

UN VIRTUAL IMMERSIVE MOVIE PER LA FRUIZIONE DEL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO: IL VIAGGIO NELLA “TOMBA DELLA REGINA” DI SIROLO-NUMANA

1. INTRODUZIONE

Comunicare l’archeologia in maniera efficace significa rafforzare il valore identitario di un territorio, ma anche favorire la creazione di reti tra luoghi della cultura diversi (QUATTRINI *et al.* 2018). L’attrattività del paesaggio culturale e archeologico passa infatti attraverso una sua adeguata narrazione, che può essere veicolata anche tramite soluzioni digitali. Numerose sono le esperienze in ambito archeologico che si basano sulla ricostruzione virtuale di interi siti o singoli manufatti; ipotesi ricostruttive che sono frutto di rigorosi processi di studio, che spesso partono dalla documentazione tridimensionale dei resti per generare rappresentazioni coerenti e legittimate dalle stesse evidenze archeologiche (BOSCHI 2022). Inoltre, grazie alle tecnologie della realtà estesa, la divulgazione di tali ipotesi ricostruttive può essere effettuata sfruttando diverse modalità di visualizzazione e interazione, in grado di veicolare contestualmente la rappresentazione dell’oggetto e il suo racconto (KYRLITSIAS *et al.* 2020).

Il presente contributo si inserisce in tale ambito introducendo un’esperienza di Realtà Virtuale (VR) per l’area de “I Pini” di Sirolo-Numana, collocata nell’ambito del Parco regionale del Monte Conero (Marche, Italia). Tale sito è caratterizzato dalla presenza di numerose sepolture, tra cui emerge il circolo funerario noto come “Tomba della Regina”. Il progetto di valorizzazione presentato parte dallo studio e dalla digitalizzazione di alcuni reperti appartenenti al corredo funebre e dalla ricostruzione virtuale delle fosse, per arrivare alla realizzazione di un’esperienza immersiva accompagnata dalla voce narrante della “Regina” e da musiche originali. L’intero lavoro è stato realizzato nell’ambito del Progetto “Archeopaesaggio al Conero”, finalizzato alla valorizzazione del patrimonio archeologico del Parco del Conero e alla messa in rete delle strutture museali dell’area archeologica de “I Pini”.

R.A.

2. VIRTUAL ARCHAEOLOGY E SOLUZIONI IMMERSIVE PER IL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO

Frutto di un lungo dibattito in seno alla comunità scientifica (BARCELÓ *et al.* 2000; BARCELÓ 2001; BEACHAM *et al.* 2006), la London Charter (2009) ha definito le linee guida per l’uso delle tecnologie digitali nell’ambito della rappresentazione virtuale del patrimonio culturale, affermando l’esigenza del

rigore tecnico e intellettuale e della trasparenza metodologica nella visualizzazione virtuale dei beni culturali. Tale documento ha costituito il quadro teorico per la redazione della Carta Internazionale di Archeologia Virtuale di Siviglia (2011), i cui principi includono l'interdisciplinarietà, la definizione di linee guida mirate a fornire al pubblico una maggiore comprensione del patrimonio archeologico e l'individuazione di criteri per misurare la qualità dei progetti realizzati nel campo dell'archeologia virtuale.

Seguendo tali principi, le esperienze virtuali stanno effettivamente trasformando le modalità di interazione con il patrimonio archeologico, offrendo innovative opportunità di apprendimento e generando nuove connessioni culturali. Ad esempio, sempre più numerose sono le esperienze di VR che permettono la fruizione di un sito archeologico tramite l'esplorazione immersiva della sua rappresentazione tridimensionale e di una sua ipotesi ricostruttiva (CLINI *et al.* 2022). Focalizzandosi sul tema dell'archeologia funeraria, ambito di studio del presente contributo, progetti di documentazione digitale (BALDONI 2021b; SILANI 2021; ZAMPIERI 2021) e di fruizione virtuale (TACCOLA *et al.* 2021) possono offrire un efficace supporto allo studio e alla divulgazione scientifica, proponendo narrazioni di forte impatto emotivo ed elevato valore comunicativo (FORTE, BELTRAMI 2000).

Da tempo, si discute sulle influenze percettive, interattive e psicocognitive derivanti dall'esperienza del patrimonio attraverso l'archeologia virtuale. Questi dibattiti sono frequentemente guidati da archeologi ed esperti nel campo dei beni culturali, i quali sempre più attivamente contribuiscono allo sviluppo della disciplina agendo sia come utenti sia come sviluppatori (FORTE 2004). In GABELLONE *et al.* 2016, accanto al tema della correttezza filologica della ricostruzione virtuale, si affrontano proprio i temi relativi alla modalità di coinvolgimento del visitatore e all'aspetto emozionale della narrazione. In particolare, nell'esperienza proposta per la cappella di Maia e la tomba di Kha (Museo Egizio di Torino) il livello di coinvolgimento offerto dalla visione passiva, più basso di quello raggiungibile tramite soluzioni interattive, è compensato da un approccio emotivo che coinvolge lo spettatore in un percorso informativo, di cui diviene partecipe proprio perché emotivamente coinvolto. Questo è reso possibile grazie all'uso di rappresentazioni iperrealistiche, di effetti visivi e di tecniche cinematografiche che aggiungono emozione al contenuto scientifico (GABELLONE *et al.* 2017).

Un altro esempio di narrazione basata sulla ricostruzione virtuale è quello proposto in DE FELICE, MANNINO 2022. In questo caso, i modelli digitali derivanti dalle scansioni laser di una selezione dei bronzi di Punta del Serrone sono utilizzati come base per la generazione di modelli ricostruttivi. Tali modelli costituiscono quindi il principale asset nell'elaborazione di *Rotami preziosi. Una ballata del mare profondo*, un video in computer grafica realizzato ibridando diversi linguaggi e stili propri della creatività digitale al

fine di riconnettere i momenti della storia dei bronzi e i temi storico-artistici di cui sono portatori.

Come affermato nella Carta di Siviglia, di un progetto di archeologia virtuale pensato per dei visitatori deve essere misurata l'efficacia nell'offrire un'esperienza coinvolgente e nello stimolare un processo di apprendimento, che susciti interesse per gli argomenti trattati. A tale scopo, in RESTA, KARACAN 2020 viene valutata la relazione tra la tecnologia interattiva e l'esperienza utente, concentrandosi su come la narrazione digitale migliori l'esperienza di visita.

Il presente contributo si inserisce così in tale ambito, proponendo per il contesto della "Tomba della Regina" di Sirolo-Numana un'esperienza di archeologia virtuale, realizzata grazie agli sforzi collaborativi di archeologi, esperti di digitalizzazione del patrimonio culturale e di diverse figure professionali dell'industria dell'intrattenimento.

R.A.

3. IL CONTESTO STORICO-ARCHEOLOGICO: LA "TOMBA DELLA REGINA" DI SIROLO-NUMANA

L'antico centro piceno di Numana è ubicato alle pendici sud-orientali del Monte Conero, in corrispondenza degli odierni Comuni di Sirolo e Numana (AN). Tracce di frequentazione dell'area sono note già a partire dal Neolitico antico, mentre i pochi resti indagati dell'abitato piceno sono concentrati nel centro storico di Numana. La maggior parte delle evidenze archeologiche relative alla fase picena proviene dalle necropoli sparse sui territori dei due comuni, che hanno restituito circa 2000 sepolture databili tra il IX secolo a.C. e la fase di romanizzazione, avvenuta nel tardo III-II secolo a.C. (FINOCCHI 2018) (Fig. 1). Allo stato attuale delle conoscenze le necropoli sembrano tuttora riferibili ad un unico insediamento, il cui progressivo sviluppo da centro

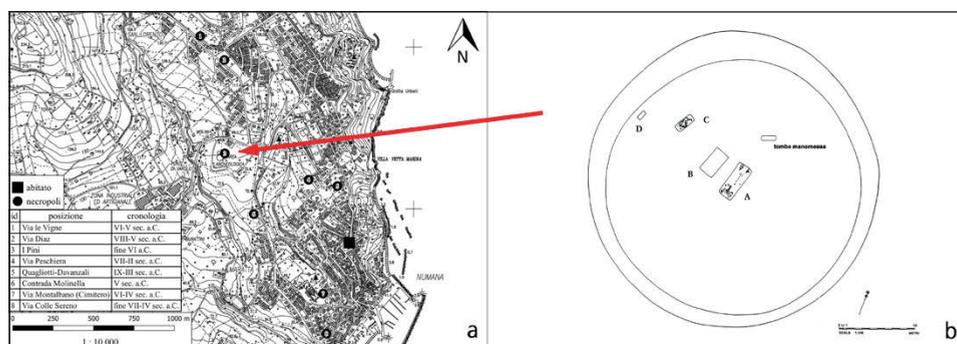


Fig. 1 – a) Pianta delle necropoli di Numana; b) planimetria del circolo 1 dell'area "I Pini" di Sirolo, o "Tomba della Regina".

proiettato verso l'entroterra a scalo portuale di notevole rilievo, a partire dal VI-V secolo a.C., può aver influito sull'impianto delle sepolture entro aree tra loro anche molto distanti (BARDELLI *et al.* 2023, 320-325). Dal punto di vista del rituale funerario, le sepolture si caratterizzano per la quasi totale prevalenza dell'inumazione entro fossa terragna e sono di norma accompagnate da corredi di composizione e ricchezza variabili a seconda delle fasi cronologiche, nonché del genere, dell'età e del rango sociale dei defunti. Tra il VII e il V secolo a.C. si diffuse l'uso di raggruppare alcune tombe entro fossati anulari di diametro variabile, come attestato anche in altri centri dell'Italia preromana. Si tratta di sepolture in buona parte di stampo gentilizio, destinate con ogni probabilità a gruppi famigliari e indicative dell'avvenuta strutturazione sociale all'interno della comunità locale a cavallo tra l'epoca orientalizzante e quella arcaica.

Degli oltre 25 circoli funerari individuati tra Sirolo e Numana, solo alcuni sono stati scavati quasi per intero. Tra di essi figura ad esempio il "Circolo delle Fibule", che conteneva sepolture di armati e di individui femminili caratterizzati da corredi estremamente ricchi di elementi di ornamento, tra i quali si annoverano oltre 1200 fibule (BARDELLI 2022a). Il circolo funerario più celebre è però quello scavato da M. Landolfi nell'estate del 1989 a Sirolo in località "I Pini", comunemente noto come "Tomba della Regina" (LANDOLFI 1997, 2001, 2004, 2007). Si tratta di un circolo di circa 40 m di diametro che racchiudeva al suo interno almeno quattro fosse, delle quali tre (A-C) sono senz'altro da ricondurre a un unico contesto funerario.

All'interno della fossa centrale (A) era stata deposta una donna di età adulta, sepolta al di sotto di due carri a due ruote in parte smontati e accompagnata da un ricchissimo corredo personale, al quale appartenevano circa 1000 fibule e numerosi elementi di ornamento in vari materiali (soprattutto bronzo, materia dura animale e ambra), oltre a strumenti per la filatura e la tessitura. Presso la testa era inoltre collocata una *phiale* in argento con *omphalos* dorato. Nella fossa adiacente (B) era invece riunito un corredo di oltre 200 oggetti da banchetto, con ceramica attica a figure nere e greco-orientale, vasi in impasto ceramico locale, vasellame e utensili in bronzo e in ferro, oltre ai resti di una *kline* lignea con intarsi in osso e in ambra (Fig. 2). La terza fossa (C) conteneva gli scheletri di due mule, mentre una quarta fossa (D) ospitava i resti di un individuo deceduto in età infantile, molto probabilmente di genere femminile. La "Tomba della Regina" si data ai decenni finali del VI secolo a.C., mentre la tomba infantile è di poco più recente.

La "Tomba della Regina" si distingue all'interno delle necropoli di Numana per la monumentalità del contesto funerario e per l'assoluta eccezionalità del suo corredo, senz'altro tra i più sfarzosi e variegati nel panorama delle civiltà dell'Italia preromana. Se il tipo di corredo con elementi di ornamento personale e la sua disposizione rispetto al corpo della defunta rispecchiano il rituale funerario adottato localmente per le donne di rango



Fig. 2 – La fossa A (a sinistra) e la fossa B (a destra) della “Tomba della Regina” in corso di scavo.

elevato, enfatizzandolo ulteriormente (BARDELLI 2022b), a impressionare sono soprattutto la deposizione dei due carri – un *currus* e un *calesse* – e la distinzione tra fossa di tumulazione e fossa-deposito, secondo modalità altrimenti note nel Piceno per sepolture risalenti in gran parte ancora al VII secolo a.C. (SILVESTRINI, SABBATINI 2008; SENA 2022). I materiali rinvenuti nella tomba testimoniano sia l’alto livello dell’artigianato locale sia l’ampiezza dei contatti, diretti e mediati, che collegavano Numana ad altre regioni comprese tra il Mediterraneo e l’Europa centrale.

Lo scavo della tomba si rivelò estremamente complesso, a causa dell’enorme quantità di reperti e della loro giacitura. Allo scavo *in situ* delle fosse B, C e D fece seguito il prelievo entro pani di terra dalla fossa A dei due carri e della sepoltura, indagati successivamente in laboratorio. A 30 anni di distanza dalla scoperta il contesto è stato oggetto di un nuovo studio in collaborazione tra il Römisch-Germanisches Zentralmuseum (RGZM) di Mainz (ora Leibniz-Zentrum für Archäologie-LEIZA), la Soprintendenza ABAP AN-PU e la Direzione Regionale Musei Marche (BARDELLI *et al.* 2022). Nell’ambito del progetto sono stati portati a termine i restauri di molti materiali e si è proceduto a un’indagine accurata della collocazione dei manufatti all’interno delle fosse A e B, i cui risultati hanno costituito il riferimento principale per il riallestimento della sala dedicata alla tomba all’interno dell’Antiquarium Statale di Numana e sono alla base della ricostruzione virtuale delle fosse.

G.B., S.F.

4. LA REPLICA DIGITALE DEL CORREDO E LA CONTESTUALIZZAZIONE NELLE FOSSE

La documentazione digitale del corredo funerario della “Tomba della Regina” è stata la prima azione introdotta per aprire a sue nuove modalità

di fruizione (Fig. 3). Seguendo un processo di ricostruzione tridimensionale fotogrammetrico ormai consolidato (GARAGNANI 2021), le immagini sono state acquisite utilizzando una fotocamera Sony $\alpha 9$ dotata di obiettivo macro a distanza focale fissa 90 mm e montata su di un cavalletto fotografico. Regolato l'angolo di rotazione del piatto a 30° e individuate quattro diverse altezze di ripresa, sono state acquisite 48 immagini per ciascun oggetto e un'unica foto del colorchecker, quest'ultima necessaria per la generazione del profilo colore da applicare alle restanti immagini in fase di post-produzione. Il processo di ricostruzione tridimensionale è stato realizzato per ciascun reperto utilizzando il software Agisoft Metashape, seguendo la procedura standard definita dal software, che include: l'allineamento delle immagini, l'inserimento dei marker come riferimento metrico e per ottimizzare l'allineamento ottenuto, la generazione di una nuvola di punti densa e, successivamente, la creazione del modello mesh. Quest'ultimo output è stato quindi successivamente processato in Meshlab al fine di eliminare errori topologici e chiudere eventuali fori della superficie. Complessivamente sono stati realizzati 27 modelli.

La modellazione del calesse presente nella fossa A, rinvenuto privo di diversi elementi, ha visto l'adozione di una metodica ibrida (EMILIOZZI *et al.* 2007) (Fig. 4). *In primis*, si è proceduto all'acquisizione fotogrammetrica della ricostruzione fisica in scala esposta presso l'Antiquarium di Numana. Presentando per le parti ricostruite elementi in plexiglass, la replica digitale del modello è servita unicamente come riferimento per una modellazione manuale da cui si è ottenuta una geometria completa, successivamente texturizzata con materiali atti a garantirne una resa fotorealistica e, infine, ottimizzata per la fruizione virtuale grazie ad una topologia regolare (LIASKOS *et al.* 2022).

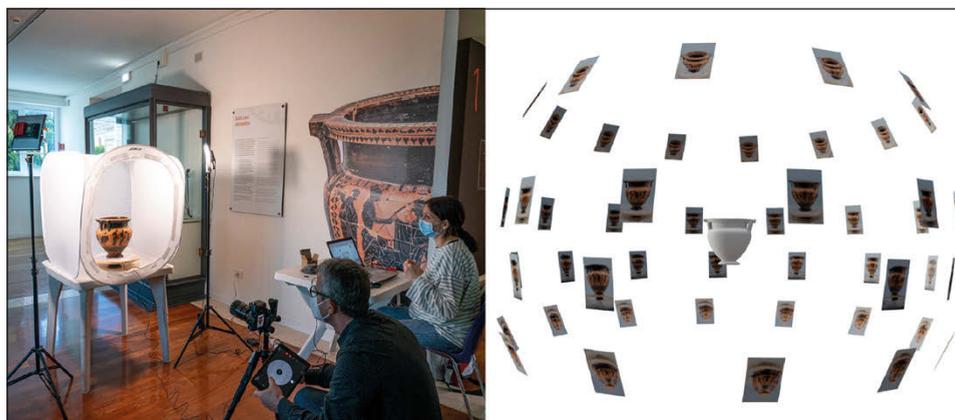


Fig. 3 – A sinistra, fase di acquisizione dei reperti; a destra, immagini orientate nello spazio e ricostruzione 3D di uno dei vasi facenti parte del corredo funerario.



Fig. 4 – Riproduzione virtuale del calesse. Dal modello fisico alla replica digitale.



Fig. 5 – Ricostruzione virtuale delle due fosse; a sinistra la fossa A, a destra la fossa B.

Non essendo possibile procedere, anche per le fosse, ad una modellazione reality based, la loro ricostruzione virtuale si è basata sullo studio delle relazioni di scavo redatte da Landolfi, dei rilievi metrici del 1989 e su ipotesi di dinamiche di crollo (Figg. 5-6). L'intero lavoro di generazione delle geometrie è stato effettuato all'interno del software di modellazione Blender, eseguito tramite modellazione solida ad oggetto, completata mediante l'impiego di modificatori quali array, bevel e operazioni booleane. In prima battuta è stata eseguita una modellazione delle fosse di scavo, sulla base delle rappresentazioni grafiche redatte in fase d'indagine archeologica. Da questa ricostruzione è stata realizzata la struttura lignea che doveva essere presente al loro interno, eseguendo una regolarizzazione delle dimensioni secondo la logica costruttiva e inserendovi elementi strutturali, quali travi e assi del doppio fondo della fossa A, pali e mensole della fossa B e le rispettive coperture coerenti con l'orditura lignea ipotizzata. Ottenuta la struttura principale delle due fosse si è proceduto con la texturizzazione del modello eseguita mediante



Fig. 6 – Ricostruzione virtuale della fossa B con inserimento dei reperti digitalizzati.

il software Adobe Substance Painter. Grazie alla creazione di smart material è stato possibile gestire dettagli e colore, in modo procedurale, giungendo facilmente ad una resa realistica degli elementi, validata dal punto di vista scientifico dallo studio archeologico condotto. Ottenuti i modelli delle due fosse, si è proceduto all’inserimento dei reperti precedentemente digitalizzati, collocandoli secondo la loro posizione di ritrovamento.

R.A.

5. UN VIRTUAL IMMERSIVE MOVIE PER LA FRUIZIONE DELLA “TOMBA DELLA REGINA”

Il focus principale di questo progetto è la generazione di un’esperienza emozionale capace di avvicinare nuovi pubblici e valorizzare il patrimonio storico-archeologico del territorio del Parco del Conero. Proprio dalla volontà di massimizzare il coinvolgimento del pubblico nascono la progettazione e realizzazione di una nuova forma di esperienza immersiva: un Virtual Immersive Movie (VIM). Tutto il processo creativo circa la realizzazione del VIM è stato eseguito secondo le tre fasi principali della creazione cinematografica: pre-produzione, produzione e post-produzione (BUCCHERI 2003) (Fig. 7).

5.1 Pre-produzione

Nella prima fase sono state individuate le chiavi tematiche e le caratterizzazioni narrativo-emozionali dell’esperienza. Tale processo è stato concretizzato mediante la realizzazione di script, storytelling, storyboard e

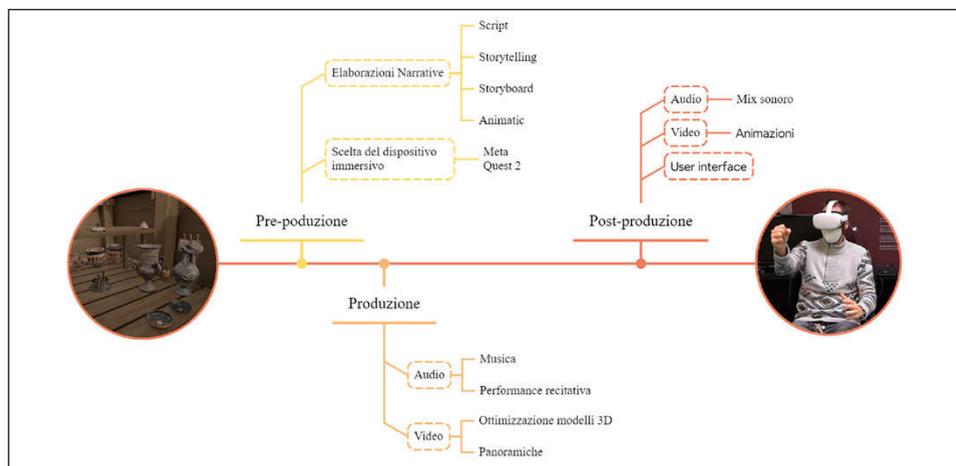


Fig. 7 – Schema del workflow seguito per la realizzazione dell'esperienza immersiva.

animatic. Tramite il primo sono stati individuati i temi principali da trattare nell'esperienza. Nello specifico è stata evidenziata la volontà di comunicare e descrivere il sito archeologico, il corredo funerario, la sepoltura, il rito e la figura della “Regina”, mediante un processo di contestualizzazione storico-archeologica tra virtualità del dato ricostruito e realtà del dato acquisito. Questi temi sono stati messi a sistema mediante una strategia narrativa in fase di storytelling, prevedendo l'incontro tra lo spirito della “Regina” e il visitatore. Per rendere più coinvolgente e immersiva l'esperienza è stata scelta la forma del monologo in cui la “Regina” si rivolge al visitatore invitandolo a seguirla nella scoperta della sepoltura. Con la realizzazione dello storyboard è stata data una dimensione visiva e sequenziale ai temi individuati in accordo con la modalità narrativa scelta, individuando cinque scene.

La prima, un'ambiente completamente buio in cui la “Regina” si mostra introducendo sé stessa e il rito. La successiva, all'interno della fossa A, dove si descrive il doppio livello della tumulazione, mostrando corredo personale e calesse. La terza scena funge invece da connessione tra la fossa A e la B; anche in questo caso l'utente si trova in un ambiente totalmente buio in presenza dello spirito della “Regina”, che introduce la seconda fossa e il corredo legato al rito del banchetto. Nella quarta scena, ambientata all'interno della fossa B, vengono descritti i reperti ceramici e bronzei più rilevanti. L'ultima scena prevede l'uscita dal complesso funerario, permettendo al visitatore, anche qui accompagnato dalla voce della “Regina”, di osservare dall'alto il panorama del Parco del Conero, contestualizzando il sito archeologico ricostruito virtualmente nell'ambito del territorio circostante.

Per tutte le scene si è deciso in questa fase di rappresentare la “Regina” mediante una luce animata a suggerirne lo spirito, in mancanza di dati sufficienti per una ricostruzione scientifica del corpo. In seguito, è stato realizzato l’animatic, ossia una sintesi delle animazioni e dei movimenti di ogni elemento al fine di ottenere una schematizzazione visiva dinamica. Sono stati così individuati tre soggetti animati: la “Regina”, il corredo e l’ambiente. Riguardo il primo, è stato previsto di animare il globo luminoso nello spazio virtuale, facendolo fermare vicino ad ogni punto d’interesse allo scopo di guidare lo sguardo del visitatore. Per i reperti si è invece progettato il movimento verso l’utente, per favorirne la visione, seguendo i tempi dettati dalla loro descrizione fornita dalla voce della “Regina” e dalle musiche. Quanto all’ultimo soggetto, l’animazione dell’ambiente virtuale, sono stati previsti piccoli movimenti nelle fosse virtuali come la chiusura del fondo della fossa A o la chiusura della copertura nella scena conclusiva.

Un ultimo aspetto decisionale legato alla fase di pre-produzione è la scelta della tipologia di esperienza e quindi del tipo di device tramite cui veicolarla. Data la volontà di massimizzare l’immersività dell’esperienza (LEOPARDI *et al.* 2021), stimolando sensorialmente la vista e l’udito, è stato scelto il visore VR Meta Quest 2. Tale decisione è stata dettata dalla volontà di garantire un’esperienza caratterizzata da sei gradi di libertà di movimento (rotazione e traslazione del punto di vista), visione stereoscopica per minimizzare effetti di motion sickness (CHATTHA *et al.* 2020) e ridurre i costi proponendo un dispositivo unico capace di funzionare senza l’ausilio di strumenti esterni di tracciamento e calcolo.

5.2 Produzione

Conclusa la fase di progettazione si è passati alla realizzazione dei contenuti audiovisivi. La sfera sonora risulta essere uno degli elementi più influenti ed efficaci al coinvolgimento immersivo ed emozionale dell’utente (MARTO *et al.* 2020). Per questo motivo, i contenuti sonori sono stati realizzati in collaborazione con professionisti del settore dell’intrattenimento previa validazione scientifica da parte degli archeologi coinvolti¹. La colonna sonora², composta da dieci tracce originali, è stata caratterizzata da sonorità ispirate al corredo della “Regina”. L’utilizzo di pianoforte e clavicembalo è stato utile alla creazione di un’atmosfera regale e senza tempo, mentre i vocalizzi, ispirati alla lingua delle antiche iscrizioni picene³, hanno contribuito ad evocare un senso di preghiera e ritualità.

¹ I testi del monologo della “Regina” sono stati redatti e interpretati da L. Palozzi (ATGTP).

² Musiche composte dal compositore ed etnomusicologo F. De Melis. I brani eseguiti dal pianista E. Zanisi con la cantante T. Cossignani.

³ I testi in lingua preromana sono stati verificati in collaborazione con la dott. V. Belfiore (Direzione Regionale Musei Abruzzo).



Fig. 8 – Retopology, a sinistra modello highpoly con mappa di diffuse, a destra modello highpoly con normal map e diffuse map applicate.

La produzione degli elementi visivi prende spunto dall'ingente lavoro di acquisizione e modellazione digitale descritto nel precedente paragrafo, adattando il materiale digitale alla fruizione immersiva attraverso uno specifico lavoro di ottimizzazione. Questo passo è necessario al fine di avere un funzionamento corretto e fluido dell'applicativo, coerente con il suo hardware (<https://developer.oculus.com/documentation/unity/po-art-direction/>). Nello specifico è stato eseguito un processo di retopology (<https://people.wku.edu/joon.sung/edu/anim/3d/modeling/retopology/retopology.html>) applicato ai modelli realizzati mediante ricostruzione fotogrammetrica, facendo sì che ognuno di essi, caratterizzato da un numero di facce nell'ordine del milione (modello highpoly), fosse descritto da una nuova topologia composta da poche migliaia di poligoni (modello lowpoly) (Fig. 8). La retopology è stata effettuata in tre fasi: remeshing, unwrapping e baking, ossia riduzione dei poligoni, creazione di nuovo sistema di coordinate UV, infine, proiezione delle informazioni, geometriche e colorimetriche dal modello highpoly a quello lowpoly mediante la realizzazione di normal map e diffuse map (2048x2048 pixel) (<https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-best-practices-intro/>). Tali operazioni sono state eseguite all'interno dei software open source Instant Meshes (<https://www.blendernation.com/2015/11/16/instant-meshes-a-free-quad-based-autoretopology-program/>) e Blender.

Per quanto riguarda l'ottimizzazione dei modelli delle due fosse, è stato eseguito il baking delle luci, al fine di imprimere sulla diffuse map, responsabile dell'attribuzione del colore all'oggetto, anche l'effetto visivo dovuto alle luci dirette e indirette e dalla proiezione delle ombre. Tale processo risulta

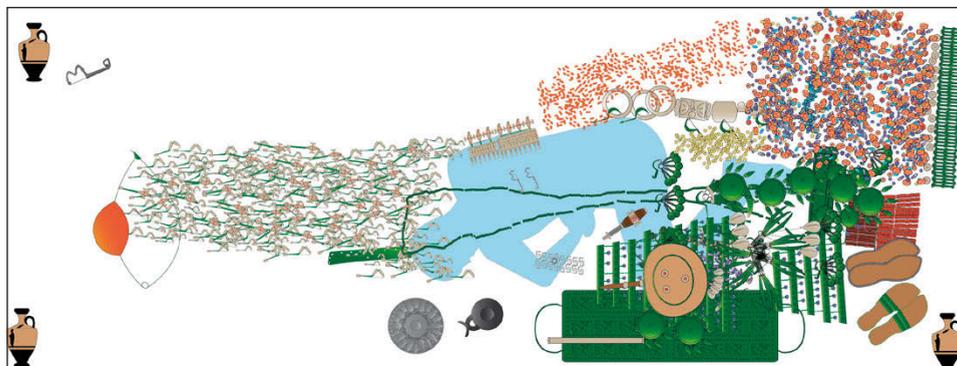


Fig. 9 – Schematizzazione grafica della sepoltura con corredo personale (ricostruzione G. Bardelli).

essenziale per ridurre l'impatto computazionale del visore, escludendo il calcolo realtime dell'illuminazione. La fase di produzione visiva si è quindi chiusa con la realizzazione di elaborati bidimensionali, come quello relativo al corredo personale della "Regina", utilizzato per dare dimensione visiva alla sua sepoltura tramite un'astrazione grafica della posizione della figura femminile in relazione al corredo personale (Fig. 9).

La contestualizzazione territoriale del sito archeologico, prevista per la scena finale, è stata infine realizzata mediante panoramiche sferiche acquisite da drone, partendo da un'altezza uomo fino a una quota di 25 m, necessaria per offrire una visione d'insieme della riviera del Monte Conero. Allo stesso tempo sono state renderizzate delle panoramiche del sito archeologico ricostruito, coinvolgendo tombe, fosse e terreno circostante dell'intero circolo funerario, con l'obiettivo di riunire coerentemente virtuale e reale.

5.3 Post-produzione

In fase di post-produzione si sono quindi sfruttati tutti i contenuti precedentemente realizzati al fine di giungere alla generazione dell'esperienza finale. Per la sfera audio è stato realizzato un messaggio sonoro tra le registrazioni del monologo recitato e le musiche. Nello specifico sono stati selezionati cinque brani, uno per ogni scena, successivamente remixati al fine di amalgamarli, per volume e durata, alle parole della voce narrante. Tutto il processo di missaggio è stato realizzato in Adobe Premiere Pro, producendo dieci tracce audio, due per ogni scena, distinguendo tra traccia musicale e parole. L'incedere degli elementi della sfera sonora ha determinato il procedere di quelli visivi. Sulla base delle tracce audio sono stati implementati tutti i movimenti degli oggetti 3D. L'intero lavoro svolto in questo ambito è stato effettuato utilizzando la game engine Unity 3D.

Le animazioni svolte possono essere distinte in automatiche e manuali. Tra le animazioni automatiche è possibile annoverare il lavoro svolto sul globo luminoso rappresentante la “Regina”, realizzato mediante sistema particellare statico ad un elemento. In questo caso l’animazione è stata effettuata mediante un codice in C# in grado di leggere le tracce audio del recitato e convertire i toni medi in una variazione delle dimensioni della sfera, al fine di sincronizzare automaticamente il monologo al movimento del globo e di offrire una rappresentazione visiva all’incedere delle parole. I singoli reperti e gli elementi dell’*environnement* virtuale, seguendo l’incedere della musica, sono stati animati manualmente utilizzando animator e keyframe.

Un ultimo aspetto rilevante per la concretizzazione dell’applicazione di realtà virtuale è la realizzazione dell’interfaccia utente (User Interface, UI). Al fine di rendere l’esperienza il più immersiva possibile si è optato per una UI prevalentemente diegetica (SEO 2020), mentre l’interazione è stata limitata al solo utilizzo dell’*hand tracking* corredato da semplici gesture, come la chiusura della mano per avviare l’esperienza o prendere in mano un reperto. Riuniti i diversi contenuti visivi, audio e il sistema d’interazioni, si è realizzato l’applicativo finale andando a concatenare i vari momenti previsti nelle cinque scene mediante uno script finalizzato alla temporizzazione dei singoli momenti e all’introduzione delle transizioni tra essi (*fade-in/fade-out*). Al fine di semplificare la fruizione del VIM in ambito espositivo, si è implementato il reset automatico dell’esperienza al cambio di utente mediante l’impiego del sensore di prossimità integrato nel visore stesso.

M.D.A.

6. VALUTAZIONE DELL’ESPERIENZA UTENTE

L’esperienza proposta si inserisce nel piano di sviluppo dell’attrattiva turistica dell’area archeologica de “I Pini” e del Parco Regionale del Monte Conero, volto ad ampliare il proprio pubblico di riferimento rivolgendosi a target più giovani. Per poter trarre conclusioni sull’efficacia dell’esperienza proposta è stata quindi condotta una valutazione dell’esperienza utente basata su questionari e interviste, coinvolgendo 20 partecipanti appartenenti alla fascia di età compresa tra i 14 e i 18 anni. Il questionario è stato strutturato in 15 affermazioni associate a 5 dimensioni dell’esperienza: autenticità, interazione, navigazione, apprendimento e potenzialità di ampliamento del pubblico. Ciascun utente ha espresso il proprio grado di consenso su una scala da 1 a 5. La coerenza interna del questionario è stata valutata mediante calcolo dell’*alpha* di Cronbach per le 5 dimensioni considerate, risultato buono per autenticità (0,79) e interazione (0,71) e ottimo navigazione (0,90), apprendimento (0,82) e potenzialità di ampliamento del pubblico (0,82). Oltre il 74% delle risposte è stato rappresentato da “Pienamente d’accordo”

e “Parzialmente d’accordo”, dimostrando come la maggior parte dei soggetti sia stata soddisfatta dall’esperienza. Eccellenti risultati si sono riscontrati tanto rispetto al realismo dell’ambiente virtuale e dei reperti, quanto in relazione all’interesse suscitato dalle informazioni fornite. Inoltre, il 70% degli utenti si è dimostrato “Pienamente d’accordo” rispetto al consigliare ad altri questa esperienza e il 75% rispetto all’essere interessato a ulteriori esperienze di realtà virtuale.

Le interviste sono state invece condotte sottoponendo due domande: “descrivi con una breve frase ciò che ti ha colpito maggiormente” e “descrivi con una breve frase ciò che hai apprezzato meno”. L’aspetto principale emerso dalle risposte è la manifestazione di un forte apprezzamento per la narrativa coinvolgente e l’alta qualità immersiva dell’esperienza. Tuttavia, alcuni utenti hanno sottolineato come l’interazione all’interno dell’ambiente virtuale fosse limitata rispetto alle loro aspettative, non essendo concessa la libertà di esplorare lo spazio virtuale a loro piacimento.

R.A.

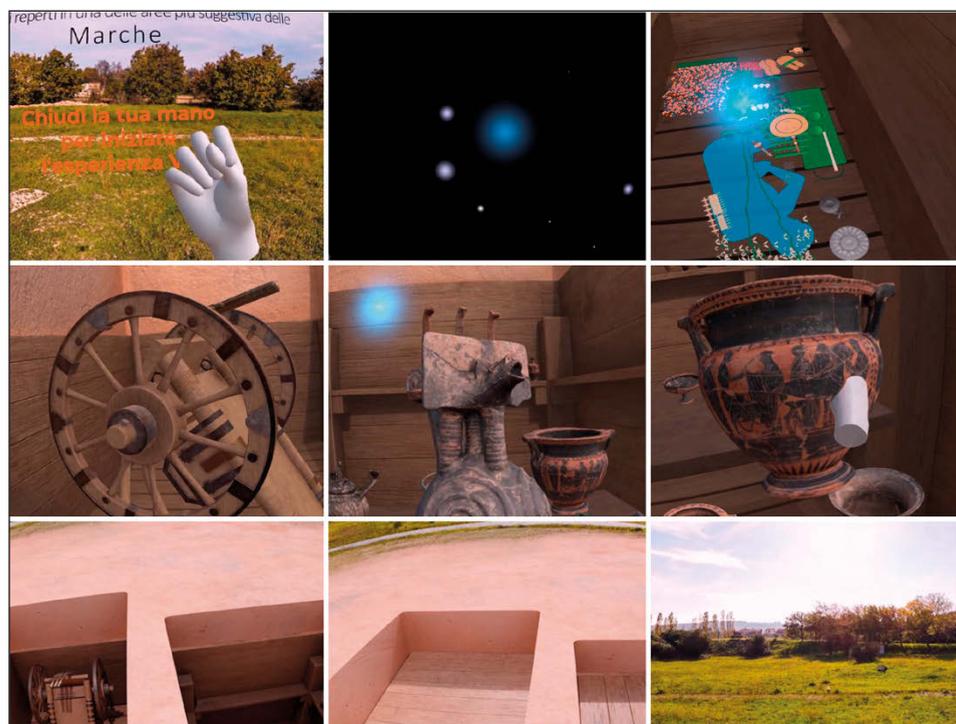


Fig. 10 – Scene dell’esperienza virtuale, da sinistra a destra: avvio dell’esperienza; introduzione; la sepoltura; il calesse; il corredo ceramico; l’interazione con il reperto; l’uscita dalla tomba.

7. CONCLUSIONI

In conclusione, il presente contributo ha affrontato il tema dell'utilizzo della VR come strumento per la fruizione del patrimonio archeologico, ponendo particolare attenzione su due aspetti: il realismo della rappresentazione digitale e la modalità di narrazione. Il realismo della scena gioca infatti un ruolo fondamentale nella percezione del senso di presenza, consentendo agli utenti di sentirsi completamente immersi nell'ambiente virtuale, aspetto fondamentale per fornire un'esperienza soddisfacente per il visitatore (Fig. 10). Dal punto di vista della modalità di narrazione proposta, invece, il VIM si è dimostrato efficace nello stimolare il coinvolgimento emotivo grazie all'integrazione del racconto, guidato dalla voce fuori campo, con musiche, effetti sonori e animazioni.

Sulla base dei risultati dei test condotti è quindi possibile certificare il successo dell'esperienza proposta, raggiunto grazie all'ibridazione di competenze e linguaggi, dall'ambito archeologico a quello dell'intrattenimento, passando per la digitalizzazione scientifica del patrimonio culturale. In futuro, l'esperienza potrà essere resa ulteriormente interattiva, incorporando anche elementi di gamification funzionali a rendere ancor più coinvolgente la narrazione.

P.C., R.A., M.D.A.

PAOLO CLINI, RENATO ANGELONI, MIRCO D'ALESSIO
Università Politecnica delle Marche
p.clini@univpm.it, r.angeloni@univpm.it, m.dalessio@univpm.it

GIACOMO BARDELLI
Dipartimento di Studi Umanistici – Sezione Patrimonio Culturale
Università degli Studi di Napoli Federico II
giacomo.bardelli@unina.it

STEFANO FINOCCHI
Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio
per le province di Ancona e Pesaro e Urbino
stefano.finocchi@cultura.gov.it

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Dott. Filippo Invernizzi e tutto l'Ente Parco del Conero, capofila del Progetto "Archeopaesaggio al Conero", sostenuto da Fondazione Cariverona, sotto la direzione scientifica della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Ancona e Pesaro e Urbino e della Direzione Regionale Musei Marche. Il progetto rientra nelle azioni di valorizzazione del patrimonio culturale del Parco del Conero ed è finalizzato a dare vita ad un percorso tematico ampio che comprenderà l'Antiquarium Statale di Numana, l'Area Archeologica "I Pini" di Sirolo e il Centro Visite del Parco. Si ringrazia la Dott.ssa Nicoletta Frapicini, responsabile dell'Antiquarium statale di Numana, il Prof. Vincenzo Baldoni e

la Dott.ssa Valentina Belfiore per il supporto scientifico in ambito archeologico; il Prof. Francesco de Melis, Enrico Zanisi e Tiziana Cossignani per la sfera sonora, Lucia Palozzi e l'associazione ATGTP per l'interpretazione della "Regina" picena; la Dott.ssa Romina Nespeca e Luigi Sagone per il supporto nella fase di acquisizione delle immagini dei reperti esposti presso l'Antiquarium di Numana. Si ringraziano infine tutti i partecipanti al test di valutazione dell'esperienza utente, condotto in occasione del festival Fermhamente. Ogni test è stato eseguito con il consenso dei partecipanti e i questionari e le interviste sono stati compilati in modo anonimo.

BIBLIOGRAFIA

- BALDONI V. (ed.) 2021a, *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 9-152 (<https://www.archcalc.cnr.it/journal/idyear.php?IDyear=2021-12-20>).
- BALDONI V. 2021b, *From finds to landscape: Archaeological analysis and virtual modelling of the Davanzali necropolis in the Picenian emporion of Numana (AN)*, in BALDONI 2021a, 17-26 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.02>).
- BARCELÓ J.A. 2001, *Virtual reality for archaeological explanation beyond "picturesque" reconstruction*, «Archeologia e Calcolatori», 12, 221-244 (<https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF12/12Barcelo.pdf>).
- BARCELÓ J.A., FORTE M., SANDERS D.H. 2000, *Virtual Reality in Archaeology*, BAR International Series 843, Oxford, Archaeopress.
- BARDELLI G. 2022a, *Il "Circolo delle Fibule" di Sirolo-Numana*, Monographien des RGZM 163, Mainz, Verlag des RGZM.
- BARDELLI G. 2022b, *Wie viel Macht hinter der Pracht? Erste Überlegungen zu reichen Frauenbestattungen in Numana*, in P. AMANN, R. DA VELA, R.P. KRÄMER (eds.), *Gesellschaft und Familie bei Etruskern und Italikern. Treffen der Arbeitsgemeinschaft Etrusker & Italiker. Atti della diciottesima Conferenza (Wien 2022)*, Wiener Beiträge zur Alten Geschichte online (WBAgon) 4, 89-106 (<https://doi.org/10.25365/wbagon-2022-4-4>).
- BARDELLI G., MILAZZO F., VOLLMER I.A. 2022, *La Tomba della Regina di Sirolo. Ricerche e restauri a 30 anni dalla scoperta*, in FRAPICCINI, NASO 2022, 405-417.
- BARDELLI G., NATALUCCI M., ZAMPIERI E. 2023, *Vasi di bronzo etruschi dai corredi funerari di Numana*, in A.C. MONTANARO (ed.), *Vasi di bronzo etruschi in Italia: produzioni regionali e diffusione tra le popolazioni italiche. Contesti d'uso, aspetti ideologici e tecnologici*, «Mediterranea», Suppl. n.s. 4, CNR Edizioni, 319-344.
- BEACHAM R., DENARD H., NICCOLUCCI F. 2006, *An introduction to the London Charter*, in D. ARNOLD, M. IOANNIDES, F. NICCOLUCCI, K. MANIA (eds.), *The Evolution of Information Communication Technology in Cultural Heritage. Papers from the Joint Event CIPA/VAST/EG/EuroMed Event (Nicosia 2006)*, Budapest, Archaeolingua, 263-269.
- BUCCHERI V. 2003, *Il film. Dalla sceneggiatura alla distribuzione*, Roma, Carocci.
- BOSCHI F. 2022, *Archeologia funeraria e tecnologie digitali: la tomba del principe di Corinaldo dalla documentazione alla fruizione*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 235-254 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.13>).
- CHATTHA U.A., JANJUA U.I., ANWAR F., MADNI T.M., CHEEMA M.F., JANJUA S.I. 2020, *Motion sickness in virtual reality: An empirical evaluation*, «IEEE Access», 8, 130486-130499 (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007076>).
- CLINI P., ANGELONI R., D'ALESSIO M., PERNA R., SFORZINI D. 2022, *La digitalizzazione per la documentazione, lo studio e la fruizione di un sito archeologico. La VR experience del teatro di Ricina*, in A. ARRIGHETTI, R. PANSINI (eds.), *Sistemi e tecniche di documentazione, gestione e valorizzazione dell'architettura storica. Alcune recenti esperienze*, «Archeologia e Calcolatori», 33.1, 279-296 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.15>).

- DE FELICE G., MANNINO K. 2022, *I bronzi di Punta del Serrone (BR): dalla ricerca archeologica alla comunicazione multimediale*, «Archeologia e Calcolatori», 33.2, 279-298 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.2.2022.15>).
- EMILIOZZI A., MOSCATI P., SANTORO P. 2007, *The princely cart from Eretum*, in P. MOSCATI (ed.), *Virtual Museums and Archaeology*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 1, 143-162 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_1/10_Emiliozzi.pdf).
- FINOCCHI S. 2018, *Numana*, «Picus», 38, 253-282.
- FORTE M. 2004, *Realtà virtuale, beni culturali e cibernetica: un approccio ecosistemico*, in P. MOSCATI (ed.), *New Frontiers of Archaeological Research. Languages, Communication, Information Technology*, «Archeologia e Calcolatori», 15, 423-448 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF15/25_Forte.pdf).
- FORTE M., BELTRAMI R. 2000, *A proposito di Virtual Archaeology: disordini, interazioni cognitive e virtualità*, in A. D'ANDREA, F. NICCOLUCCI (eds.), *Atti del I workshop Nazionale di Archeologia Computazionale (Napoli-Firenze 1999)*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 273-300 (<https://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF11/1.17%20Forte.pdf>).
- FRAPICCINI N., NASO A. (eds.) 2022, *Archeologia picena. Atti del Convegno internazionale di Studi (Ancona 2019)*, Roma, Quasar.
- GABELLONE F., FERRARI I., GIURI F., CHIFFI M. 2016, *What communication for museums? Experiences and reflections in a virtualization project for the Museo Egizio in Turin*, in *Proceedings of the 20th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (Torino 2015)*, Vienna, Museen der Stadt Wien - Stadtarchäologie, 1-11.
- GABELLONE F., FERRARI I., GIURI F., CHIFFI M. 2017, *Image based techniques for the virtualization of Egyptian context*, in *IMEKO International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (Lecce 2017)*, Lecce, IMEKO, 601-606.
- GARAGNANI S. 2021, *Quick digitization techniques: The case study of Numana necropolis*, in BALDONI 2021a, 53-62 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.06>).
- KYRLITSIAS C., CHRISTOFI M., MICHAEL-GRIGORIOU D., BANAKOU D., IOANNOU A. 2020, *A virtual tour of a hardly accessible archaeological site: The effect of immersive virtual reality on user experience, learning and attitude change*, «Frontiers in Computer Science», 2, 23, (<https://doi.org/10.3389/fcomp.2020.00023>).
- LANDOLFI M. 1997, *Sirolo. Necropoli picena "I Pini". Tomba monumentale a circolo con due carri (520-500 a.C.)*, in A. EMILIOZZI (ed.), *Carri da guerra e principi etruschi*, Catalogo della mostra, Roma, L'«Erma» di Bretschneider, 229-241.
- LANDOLFI M. 2001, *La Tomba della Regina nella necropoli picena "I Pini" di Sirolo-Numana*, in L. FRANCHI DELL'ORTO (ed.), *Eroi e regine. Piceni popolo d'Europa*, Catalogo della mostra, Roma, Edizioni De Luca, 350-365.
- LANDOLFI M. 2004, *Regine e principesse picene vestite e coperte di bronzo e ambra*, in E. PERCOSSI, N. FRAPICCINI (eds.), *Non solo frivolezze. Moda, costume e bellezza nel Piceno antico*, Catalogo della mostra, Recanati, Tecnostampa, 73-78.
- LANDOLFI M. 2007, *Ricchezza e ostentazione tra i Piceni: la Regina di Sirolo*, in M.L. NAVA, A. SALERNO (eds.), *Ambre. trasparenze dall'antico*, Catalogo della mostra, Milano, Electa, 171-179.
- LEOPARDI A., CECCACCI S., MENGONI M., NASPETTI S., GAMBELLI D., OZTURK E., ZANOLI R. 2021, *X-reality technologies for museums: A comparative evaluation based on presence and visitors experience through user studies*, «Journal of Cultural Heritage», 47, 188-198 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.10.005>).
- LIASKOS O., MITSIGKOLA S., ARAPAKOPOULOS A., PAPATZANAKIS G., GINNIS A., PAPADOPOULOS C., PEPPA S., REMOUNDOS G. 2022, *Development of the virtual reality application: "The ships of Navarino"*, «Applied Sciences (Switzerland)», 12, 7 (<https://doi.org/10.3390/app12073541>).
- LONDON CHARTER 2009, *London Charter for the Computer-based Visualization of Cultural Heritage*, Draft 2.1-2009 (www.londoncharter.org).

- MARTO A., GONÇALVES A., MELO M., BESSA M. 2022, *A survey of multisensory VR and AR applications for cultural heritage*, «Computers and Graphics (Pergamon)», 102, 426-440 (<https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.10.001>).
- QUATTRINI R., FRAPICINI N., NESPECA R. 2018, *ARCHEOGate: un portale web per la catalogazione e la fruizione dell'archeologia delle Marche*, in R. SALERNO (ed.), *Rappresentazione materiale/immateriale-Drawing as (in) tangible representation*. 40° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione (Milano 2018), Roma, Gangemi Editore, 1349-1358.
- RESTA G., KARACAN E. 2020, *Virtual exhibition and visitor experience: How digital storytelling enhances online exhibition spaces*, in Y. AKSOY, E. DUYAN (eds.), *Experience in Architecture. Space, Perception, Function*, Istanbul, DAKAM, 135-154.
- SENA A. 2022, *Sepolte a Pitino. Costume, ruoli e consuetudini in tombe femminili del Piceno orientalizzante*, in FRAPICINI, NASO 2022, 279-294.
- SEO G. 2021, *Exploring an immersive user interface in Virtual Reality storytelling*, in C. STEPHANIDIS, M. ANTONA, S. NTOA (eds.), *Human-Computer Interaction, Proceedings of the 23th Conference*, Cham, Spinger, 385-389 (https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-90176-9_50).
- SEVILLE CHARTER 2011, *The Seville Principles: International Principles of Virtual Archaeology* (<http://sevilleprinciples.com/>).
- SILANI M. 2021, *Reconstructing the funerary landscape: Natural environment and topography of the necropolis*, in BALDONI 2021a, 45-51 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.05>).
- SILVESTRINI M., SABBATINI T. 2008, *Potere e splendore. Gli antichi Piceni a Matelica*, Catalogo della mostra, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- TACCOLA E., ROSSELLI L., ALBERTINI N., MARTINO M. 2021, *Etruscan hypogea in 3D: A proposal for an immersive and interactive visualization of Volterra's funerary contexts*, in BALDONI 2021a, 135-152 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.12>).
- ZAMPIERI E. 2021, *The Davanzali necropolis of Numana (AN): From the archaeological context to the virtual environment*, in BALDONI 2021a, 35-44 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.04>).

ABSTRACT

The paper presents a workflow aimed at documenting, disseminating, and making archaeological heritage more accessible. To preserve scientific rigour and data accuracy, also providing an emotional experience to the audience, the entire process was carried out through the collaborative efforts of three professionals: the archaeologist, the digitization expert, and the entertainment industry professional. The case study is a pre-Roman necropolis located in the "I Pini" archaeological area (Marche Region, Italy). The site presents several circular burials, one of which belongs to a female figure known as the "Queen", which became the central focus of the narrative. The first working step was the digital documentation of a selection of the findings from the "Queen's" tomb, currently displayed at the Antiquarium Statale of Numana, followed by the virtual reconstruction of the burial. Then, the obtained 3D models were used to generate a Virtual Immersive Movie (VIM) which allows visitors to immerse themselves in the virtual reconstruction and interact with the archaeological findings using a Head-mounted Display. The evaluation of the user experience proved the effectiveness of the VIM. The scores obtained from the questionnaire will also serve as inspiration for further enhancements, aiming to deliver a more interactive and improved educational experience.