nascita della colonia graccana. La fase più antica poteva dunque essere fruita invece proprio grazie alla realizzazione di un'esperienza in Realtà Virtuale.

R.P., L.X.D.S.

2. DALLA VIRTUAL ARCHAEOLOGY ALLE SOLUZIONI IMMERSIVE PER IL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO

Negli ultimi sessant'anni lo sviluppo delle tecnologie digitali è stato talmente impattante da decretare a tutti gli effetti una vera rivoluzione (KAGERMANN, WAHLSTER 2022). Tale fenomeno infatti è stato in grado di cambiare radicalmente sia settori lavorativi, che aspetti di carattere sociale. Sin dagli anni '70 del secolo scorso anche il settore dell'archeologia è stato coinvolto da questo cambiamento (STONE 1999), ma solo a partire dagli anni '90 è stato introdotto il concetto di archeologia virtuale (REILLY 1991), aprendo la strada ad un nuovo approccio interdisciplinare capace di combinare l'archeologia tradizionale con tecniche digitali avanzate, animando il dibattito all'interno della comunità scientifica (BROUCKE *et al.* 1999; BARCELÓ 2001; FRISCHER *et al.* 2002; NICCOLUCCI *et al.* 2006). Il 2009 è stato un anno chiave per l'utilizzo delle tecnologie digitali in ambito culturale grazie alla redazione della Carta di Londra, identificando le linee guida per l'uso etico, scientifico e sostenibile (BRUSAPORCI, TRIZIO 2013). Sulla base di questo documento nel 2011 è stata redatta la Carta Internazionale di Archeologia Virtuale (LOPEZ-MENCHERO, GRANDE 2011) stabilendo i principi fondamentali per l'uso delle ricostruzioni virtuali archeologiche, promuovendo scientificità, trasparenza, interdisciplinarietà, accessibilità e sostenibilità tecnologica.

Nel rispetto di questi principi, grazie anche ad una esponenziale crescita della potenza di calcolo concomitante ad un abbassamento dei costi hardware (WARE 2012), è stato possibile trasformare l'interazione con il patrimonio archeologico, offrendo modalità innovative di apprendimento e favorendo la creazione di nuove connessioni culturali (QUATTRINI *et al.* 2018). Uno dei principali contributi della tecnologia digitale all'archeologia è la capacità di creare ricostruzioni virtuali realistiche (GUIDI *et al.* 2007; MALFITANA *et al.* 2016; GABELLONE *et al.* 2017; BRANCATO *et al.* 2023), che rendono comprensibili e accessibili al pubblico, anche ai non esperti, siti o reperti archeologici (DE FELICE, MANNINO 2022; SEMERARO *et al.* 2023; AVELLA *et al.* 2024).

Numerosi studi hanno dimostrato come il coinvolgimento emotivo può effettivamente incidere sulle capacità d'apprendimento e nello specifico come le tecnologie immersive digitali head mounted display (HMD) massimizzino questo aspetto (LEOPARDI *et al.* 2021). Infatti, è possibile riscontrare esperienze in ambito archeologico capaci di sfruttarne non sole le potenzialità narrative

(PIETRONI 2019; ŠKOLA *et al.* 2020), ma anche interattive conferendo all'utente la possibilità di esplorare mondi inaccessibili (DOLEŽAL *et al.* 2019; PLECHER *et al.* 2022; CAVULLI *et al.* 2024) o non più esistenti (BOZZELLI *et al.* 2019; CLINI *et al.* 2022), evolvendo verso forme di gamification (FERDANI *et al.* 2020; MARQUES *et al.* 2023). La realizzazione di esperienze digitali in ambito archeologico richiede veridicità e trasparenza scientifica, come indicato nella Carta di Siviglia. Recentemente, si stanno diffondendo sistemi 3D avanzati che integrano dati geometrici e informativi. Tra le metodologie principali sono notevoli, l'ArchaeoBIM, utile per la descrizione e parametrizzazione di elementi costruttivi e l'Extended Matrix, importante per tener traccia dei para-dati, giustificando le scelte ricostruttive (MANCUSO 2023).

In questo scenario si inserisce il nostro lavoro, proponendo una metodologia operativa volta non solo allo studio e ricostruzione del sito di produzione ceramica di *Pollentia-Urbs Salvia*, ma mirata specificamente a creare un'esperienza immersiva ed emozionale, ossia un Virtual Immersive Movie (VIM) (CLINI *et al.* 2024).

M.D.

3. IL CONTESTO STORICO-ARCHEOLOGICO: LE FORNACI DI *POLLENTIA-URBS SALVIA*

Delle tre principali fasi della città romana di *Urbs Salvia* l'ultima è la più visibile, quella che le fornisce il suo carattere distintivo come sito e nel paesaggio, con l'articolazione facilmente leggibile di mura, teatro, foro, complesso tempio-criptoportico e, infine, anfiteatro (PERNA 2024). La fase certamente meno visibile è quella del *conciliabulum* di III-II sec. a.C., di cui restano solo poche tracce per lo più relative ad un impianto artigianale per la produzione di ceramica, successivamente obliterato dalla costruzione di un tempio, il cosiddetto Edificio Repubblicano (PERNA *et al.* 2021; CIUCCARELLI, PERNA 2024).

Nello specifico, l'area artigianale consta dei resti di tre fornaci, collocati nell'area SO della piazza forense. Le tre fornaci rinvenute (Fig. 1), denominate A, B e C sono simili per capacità e appartengono al tipo Ia della tipologia proposta dalla CUOMO DI CAPRIO (2007). Le prime due hanno un orientamento N-S, mentre la terza ha un orientamento O-E e si imposta di fronte al *praefurnium* della fornace B. Le fornaci risultano inoltre parzialmente interrato e la struttura interna delle stesse, in relazione alle quote del coevo piano di calpestio, suggerisce che l'intera camera di combustione dei forni fosse ipogea. La loro struttura, in frammenti di laterizi e argilla, si conserva all'incirca per l'altezza della camera di combustione. All'interno, tutte e tre le fornaci presentano le tracce dei pilastri centrali, di forma ellittica, che dovevano sorreggere il piano forato, del quale tuttavia, non restano che

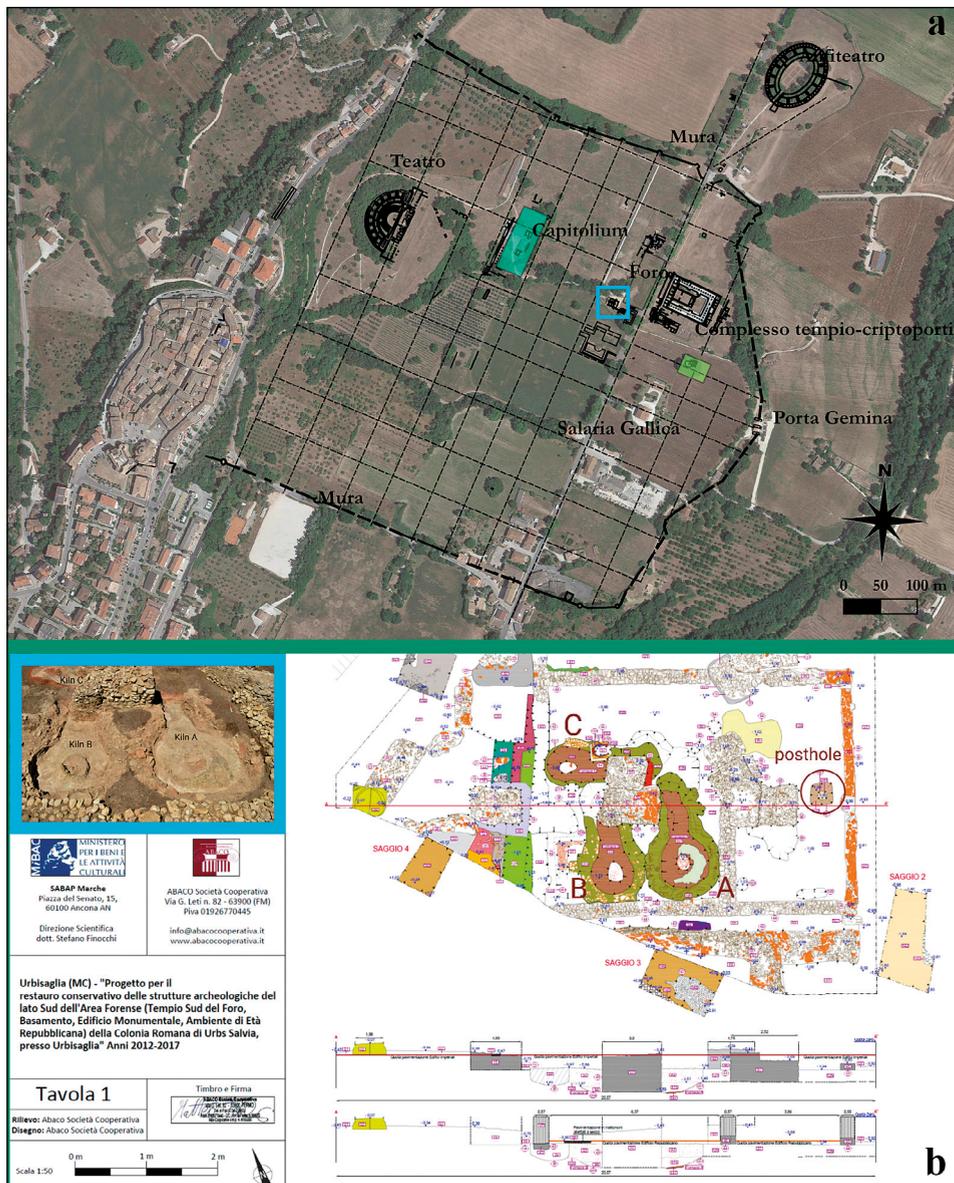


Fig. 1 – a) Localizzazione dell’area delle fornaci all’interno del Parco archeologico di *Urbs Salvia*; b) planimetria delle fornaci e immagine delle stesse a fine scavo (ABACO, Soc. coop.).

pochissimi frammenti riconoscibili. In fase con le fornaci, il piano di calpestio coevo all'uso di queste consiste in una buca per palo, situata nella porzione E dell'edificio repubblicano, in posizione centrale sul suo asse N-S.

I dati di scavo permettono di stabilire una cronologia relativa per le tre strutture, delle quali la più antica sarebbe la B, cui segue la costruzione parallela e affiancata della fornace A, che doveva funzionare contestualmente alla prima, mentre la fornace C costituisce un'aggiunta successiva alla probabile defunzionalizzazione della fornace B. Sulla base dello studio dei rinvenimenti ceramici relativi al complesso, è possibile affermare che esso abbia funzionato a cavallo tra il III e il II sec. a.C. e abbia prodotto principalmente ceramiche di uso comune e da fuoco destinate all'uso locale o, al più, ad un mercato a breve raggio (PERNA *et al.* 2016, 2021).

L.X.D.S.

4. DALLO STUDIO ALLA SUA RICOSTRUZIONE

Di recente si è molto discusso circa la definizione di “quartiere artigianale” in riferimento al raggruppamento o alla concentrazione di tracce legate alla produzione nei contesti urbani antichi (ESPOSITO, SANIDAS 2012). Le evidenze archeologiche relative agli impianti di produzione ceramica e alle loro dotazioni sono insufficienti ad un'adeguata comprensione dell'architettura di tali strutture così come ad una ricostruzione affidabile del loro funzionamento. L'identificazione di un impianto produttivo procede, nella maggior parte dei casi, dal rinvenimento di una o più fornaci, che sono, a tutti gli effetti, le strutture specifiche di un'area artigianale che meglio si conservano (HASAKI 2002), se non semplicemente dall'individuazione di scarti di lavorazione o materiali usati nei processi produttivi. A ciò si aggiunge la quasi totale assenza di fonti letterarie coeve specifiche (HASAKI 2014) e la scarsità della documentazione iconografica, in larga parte coincidente con un consistente gruppo di *pinakes* con probabile funzione votiva provenienti per la maggior parte da *Penteskouphia* (Corinto) e datate al VI sec. a.C. (HASAKI 2021). Appare evidente come tale documentazione lasci alcune consistenti lacune. Precisamente in questo vuoto si collocano gli studi etnografici e i progetti di archeologia sperimentale (PEACOCK 1982; ARNOLD 1985; GREFF 1990; CUOMO DI CAPRIO 2007; <https://atlasgreekkilns.arizona.edu/>) che consentono di dettagliare e animare gli spazi talvolta solo accennati dai resti, operazione imprescindibile soprattutto se si vuole giungere ad una ricostruzione visualizzandola concretamente, se pur virtualmente.

Relativamente alla caratterizzazione di un'area artigianale, alcuni elementi sono risultati essenziali alla contestualizzazione delle fornaci oggetto di studio. Complessi artigianali per la produzione ceramica sono, infatti, sempre caratterizzati da dotazioni per la lavorazione dell'argilla, spazi per la

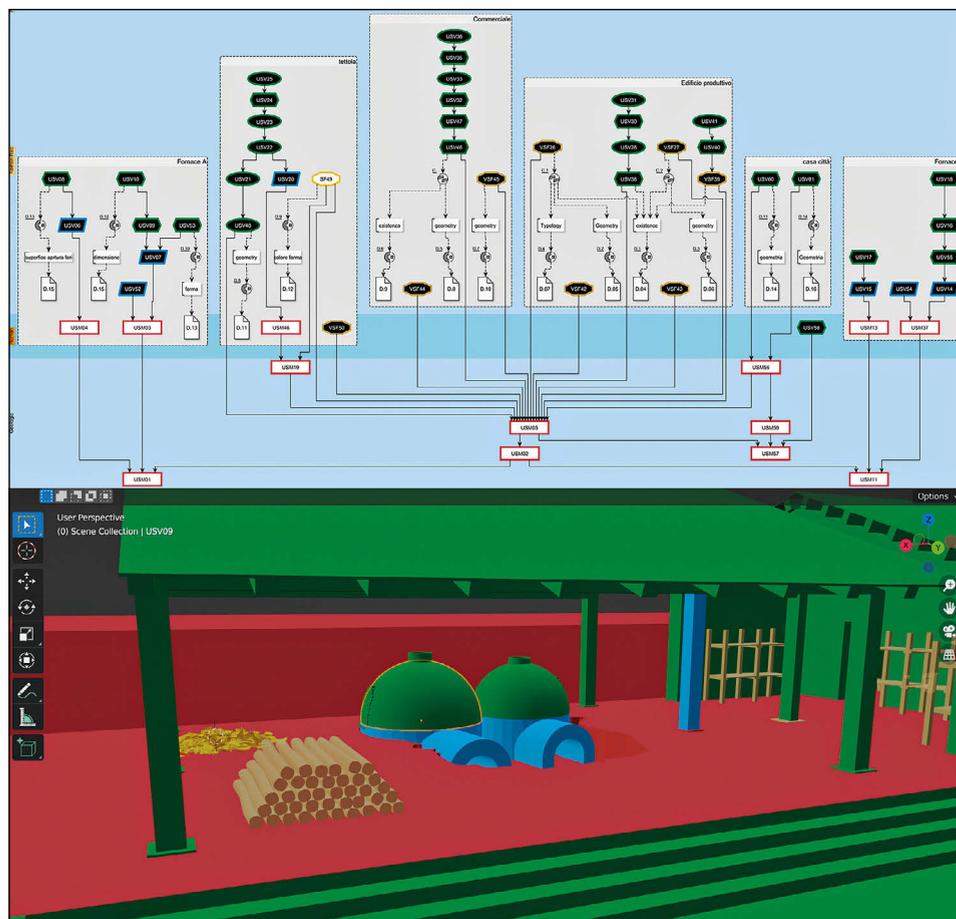


Fig. 2 – Modellazione grafica GraphML e proxy.

modellazione dei vasi e luoghi per l’immagazzinamento delle materie prime e dei prodotti. Tali aree sono poste inoltre in prossimità di vie di comunicazione che ne agevolano l’approvvigionamento e gli scambi commerciali e possono trovarsi, specie nelle fasi embrionali di un abitato, frammiste alle aree abitative (PEACOCK 1982; HASAKI 2002, 2011). Pertanto, alle fornaci repubblicane di *Pollentia-Urbs Salvia* sono stati affiancati, a scopo di contestualizzazione dell’esperienza, una bottega da vasaio e un luogo di immagazzinamento o vendita dei vasi prodotti. L’area si affaccia inoltre su una strada che la separa da una zona a carattere abitativo-artigianale in corrispondenza del foro della città, come stanno confermando gli scavi in corso.

Riguardo alle attività in tale zona, sulla base di studi archeologici ed etnografici, si è stabilito che, per il tipo di produzione presente a *Pollentia-Urbs Salvia* nel periodo di riferimento, l'unità lavorativa di riferimento fosse quella di una "small family-based workshop industry" (PEACOCK 1982; ARNOLD 1985; HASAKI 2021). Tutto il lavoro ricostruttivo è stato supportato da una modellazione 3D proxy, intesa come strumento d'indagine più che di mera rappresentazione. È stata seguita una metodologie iterativa di modellazione 3D e verifica archeologica, giungendo ad una prima rappresentazione virtuale caratterizzata da un livello di dettaglio volumetrico, utile a reiterare in modo speditivo il processo. A tale impianto si lega anche il sistema informativo delle fonti indagate, facendo emergere il grado d'attendibilità mediante Extended Matrix (DEMETRESCU *et al.* 2023) (Fig. 2) combinando la modellazione 3D in Blender con un sistema grafico in GraphML

L.X.D.S.

5. UN VIRTUAL IMMERSIVE MOVIE PER LA FRUIZIONE DELLE "FORNACI DI POLLENTIA-URBS SALVIA"

Il cuore di questo progetto riguarda la realizzazione di un'esperienza volta a rendere accessibile al pubblico di non esperti non solo il lavoro scientifico di ricostruzione del sito archeologico di *Urbs Salvia*, ma anche a far comprendere come avveniva il ciclo produttivo della ceramica. Per massimizzare il coinvolgimento emotivo dell'utente si è deciso di realizzare un'applicazione immersiva, favorendo non solo la fruizione passiva della narrazione, ma introducendo anche sezioni attive dove l'utente è portato ad interagire con l'ambiente virtuale.

Al fine di gestire l'intero processo realizzativo il workflow è stato strutturato seguendo le principali fasi della lavorazione cinematografica: pre-produzione, produzione e post-produzione (BUCCHERI 2003). L'intera lavorazione ha visto coinvolti oltre agli autori di questo contributo, numerosi attori con competenze specifiche relative allo scavo del sito e/o alla sua gestione e tutela, archeologi sperimentali, esperti in comunicazione dei beni culturali, professionisti di videomaking, musicisti, attori, traduttori ed esperti di stampe 3D.

M.D.

5.1 *Pre-produzione*

La fase di pre-produzione è volta alla definizione degli aspetti narrativi e comunicativi ed è risultata essenziale, non solo per progettare il tipo di contenuto da veicolare, ma anche per programmare la realizzazione di tutti gli elementi della sfera audiovisiva. Tale processo è stato eseguito attraverso quattro passi distinti. Il primo è stato caratterizzato dalla realizzazione dello script, individuando quattro temi centrali: il ciclo produttivo, i luoghi di

produzione, gli strumenti e gli oggetti prodotti. La seconda fase ha visto la redazione dello storytelling, in accordo con le teorie di DiBLASIO, DiBLASIO (1983), necessario per l'individuazione delle strategie narrative con cui veicolare le tematiche già individuate. Nello specifico si è optato per un approccio descrittivo e didattico. La narrazione incede mediante una voce fuoricampo che descrive ciò che l'utente osserva, coinvolgendolo nel processo di produzione della ceramica e mantenendo alta la sua attenzione.

La terza fase si caratterizza per la realizzazione dello storyboard, volto a dare una dimensione visiva alla strategia narrativa prevista. Lo studio interdisciplinare ha consentito, dunque, non solo la determinazione degli ambienti all'interno dei quali si sarebbe svolta l'esperienza, ma anche l'individuazione di quattro scene principali. Si tratta, nello specifico di un segmento introduttivo narrativo inscenato all'esterno, di uno esplorativo ambientato in una bottega da vasaio, di un più lungo segmento composto di scene filmate relative al lavoro presso le fornaci e, infine, di un segmento interattivo, dove l'utente si trova all'interno di uno spazio adibito all'immagazzinamento e alla vendita dei vasi. La quarta fase, l'animatic, ha visto la schematizzazione delle animazioni e transizioni tra le differenti scene. Come ultimo atto è stato individuato l'hardware di riferimento in relazione all'esperienza progettata. Nello specifico è stato scelto il visore VR Meta Quest 3, HMD stand alone capace di garantire anche esperienze a sei gradi di libertà, ossia rotazione e traslazione del punto di vista, contenendo i costi di acquisto e gestione.

L.X.D.S.

5.2 Produzione

Identificati gli aspetti narrativi dell'esperienza è stato possibile procedere nella realizzazione dei contenuti sia visivi che uditivi. Riguardo il primo aspetto, è stata posta grande attenzione alla resa realistica, caratteristica che risulta centrale al fine di avere un coinvolgimento efficace dell'utente. Data la necessità di realizzare scene caratterizzate dalla presenza di attori e altre da interazione con l'ambiente virtuale, sono state realizzate due tipologie di output visivo, ossia riprese video cinematografiche su green screen e ambienti immersivi 3D. Da un punto di vista operativo, il primo passo è stato la realizzazione dell'ambiente virtuale 3D realistico, il quale è stato usato poi come base per le riprese cinematografiche. La ricerca di realismo è stata condotta mediante la realizzazione di dettagli e oggetti essenziali a far sembrare l'ambiente 3D realmente vissuto e utilizzato. Tale processo pone le sue basi sul modello proxy realizzato in fase di studio e ha visto l'impiego di tecniche di modellazione avanzate, eseguite in ambiente di modellazione 3D Blender.

Nello specifico è stato eseguito il 3D sculpting per la realizzazione delle forme organiche delle fornaci, del terreno e delle scarpate. Con pennelli

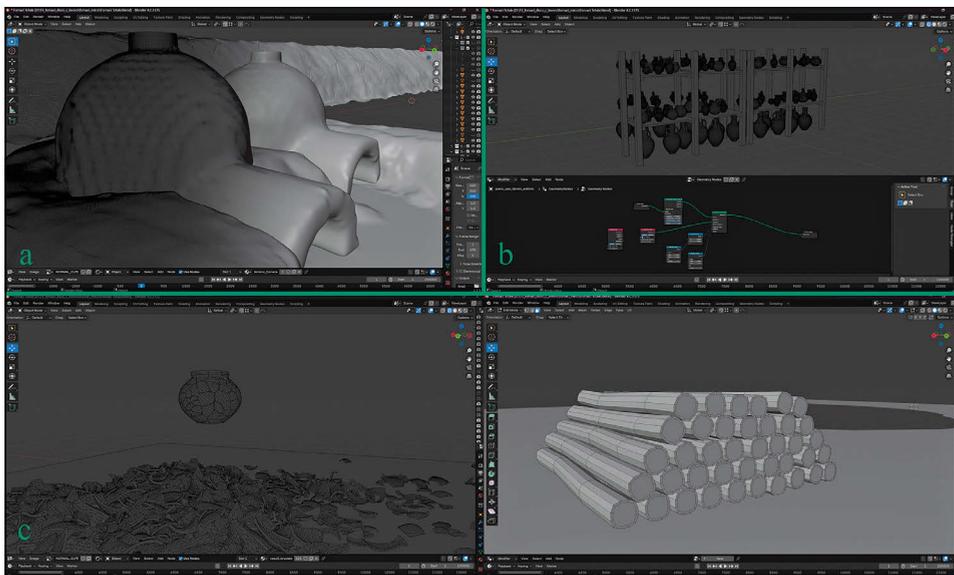


Fig. 3 – Modellazione avanzata: a) sculpting; b) geometry node; c) gravità.

3D è stato possibile modellare come con l'argilla, aggiungendo o togliendo materiale per creare dettagli, mentre in seguito è stato eseguito un voxel remeshing per uniformare le giunture tra elementi. Per la naturale disposizione di oggetti, come tronchi o scarti di lavorazione ceramica, sono state eseguite delle simulazioni fisiche. È stata riprodotta la caduta di tronchi su un piano statico, assegnando ad essi massa e volume per ottenere una collocazione verosimile. I cocci rotti sono stati ottenuti frammentando vasi interi in modo casuale, simulando una rottura per impatto. L'utilizzo dei Geometry Nodes di Blender ha permesso di gestire parametricamente la disposizione casuale di vasi e case, variandone posizione, rotazione, scala e colore (Fig. 3). La modellazione si è conclusa con la generazione degli altri oggetti necessari ad una resa realistica della scena (Fig. 4).

Tutti i modelli sono stati esportati in formato FBX e importati in Adobe Substance Painter. Anche in questa fase, l'obiettivo principale è stato il realismo. Oltre a sfruttare procedure automatiche per la generazione di dettagli cromatici, è stato eseguito un accurato lavoro di texture painting. Utilizzando degli stencil, sono state aggiunte macchie e schizzi di acqua e argilla per rappresentare in modo realistico un ambiente destinato ad attività produttive (Fig. 5). Completata la scena virtuale è stato possibile eseguire le riprese in green screen delle scene di carico, alimentazione e scarico della fornace. Esse sono state eseguite in teatro di posa su green screen, utilizzando 10kw di



Fig. 4 – Utensili necessari ad una resa realistica dell'ambiente.

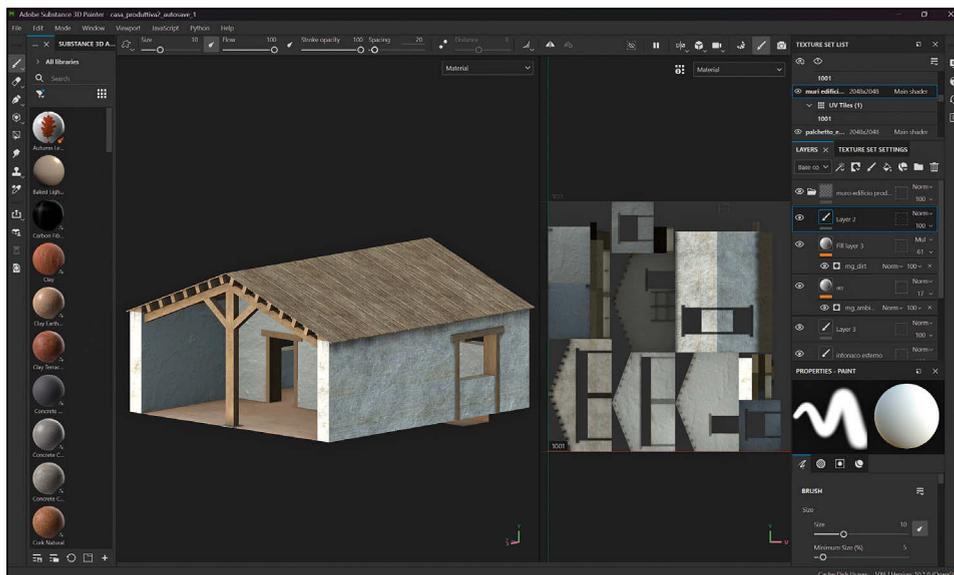


Fig. 5 – Shading in Substance Painter.

luce alogena ed una luce vibrante led rossa per simulare il fuoco. Mediante l'utilizzo di un mixer video Black magic è stato possibile visualizzare in tempo reale la performance all'interno dell'ambiente virtuale, mentre le riprese sono state eseguite tramite una camera Red Komodo, dotata di ottica Canon

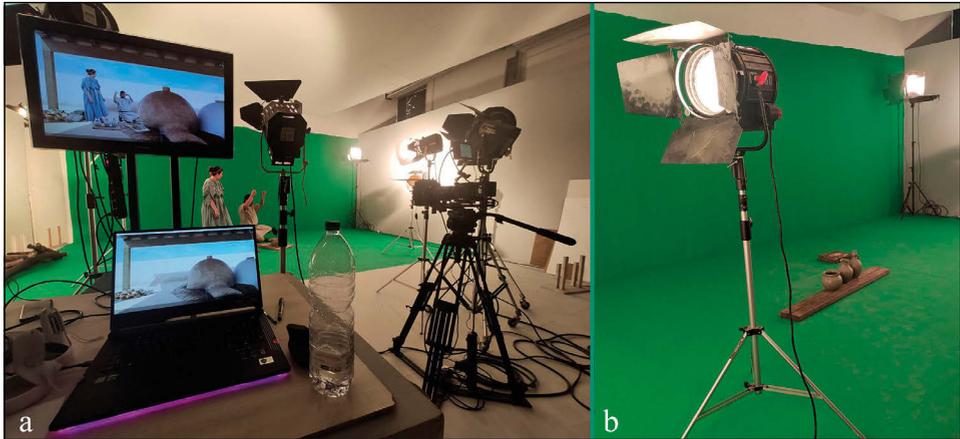


Fig. 6 – a) Riprese cinematografiche; b) set con props di scena.

24-70 serie L con focale 50 mm, ottenendo un girato finale di 6k. Riguardo i props di scena, sono stati utilizzati dei vasi stampati in 3D a partire dagli stessi modelli inseriti nella scena virtuale e verniciati per simulare il colore dell'argilla cruda e cotta e sono stati impiegati anche tronchi, mattoni e calce reali per simulare l'alimentazione e la chiusura/apertura della fornace (Fig. 6). L'ultimo aspetto legato alla fase di produzione ha visto la realizzazione del comparto audio, con quattro tracce con sonorità antiche e suoni legati a oggetti ceramici; riguardo la voce narrante, ne sono state registrate due fuori campo in italiano e in inglese.

M.D.

5.3 *Post-produzione*

In fase di post-produzione è stata realizzata l'intera applicazione immersiva; nello specifico è stata realizzata una prima fase di generazione di contenuti adatti all'hardware immersivo, seguita dalla loro integrazione con il sistema di interazione virtuale. Il primo passo ha visto l'esecuzione del processo di compositing video al fine di unire al meglio il girato cinematografico con l'ambiente virtuale per ottenere il video immersivo. Sono state renderizzate due viste 3D panoramiche a 360° in Blender, corrispondenti a due angolazioni del prefurnio: una frontale per le scene di carico e scarico e una di tre quarti per la scena di alimentazione della fornace. Le riprese cinematografiche con sfondo verde sono state elaborate tramite la tecnica Chroma Key nei software DaVinci e Adobe After Effects, poi importate in Blender per inserire le distorsioni coerenti con l'immagine panoramica e facilitare la

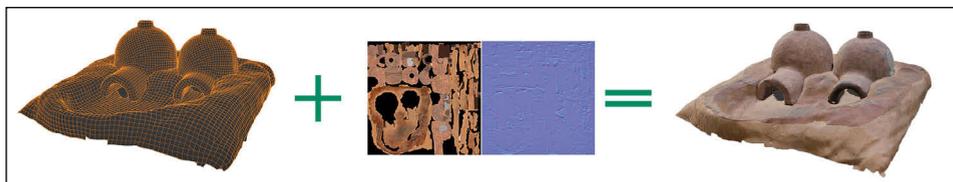


Fig. 7 – Processo di compositing video.

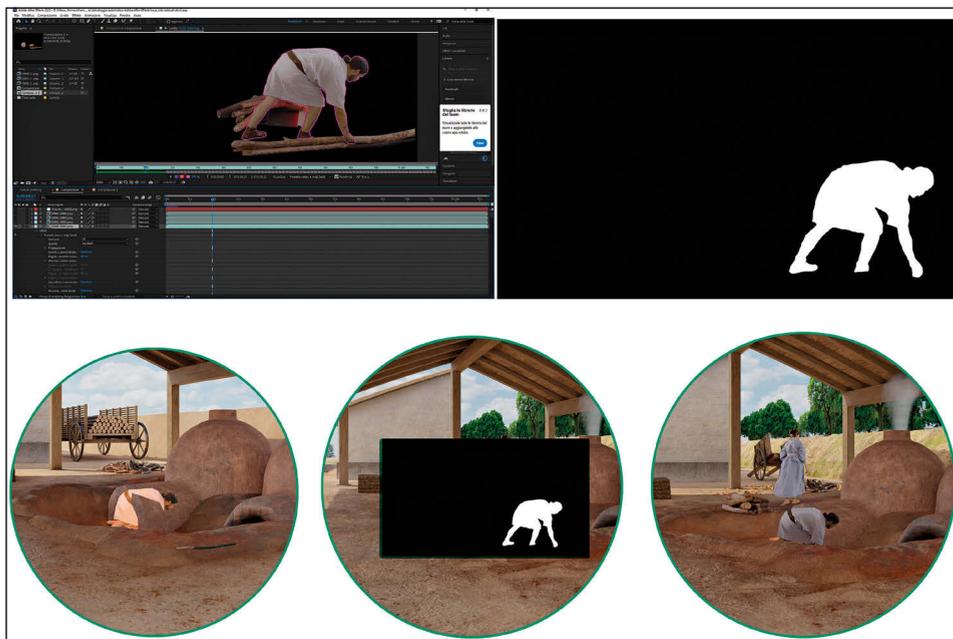


Fig. 8 – Ottimizzazione/retopology delle fornaci.

color correction (Fig. 7). Le clip reali sono state sovrapposte a quelle virtuali utilizzando Adobe Premiere e After Effects. Infine, sono state inserite transizioni a nero tra le scene e realizzato il messaggio sonoro, combinando voce fuori campo, musiche e rumori di fondo, come lo scoppiettio del fuoco e il cinguettio degli uccelli.

Per giungere all'effettiva realizzazione dell'esperienza immersiva è stata applicata una specifica metodologia volta all'ottimizzazione dei modelli 3D per la visualizzazione real-time, la retopology, eseguita mediante il software Blender. Questo passaggio è fondamentale per garantire il corretto funzionamento dell'applicativo, in accordo con le potenzialità dell'hardware



Fig. 9 – Momenti principali dell’esperienza immersiva.

immersivo selezionato (<https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/po-art-direction/>); tale processo è stato applicato agli oggetti realizzati mediante tecniche di sculpting. Per ciascun modello, caratterizzato da un numero estremamente elevato di poligoni, nell’ordine del milione (highpoly), è stata effettuata una conversione a bassa risoluzione (lowpoly), ottenendo una topologia composta da poche migliaia di poligoni. Il processo di retopology è stato articolato nelle fasi di remeshing, riduzione dei poligoni, unwrapping, creazione del sistema di coordinate UV e baking, ossia la renderizzazione delle nuove mappe (Fig. 8).

Questo ha permesso di mantenere un alto livello di dettaglio visivo nonostante la riduzione della complessità del modello (LIASKOS *et al.* 2022). Ottenuti tutti i materiali necessari all’esperienza, è stato montato l’applicativo all’interno della game engine Unity, realizzando anche il sistema di fruizione e interazione con l’ambiente virtuale. È stata posta particolare attenzione al sistema d’interazione realizzato mediante l’utilizzo di hand tracking, al fine di eliminare il filtro del controller e rendere l’esperienza diretta e intuitiva. Un

altro elemento notevole è stato la realizzazione della scena interattiva, posta a conclusione dell'esperienza, in cui ponendo dei vasi su di una tegola illuminata se ne richiama una breve descrizione audio, lasciando così all'utente la libertà di scegliere cosa sentire. La logica di funzionamento è stata progettata per evitare sovrapposizioni di descrizioni, prevenire la ripetizione di contenuti e garantire che l'esperienza si concluda solo dopo che tutti i contenuti siano stati ascoltati. Per aumentare il coinvolgimento, è stata integrata una simulazione fisica realistica che prevede la rottura del vaso, oggetto interattivo, in caso di caduta a causa della gravità sul pavimento. L'intera esperienza è disponibile in italiano e in inglese; per consentire la selezione della lingua, è stata creata una schermata iniziale con una user interface (UI) diegetica (LLANOS, JØRGENSEN 2011) caratterizzata da una scritta e due pulsanti virtuali integrati nell'ambiente 3D (Fig. 9).

M.D.

6. USER EVALUATION

Al fine di rilevare l'efficacia dell'esperienza digitale, sono state implementate attività di user evaluations tra febbraio e novembre 2024, finalizzate ad indagare aspetti relativi all'usabilità del dispositivo digitale e all'efficacia comunicativa del contenuto trasmesso. Le azioni di testing hanno previsto l'attuazione di indagini osservanti (SOLIMA 2013) mediante un observation template funzionale alla raccolta di notazioni e commenti degli operatori che hanno svolto l'attività e la somministrazione di un questionario reso disponibile sia in formato cartaceo che digitale. Le azioni svolte hanno visto la partecipazione di 33 fruitori in totale: la maggior parte, proveniente dalla regione Marche, si colloca in una fascia di età tra i 20 e i 39 anni e comprende diplomati, laureati e possessori di titoli post-laurea. Dalle indagini effettuate, risultano molto positive le valutazioni in riferimento all'usabilità e all'attrattività tecnologica del device e si registra un alto grado di soddisfazione in relazione alla visual experience fruita, pur rilevando alcune criticità dovute ad uno scorretto utilizzo del visore. Il 75% degli utenti si ritiene inoltre molto soddisfatto dell'esperienza interattiva proposta: la possibilità di selezionare e manipolare oggetti digitalizzati ha stimolato un coinvolgimento particolarmente attivo da parte dei fruitori ed è stata apprezzata anche la "limitazione" delle tipologie di gesti interattivi consentiti in un'ottica di semplificazione della fruizione. In relazione al contenuto, elevati sono stati sia il livello di soddisfazione in merito a chiarezza e comprensibilità di quanto veicolato, sia l'apprezzamento delle modalità di narrazione scelte, con particolare riferimento alla presenza di personaggi nello spazio virtuale. Molto limitato è stato il riscontro di casi di VR motion sickness, ossia una sensazione di nausea e disorientamento causata dal conflitto tra il movimento percepito visivamente

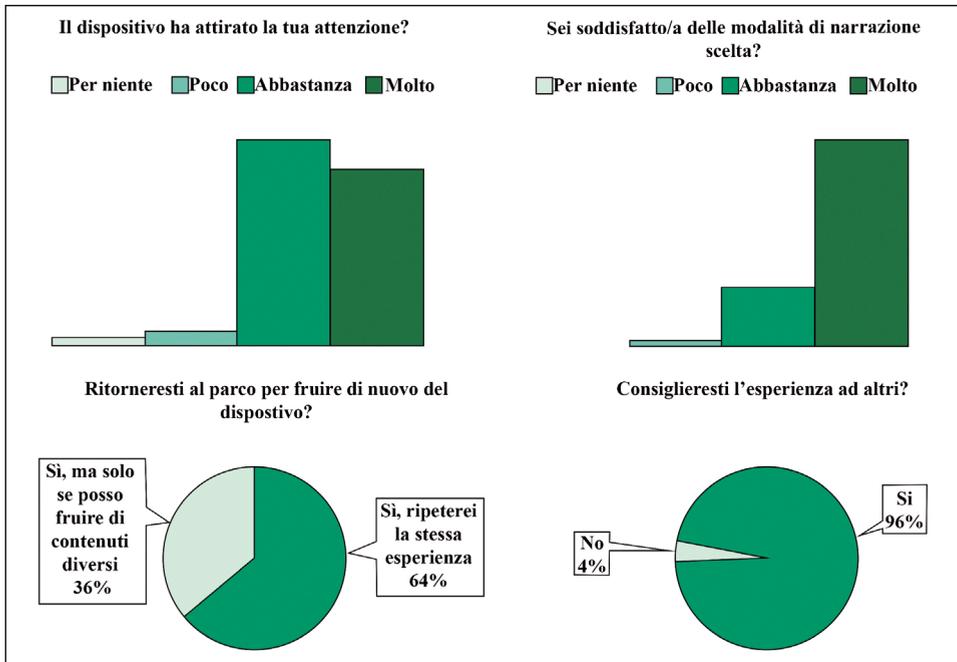


Fig. 10 – Risultati della user evaluation.

nel mondo virtuale e la mancanza di movimento fisico del corpo (CHATTHA *et al.* 2020). Si evidenzia infine che il 64% degli utenti dichiara che ripeterebbe la stessa esperienza fruendo nuovamente dei medesimi contenuti e che oltre il 96% dei fruitori la consiglierebbe ad altri (Fig. 10).

E.C.

7. CONCLUSIONI

L'esperienza immersiva propone un nuovo modo di fruire il patrimonio culturale del Parco archeologico di *Urbs Salvia*. La ricostruzione delle fornaci, del loro contesto e delle attività che vi si svolgevano è stata effettuata mediante un approccio largamente interdisciplinare che, partendo dall'analisi dei dati di scavo, ha trovato nelle tecnologie finalizzate alla realizzazione dell'esperienza immersiva quegli strumenti utili a spingere la ricerca ben oltre quello che, di norma, ci si sarebbe aspettati dalla pubblicazione dei dati di scavo, in uno sforzo di sintesi, contestualizzazione e narrazione che si potrebbe definire "archeologia sperimentale virtuale". Il workflow presentato si distingue come un esempio di buona pratica nell'uso consapevole del

patrimonio digitale grazie all'integrazione di tutti gli elementi fondamentali che lo definiscono tale (CLINI, QUATTRINI 2020). Nonostante l'assenza di acquisizione digitale dei contesti di scavo, la ricostruzione archeologica 3D è stata sviluppata insieme agli archeologi, partendo dall'approfondita documentazione dello scavo stratigrafico e tenendone traccia mediante un sistema informato. Inoltre, è stata dedicata particolare attenzione alla gestione dell'applicativo. Da un lato, la progettazione dell'esperienza ha incluso accorgimenti tecnici come la durata contenuta, il reset automatico, l'uso del hand tracking e l'adozione di un dispositivo standalone per facilitare gestione e manutenzione. Dall'altro, sono state organizzate giornate di formazione per gli operatori del Parco archeologico, mirate a garantire un utilizzo efficace del sistema. Tale caratteristica sottolinea l'inserimento dell'esperienza immersiva in un più articolato e coerente progetto di sviluppo dell'area del Parco legato alla realizzazione del Piano di Gestione. Non si è dunque trattato di un intervento occasionale, ma di una fase della realizzazione di una strategia di sviluppo coerente che, emergendo dal Progetto scientifico ed essendo condivisa da tutti i soggetti coinvolti nella gestione del Parco, a partire dalla DRM Marche, ne garantisce anche la sostenibilità nel tempo.

Riguardo agli sviluppi futuri, in accordo con i risultati dei test di gradimento, si prevede la possibilità di espandere la componente interattiva, tendendo verso la realizzazione di una app di gaming immersiva; Inoltre, l'integrazione delle tecnologie LLM (Large Language Models) nell'app permetterà, a fronte di un leggero aumento dei costi di gestione, di offrire agli utenti un ulteriore grado di interazione e conoscenza. Nello specifico, al termine dell'esperienza, si potrà integrare una sezione Q&A, testuale o vocale, concedendo agli utenti la possibilità di approfondire gli argomenti trattati e lo sviluppo dell'app stessa, in diverse lingue e registri. Tale ampliamento potenzierà l'accessibilità e le capacità comunicative dell'app, comprendendo tutto il sistema informativo utilizzato per lo studio e sviluppo dell'esperienza.

E.C., P.C., M.D., R.P., L.X.D.S.

ROBERTO PERNA, LUDOVICA XAVIER DE SILVA

Università degli Studi di Macerata

roberto.perna@unimc.it, ludovica.xaviersilva@gmail.com

PAOLO CLINI, MIRCO D'ALESSIO

Università Politecnica delle Marche

p.clini@univpm.it, m.dalessio@staff.univpm.it

ELENA CAPODAGLIO

Marchingegno s.r.l

e.capodaglio@marchingegno.it

BIBLIOGRAFIA

- ARNOLD D.E. 1985, *Ceramic Theory and Cultural Process*, *New Studies in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- AVELLA F., CELLURA G., VALPREDÀ F. 2024, *Un serious game per la ricostruzione del Tempio di G di Selinunte*, in F. BERGAMO, A. CALANDRIELLO, M. CIAMMAICHELLA, I. FRISO, F. GAY, G. LIVA, C. MONTELEONE (eds.), *Misura/Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, Milano, Franco Angeli, 791-814.
- BARCELÓ J.A. 2001, *Virtual Reality for archaeological explanation beyond "picturesque" reconstruction*, «Archeologia e Calcolatori», 12, 221-244 (<https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF12/12Barcelo.pdf>).
- BOZZELLI G., RAIA A., RICCIARDI S., DE NINO M., BARILE N., PERRELLA M., TRAMONTANO M., PAGANO A., PALOMBINI A. 2019, *An integrated VR/AR framework for user-centric interactive experience of cultural heritage: The ArkaeVision project*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 15 (<https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00124>).
- BRANCATO R., LAMANNA C., MIRTO V., MANGANELLI L. 2023, *Digital technologies and the archaeological topography of Castellito (Sicily): The reconstruction of a Roman villa*, «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 185-206 (<https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.10>).
- BROUCKE P., FORTE M., SILIOTTI A., BOMMELAER J.-F. 1999, *Virtual Archaeology: Re-creating ancient worlds*, «American Journal of Archaeology» (<https://doi.org/10.2307/506978>).
- BRUSAPORCI S., TRIZIO I. 2013, *La "Carta di Londra" e il patrimonio architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*, «SCIRES-IT - SCientific RESearch and Information Technology», 3, 2, 55-68 (<https://doi.org/10.2423/i22394303v3n2p55>).
- BUCCHERI V. 2003, *Il film. Dalla sceneggiatura alla distribuzione*, Roma, Carocci Editore.
- CAVULLI F., MANNU C., VANZI M., MAZZURANA M. 2024, *Tecniche di modellazione 3D per una documentazione accurata delle incisioni rupestri: confronto tra structure from motion e stereofotometria*, «Archeologia e Calcolatori», 35.1, 349-368 (<https://doi.org/10.19282/ac.35.1.2024.22>).
- CHATTHA U.A., JANJUA U.I., ANWAR F., MADNI T.M., CHEEMA M.F., JANJUA S.I. 2020, *Motion sickness in Virtual Reality: An empirical evaluation*, «IEEE Access», 8, 130486-130499 (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007076>).
- CIUCCARELLI M.R., PERNA R. 2024, *Romanizzazione nel Piceno centro-meridionale: esempi e modelli*, «L'Idomeneo», 37, 107-120.
- CLINI P., ANGELONI R., D'ALESSIO M., BARDELLI G., FINOCCHI S. 2024, *Un virtual immersive movie per la fruizione del patrimonio archeologico: il viaggio nella "tomba della regina" di Sirolo-Numana*, «Archeologia e Calcolatori», 35.1, 473-490 (<https://doi.org/10.19282/ac.35.1.2024.28>).
- CLINI P., ANGELONI R., D'ALESSIO M., PERNA R., SFORZINI D. 2022, *La digitalizzazione per la documentazione, lo studio e la fruizione di un sito archeologico. La VR experience del teatro di Ricina*, in A. ARRIGHETTI, R. PANSINI (eds.), *Sistemi e tecniche di documentazione, gestione e valorizzazione dell'architettura storica. Alcune recenti esperienze*, «Archeologia e Calcolatori», 33.1, 279-296 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.15>).
- CLINI P., QUATTRINI R. 2020, *Umanesimo digitale e bene comune? Linee guida e riflessioni per una salvezza possibile*, «Capitale Culturale», 157-175 (<https://doi.org/10.13138/2039-2362/2529>).
- CUOMO DI CAPRIO N. 2007, *Ceramica in archeologia 2: Antiche tecniche di lavorazione e moderni metodi di indagine*, Roma, L'Erma di Bretschneider.

- DE FELICE G., MANNINO K. 2022, *I bronzi di Punta del Serrone (BR): dalla ricerca archeologica alla comunicazione multimediale*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 279-298 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.15>).
- DEMETRESCU E., FANINI B., COCCA E. 2023, *Un flusso di lavoro di disseminazione online per il processo scientifico in CH attraverso Semantic 3D: strumenti open source EMtools ed EMviq*, «Heritage», 6, 2, 1264-1276 (<https://doi.org/10.3390/heritage6020069>).
- DI BLASIO M., DI BLASIO R. 1983, *Constructing a cultural context through museum storytelling*, «Roundtable Reports», 8, 3, 7-9.
- DOLEŽAL M., VLACHOS M., SECCI M., DEMESTICHA S., SKARLATOS D., LIAROKAPIS F. 2019, *Understanding underwater photogrammetry for maritime archaeology through immersive virtual reality*, in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Copernicus GmbH, 85-91 (<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W10-85-2019>).
- ESPOSITO A., SANIDAS G.M. 2012, «*Quartiers*» artisanaux en Grèce ancienne: une perspective méditerranéenne, Villeneuve d'Ascq, Pu Septentrion.
- FERDANI D., FANINI B., PICCIOLI M.C., CARBONI F., VIGLIAROLO P. 2020, *3D reconstruction and validation of historical background for immersive VR applications and games: The case study of the Forum of Augustus in Rome*, «Journal of Cultural Heritage», 43, 129-143 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.12.004>).
- FRISCHER B., NICCOLUCCI F., RYAN N., BARCELÓ J.A. 2002, *From CVR to CVRO: The past, present, and future of cultural virtual reality*, in *Virtual Archaeology Between Scientific Research and Territorial Marketing, Proceedings of the VAST EuroConference*, Oxford, Archaeopress.
- GABELLONE F., FERRARI I., GIURI F. 2017, *A new contribution for the reconstructive study of the theatre of Taormina Progetto "Via Traiana" View project Silk Road Project*, in *IMEKO International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (Lecce 2017)* (<https://www.researchgate.net/publication/320651265>).
- GREFF G. 1990, *Les potiers du site gallo-romain de Bliesbruck (Moselle): reconstruction expérimentale de fours et production céramique*, in *Archéologie expérimentale. Tome 1 – Le feu: le métal, la céramique. Actes du Colloque International Experimentation en archéologie: bilan et perspective (Paris 1988)*, Paris, Errance, 214-225.
- GUIDI G., FRISCHER B., LUCENTI I. 2007, *Rome reborn-virtualizing the ancient imperial Rome*, in *Workshop on 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, Trento, Fondazione Bruno Kessler.
- HASAKI E. 2002, *Ceramic Kilns in Ancient Greece: Technology and Organization of Ceramic Workshops*, PhD Thesis, University of Cincinnati.
- HASAKI E. 2011, *Crafting spaces: Archaeological, ethnographic, and ethnoarchaeological studies of spatial organisation in pottery workshops in Greece and Tunisia*, in M.L. LAWALL, J. LUND (eds.), *Pottery in the Archaeological Record: Greece and Beyond. Acts of the International Colloquium held at the Danish and Canadian Institutes in Athens*, Aarhus, Aarhus University Press, 12-28.
- HASAKI E. 2014, *Potters and their wheels in ancient Greece: Skills and secrets in communities of practice*, in M. DENTI, M. VILLETTE (eds.), *Archéologie des espaces artisanaux. Fouiller et comprendre les gestes des potiers. Actes du Colloque International de Rennes*, Lattes, ADAL, 293-314.
- HASAKI E. 2021, *Potters at Work in Ancient Corint. Industry, Religion, and Penteskouphia Pinakes*, Princeton, Hesperia Supplement, 51.
- KAGERMANN H., WAHLSTER W. 2022, *Ten Years of Industrie 4.0.*, «Sci», 4, 3 (<https://doi.org/10.3390/sci4030026>).
- LEOPARDI A., CECCACCI S., MENGONI M., NASPETTI S., GAMBELLI D., OZTURK E., ZANOLI R. 2021, *X-reality technologies for museums: A comparative evaluation based on presence and visitors experience through user studies*, «Journal of Cultural Heritage», 47, 188-198 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.10.005>).

- LIASKOS O., MITSIGKOLA S., ARAPAKOPOULOS A., PAPATZANAKIS G., GINNIS A., PAPADOPOULOS C., PEPPA S., REMOUNDOS G. 2022, *Development of the Virtual Reality application: "the ships of Navarino"*, «Applied Sciences (Switzerland)», 12,7 (<https://doi.org/10.3390/app12073541>).
- LLANOS S.C., JØRGENSEN K. 2011, *Do players prefer integrated user interfaces? A qualitative study of game UI design issues*, in *Proceedings of DiGRA 2011 Conference: Think Design Play* (<https://dl.digra.org/index.php/dl/article/view/514/514>).
- LOPEZ-MENCHERO V.M., GRANDE A. 2011, *The principles of the Seville Charter*, in *CIPA Symposium Proceedings*, 2-6 (<https://www.cipaheritagedocumentation.org/wp-content/uploads/2018/12/L%20C3%B3pez-Mencherero-Grande-The-principles-of-the-Seville-Charter.pdf>).
- MALFITANA D., GABELLONE F., CACCIAGUERRA G., FERRARI I., GIURI F., PANTELLARO C. 2016, *Critical reading of surviving structures starting from old studies for new reconstructive proposal of the Roman theatre of Catania*, in J.L. LERMA, M. CABRELLES, *8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation ARQUEOLÓGICA 2.0*, Valencia, Editorial Universitat Politècnica de València, 155-161 (<https://doi.org/10.4995/arqueologica8.2016.3556>).
- MANCUSO G. 2023, *ArchaeoBIM ed Extended Matrix. Analisi e potenzialità di due processi per l'elaborazione di modelli informativi*, «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 123-142 (<https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.07>).
- MARQUES C.G., PEDRO J.P., ARAÚJO I. 2023, *A systematic literature review of gamification in/for Cultural Heritage: Leveling up, going beyond*, «Heritage», 6, 8, 5935-5951 (<https://doi.org/10.3390/heritage6080312>).
- NICCOLUCCI F., BEACHAM R., DENARD H. 2006, *An introduction to the London Charter*, in M. IOANNIDES, D. ARNOLD, F. NICCOLUCCI, K. MANIA (eds.), *The E-volution of ICTechnology in Cultural Heritage, Papers from the Joint Event CIPA/VAST/EG/EuroMed Event*, Nicosia Cyprus, Archaeolingua/EPOCH (https://www.london-charter.org/media/files/beacham-denard-niccolucci_intro.pdf).
- PALLECCHI S. 2017, *Raccogliere l'archeologia: strategie e tecniche per la comunicazione dei risultati delle ricerche archeologiche*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- PEACOCK D.P.S. 1982, *Pottery in the Roman World: An Ethnoarchaeological Approach*, New York, Addison-Wesley Longman.
- PERNA R. 2020, *Introduzione*, in R. PERNA, M. GIULIODORI, R. CARMENATI, J. PICCININI (eds.), *Roma e il mondo adriatico. Dalla ricerca archeologica alla pianificazione del territorio*, Roma, Quasar, 9-13.
- PERNA R. 2022, *Il foro di Pollentia-Urbs Salvia tra l'età repubblicana e imperiale*, «Picus», 42, 159-192.
- PERNA R. 2023, *Common Sustainable Governance Model for Archaeological Parks*, Macerata, EUM.
- PERNA R. 2024, *Pollentia-Urbs Salvia*, in R. PERNA, S. FINOCCHI, C. CAPPONI (eds.), *Carta archeologica della Provincia di Macerata (CAM-M)*, Macerata, EUM, 513-517.
- PERNA R., CINGOLANI S., TUBALDI V., CAPRADOSI V., XAVIER DE SILVA L. 2016, *I contesti repubblicani della colonia di Pollentia-Urbs Salvia: l'area forense*, «Rei Cretariae Romanae Fautorum Acta», 44, 267-280.
- PERNA R., FINOCCHI S., CINGOLANI S., PIERANTONI I., GAMBERONI C., XAVIER DE SILVA L. 2023, *Management plan and pilot action for the archaeological park of Urbs Salvia (Urbisaglia)*, in PERNA 2023, 151-163.
- PERNA R., POSTRIOTI G., GIULIODORI M., TADOLTI M., TUBALDI V., XAVIER DE SILVA L. 2021, *Fornaci e produzioni ceramiche a Pollentia-Urbs Salvia in età repubblicana*, in D. RIGATO, M. MANGARDI, M. VITELLI CASELLA (eds.), *Produzioni artigianali in area adriatica: manufatti, ateliers e attori (III sec. a.C.-V sec. d.C.)*, Pessac, Ausonius Éditions, 380-394.

- PIETRONI E. 2019, *Experience design, virtual reality and media hybridization for the digital communication inside museums*, «Applied System Innovation», 2, 4, 1-34 (<https://doi.org/10.3390/asi2040035>).
- PIETRONI E., MENCONERO S., BOTTI C., GHEDINI F. 2023, *e-Archeo: A pilot national project to valorize italian archaeological parks through digital and virtual reality technologies*, «Applied System Innovation», 6, 38 (<https://doi.org/10.3390/asi6020038>).
- PLECHER D.A., KEIL L., KOST G., FIEDERLING M., EICHHORN C., KLINKER G. 2022, *Exploring underwater archaeology findings with a diving simulator in virtual reality*, «Frontiers in Virtual Reality», 3, 1-17 (<https://doi.org/10.3389/frvir.2022.901335>).
- QUATTRINI R., FRAPPICINI N., NESPECA R. 2018, *ARCHEOGate: un portale web per la catalogazione e la fruizione dell'archeologia delle Marche*, in R. SALERNO (ed.), *Rappresentazione materiale/immateriale-Drawing as (in) tangible representation. 40° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione*, Milano, Gangemi Editore, 1349-1358.
- REILLY P. 1991, *Towards a virtual archaeology*, in CAA90. *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, BAR International Series 565, Oxford, Tempus Reparatum, 132-139.
- SEMERARO G., MANNINO K., RIA V. 2023, *A statue of Athena in the sanctuary of Apollo in Hierapolis (Phrygia): From the fragments to the 3D reconstruction*, «Archeologia e Calcolatori», 34.2, 297-316 (<https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.16>).
- ŠKOLA F., RIZVIĆ S., COZZA M., BARBIERI L., BRUNO F., SKARLATOS D., LIAROKAPIS F. 2020, *Virtual reality with 360-video storytelling in cultural heritage: Study of presence, engagement, and immersion*, «Sensors (Switzerland)», 20, 20, 1-17 (<https://doi.org/10.3390/s20205851>).
- SOLIMA L. 2013, *Fatti, più che parole: l'indagine osservante e l'analisi del comportamento di fruizione del visitatore museale*, «Mercati e Competitività», 4, 103-125.
- STONE R.J. 1999, *Virtual heritage*, «UNESCO's World Heritage Magazine», 18-20.
- VOLPE G. 2019, *Archeologia al futuro*, in M. NICOLUCCI, C. BONACCI, C. MOLDUCCI (eds.), *Archeologia pubblica in Italia*, Firenze, Firenze University Press, 81-92.
- WARE C. 2012, *Information Visualization, Third Edition: Perception for Design*, Burlington, Morgan Kaufmann.

ABSTRACT

This research showcases the use of immersive digital technologies to enhance cultural heritage engagement, focusing on the archaeological site of Urbs Salvia, Italy. The project uses Virtual Reality (VR) to reconstruct and narrate the ancient ceramic production kilns of *Pollentia-Urbs Salvia*. The implemented activity aligns with the goals of the European Adrion TRANSFER project, ensuring a coherent and sustainable strategy for the archaeological park site. Through interdisciplinary methods, the team developed a Virtual Immersive Movie (VIM) combining detailed 3D modeling, texturing, and simulations with cinematic green-screen footage. The virtual environment, designed for Meta Quest 3 headsets, includes both passive storytelling and active user interaction, enabling participants to explore reconstructed spaces and understand the ceramic production process. Advanced techniques in Blender and Unity ensured a realistic and engaging experience. User testing with 33 participants revealed high satisfaction rates regarding usability, visual appeal, and narrative clarity, with minimal instances of discomfort. The project sets a benchmark for integrating digital tools in cultural heritage, transforming traditional archaeological presentation into an accessible, immersive format. Future developments include expanding interactivity, incorporating gaming elements, and integrating AI-driven language models for multilingual real-time interaction, fostering inclusivity and sustainable heritage promotion.