

DALLA REPLICA DIGITALE
ALLA MODELLAZIONE INFORMATIVA. UN APPROCCIO
SCAN-TO-BIM ALLA DOCUMENTAZIONE DEL MICROSCAVO
E RESTAURO DELLA TOMBA 27 DI COLLE VACCARO (AP)

1. INTRODUZIONE

Lo scavo archeologico è un'azione prevalentemente distruttiva. Al fine della redazione della documentazione di scavo è però oggi possibile fare ricorso a consolidate filiere di acquisizione ed elaborazione digitale in grado di produrre un'accurata rappresentazione di ogni fase operativa (DELPANO 2021). Ciò costituisce non solo un utile strumento per l'analisi archeologica delle stratigrafie e dei singoli materiali restituiti (ZANGROSSI *et al.* 2019), ma anche un efficace ausilio ai processi di conservazione (GARAGNANI, GAUCCI 2020), nonché un importante supporto alle attività legate alla divulgazione dei risultati e alla valorizzazione dei contesti (CLINI *et al.* 2022).

Quello della digitalizzazione, intesa come approccio complessivo alle proprie collezioni (APOLLONIO *et al.* 2021), rappresenta peraltro uno degli obiettivi prioritari della programmazione strategica prefissata dalla direzione del Museo Archeologico Statale di Ascoli Piceno, anche in linea con quanto disposto dal Piano Triennale di Digitalizzazione del Ministero della Cultura¹ (2019) e dai Livelli Uniformi di Qualità (LUQ) e obiettivi di miglioramento fissati dal Sistema Museale Nazionale. Per tale ragione ai fini della documentazione del microscavo delle tombe della necropoli di Colle Vaccaro (AP), progetto avviato grazie alla convenzione in essere tra Direzione Regionale Musei Marche e Istituto Centrale per il Restauro (ICR), si è scelto di collaborare con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura dell'Università Politecnica delle Marche per la definizione di un metodo finalizzato alla rappresentazione digitale delle fasi di scavo e dei reperti, basato su strumenti in grado di fornire un'accurata ricostruzione tridimensionale degli oggetti. Tale sperimentazione, condotta parallelamente al lavoro di studio e restauro sui materiali di corredo della tomba 27 della necropoli di Colle Vaccaro, ha permesso di individuare una metodologia efficace sia ai fini della documentazione, evidenziando enormi potenzialità dal punto di vista della ricostruzione dei dati utili all'indagine archeologica, sia ai fini della conservazione e del restauro e sia ai fini della valorizzazione del contesto, rappresentando una

¹ <http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l'Innovazione-dei-Musei.pdf>.

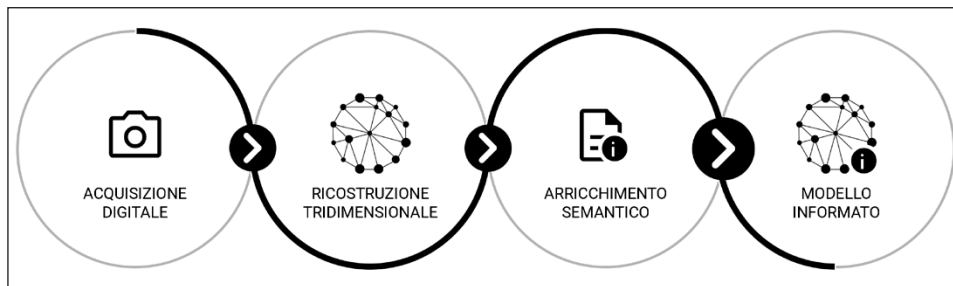


Fig. 1 – Schema del flusso di lavoro seguito per l’elaborazione delle repliche digitali informate.

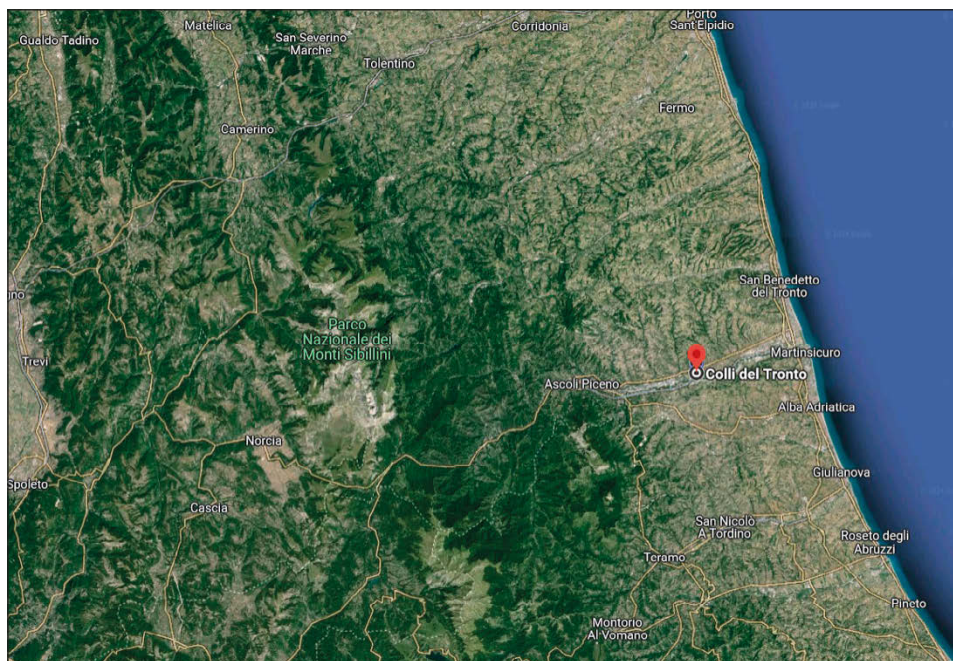


Fig. 2 – Localizzazione del sito di Colli del Tronto (AP) (da Google Maps).

ottimale base di lavoro funzionale al racconto che accompagnerà la futura musealizzazione della tomba.

Il presente articolo descrive dunque un innovativo flusso di lavoro, applicato in particolare alla suddetta tomba: a partire dalla documentazione fotografica delle indagini di scavo e dei reperti, sfruttando le metodologie di fotogrammetria digitale, se ne sono ottenute delle accurate repliche digitali,

successivamente ottimizzate dal punto di vista geometrico e quindi informate sfruttando le potenzialità offerte da una piattaforma open source di BIM authoring, quale Blender con l'add-on BlenderBIM (Fig. 1). Tutti i dati utili ad una successiva fase di analisi storico-archeologica sono stati così fatti confluire nel modello, strutturando un vero e proprio archivio delle operazioni di scavo e di restauro, che potrà essere ulteriormente implementato ai fini della conservazione e valorizzazione della tomba e degli oggetti costituenti il corredo.

2. IL CASO STUDIO: LA TOMBA 27 DI COLLE VACCARO

La necropoli in località Colle Vaccaro costituisce una delle aree di sepoltura a servizio dell'abitato di Colli del Tronto (Figg. 2-3). Quest'ultimo, sorto a controllo dell'antico percorso di fondovalle del fiume Tronto, in



Fig. 3 – Necropoli picena di Colle Vaccaro. Panoramica dell'area di scavo, 1991 (foto Archivio Soprintendenza Archeologia Belle Arti Paesaggio delle Marche per le province di Ancona e Pesaro e Urbino).

corrispondenza della futura via Salaria (LUCENTINI 1987), vide un significativo sviluppo a partire dall'età del Bronzo recente, quando in località Casale Superiore si impiantò un abitato protostorico tra i più importanti della vallata, che con una estensione di 9 ettari sui versanti di una bassa collina (LUCENTINI 1991) fu frequentato sino all'VIII secolo a.C. In virtù della strategica posizione, il centro di Colli, all'incrocio col tratturo per la Valtésino e la Val Vibrata e forse vicino ad uno degli approdi fluviali sul Tronto, divenne a partire dalla piena età del Ferro, un importante centro di scambi e servizi. In coincidenza con l'abbandono dell'insediamento di Casale Superiore, le necropoli (Contrada Rocca, Case Bianche, Case Sparse, Colle Vaccaro), che, a partire dal VII-VI secolo a.C., si andarono formando disponendosi ad anello attorno al declivio del colle stesso e che furono utilizzate per tutta l'età arcaica, possono essere considerate un segno tangibile della concentrazione demografica favorita dalla particolare vitalità economica e commerciale dell'insediamento. Relativamente a queste necropoli, indagate per la maggior parte nel corso



Fig. 4 – La tomba 27 di Colle Vaccaro ancora *in situ* (foto Archivio Soprintendenza Archeologia Belle Arti Paesaggio delle Marche per le province di Ancona e Pesaro e Urbino).



Fig. 5 – Pane di terra della tomba 27 di Colle Vaccaro presso il Museo Archeologico di Ascoli Piceno individuata come caso di studio.

dell'800, le informazioni sono scarse e frammentarie e i materiali confluiti nelle collezioni dei Musei di Ascoli, Offida, Como e al Pigorini di Roma. Una documentazione completa è, altresì, quella di cui disponiamo per la necropoli in località Colle Vaccaro.

La necropoli ricade in un'area lottizzata e venne identificata nel 1989 a seguito di lavori in via delle Vignali a Colle Vaccaro, in occasione dei quali le indagini condotte dall'allora Soprintendenza Archeologica delle Marche tra il 1989 e il 1997 misero in luce una serie di 8 sepolture (LUCENTINI 1999). Le indagini proseguirono poi fino al 2005, scoprendo una necropoli caratterizzata da 31 tombe ad inumazione (LUCENTINI 2002). La particolare complessità del contesto di scavo, data dalle condizioni conservative delle sepolture e dei corredi e dal fatto che le tombe erano impostate su di un'area di paleofrana e, quindi, su di un terreno particolarmente instabile che aveva già in alcuni casi determinato lo scivolamento a valle delle tombe stesse, determinò la decisione di procedere al taglio e all'asportazione dei blocchi di terra contenenti le sepolture. I blocchi furono pertanto immagazzinati nei depositi della Soprintendenza e del Museo Archeologico di Ascoli Piceno con l'intento di procedere al microscavo, allo studio e alla musealizzazione dei contesti, avvenuto negli anni successivi per 5 delle 31 tombe (tombe 1, 2, 6, 14, 31), i cui corredi furono allestiti ed esposti nella sezione picena del Museo di Ascoli.

Grazie all'accordo stipulato con l'ICR, nel 2021 sono riprese le indagini. Il lavoro di censimento, acquisizione e studio dei dati di archivio relativi allo scavo *in situ* è ancora in corso e non ha, purtroppo, ad oggi ancora consentito l'identificazione di una planimetria generale della necropoli con posizionamento di tutte le singole tombe. L'individuazione della tomba

27 come caso di studio è stata determinata dalle condizioni conservative particolarmente critiche mostrate dal pane di terra che, all'indomani della asportazione, era già stato oggetto di un primo parziale intervento di scavo in laboratorio a seguito del quale alcuni degli oggetti di corredo erano stati rimossi, mentre altri rimanevano *in situ* in parte esposti a condizioni microclimatiche non ottimali (Figg. 4-5).

Le operazioni di scavo, dirette e coordinate da S. Cingolani e da A. Di Giovanni per l'ICR, sono state concluse nel settembre 2021, mentre le operazioni di restauro e l'analisi dei dati sono ancora in corso. Ciò implica che, al momento, possono essere avanzate solo poche considerazioni di carattere estremamente preliminare in attesa delle analisi paleoantropologiche, dei dati restituiti dalla flottazione e dall'analisi di eventuali altri resti organici individuati e dello studio dei numerosi elementi di corredo che potrà essere completato solo successivamente alle operazioni di consolidamento e restauro di tutti gli elementi. Allo stato attuale siamo in grado di affermare sulla base dei pochi resti organici individuati che l'età al decesso del defunto, sulla base di una prima analisi autoptica degli elementi dentari, è verosimilmente ipotizzabile intorno ai 5-7 anni, mentre sulla base della tipologia e della quantità di corredo pare desumibile il sesso femminile dell'individuo.

La giovane defunta, quindi, risultava deposta su di un fianco e rivestita dei suoi ornamenti, molti dei quali di tipologia ricorrente nelle altre tombe indagate della necropoli, mentre in corrispondenza del capo e dei piedi si trovava il corredo ceramico. Tra i materiali relativi a quest'ultimo, si segnala la presenza di tipi ceramici tradizionali della produzione picena, tra i quali olle in ceramica di impasto, *pocula* monoansati con bugne, tazze monoansate. La defunta indossava orecchini a cerchio in bronzo con vago in ambra, braccialetti e alcuni *torques* in filo di bronzo, mentre numerose perline in ambra e pasta vitrea sono state rinvenute in corrispondenza del collo e del petto. Forse tra le mani doveva reggere una collana composta da circa 15 valve di conchiglie marine. Tra i numerosi ornamenti deposti sul busto, si segnalano elementi tipici e ricorrenti all'interno della necropoli, tra i quali una grossa fibula ad arco ondulato e decorato con la tecnica dell'agemina e staffa trifida tipo Montedinove, un pendaglio costituito da un dente di cinghiale rivestito di bronzo e numerosi pendenti a bulla. Si segnala anche un grande pendaglio caratterizzato dalla presenza di una piastra trapezoidale in ferro e bronzo dalla quale si dipartono lunghe catenelle, a cui sono probabilmente riferibili pendenti di foggia ancora da individuare. La posizione dell'oggetto indurrebbe ad ipotizzare che esso non fosse indossato al collo quanto piuttosto utilizzato per ornare la veste o un mantello. La tipologia, attestata a Belmonte, Montegiorgio, Ripatransone, Cupramarittima, è probabilmente riferibile ad una produzione di ambito locale (COEN-SEIDEL 2009-2010, 185; WEIDIG 2017, 137, cat. 54). Risulta attestato anche in altri corredi della necropoli,

come ad esempio nella tomba 1, un pendaglio in bronzo a forma di *oinochoe* miniaturizzata, tipologia di ampia diffusione nel medio versante adriatico nel VI secolo a.C. Si segnala, tra i pendagli, anche la presenza di numerosissime bulle bivalvi in lamina bronzea.

S.C.

3. IL CONTESTO DELLA SPERIMENTAZIONE: IL CANTIERE DIDATTICO ICR

Il microscavo può essere definito come «la serie di operazioni di scavo stratigrafico e conservazione che si effettuano in laboratorio sui reperti contenuti in una porzione di deposito archeologico asportata in blocco dal terreno di giacitura. Si tratta di un'operazione complessa nella quale i principi della stratigrafia archeologica si coniugano con le esigenze conservative e l'applicazione di metodologie scientifiche» (DE PALMA *et al.* 2013). Partendo da questa definizione, che in poche righe evidenzia la totalità e complessità delle operazioni che si svolgono durante il microscavo, appare chiaro come nella formazione di un restauratore, specializzato in materiale archeologico, si tratti di un momento di apprendimento prezioso.

Generalmente, il prelievo di interi blocchi di terreno contenenti manufatti viene eseguito per quelle situazioni che presentano una complessità tale da non poter assolutamente essere affrontate durante lo scavo archeologico: si tratta dunque di reperti che sono sovrapposti in livelli articolati e che si caratterizzano per essere formati da numerosi elementi, spesso di piccole dimensioni, a volte dislocati dalla posizione iniziale perché originariamente applicati e tenuti insieme da substrati di origine organica (tessuti, cuoio, legno, etc.), che purtroppo per la loro stessa natura non si sono conservati o se n'è conservata solo una traccia. Le operazioni di microscavo, prelievo e restauro dei manufatti sono necessariamente sempre accompagnate e supportate dalla documentazione della situazione attuale, con la finalità di non perdere alcuna informazione che potrà dunque all'occorrenza essere anche analizzata e studiata in un momento successivo, finalizzato, ad esempio, alla comprensione della connessione dei vari reperti tra loro e alla ricostruzione della originaria posizione di giacitura dei manufatti (DELGADO LLATA 2022). Le operazioni di microscavo e recupero presuppongono inevitabilmente la rimozione di strati e con questi dei reperti e dei dati in essi contenuti, con l'intento di garantirne la conservazione e la trasmissibilità futura. Appare dunque evidente l'importanza di registrare tutte le informazioni, ragione per cui tutti i microscavi effettuati dall'ICR sono condotti accompagnando sempre la tecnica di scavo stratigrafico alla registrazione continua e aggiornata dei livelli, con un'accurata documentazione fotografica, grafica e testuale, come nel caso della sepoltura 27 dalla necropoli di Colle Vaccaro, oggetto del cantiere didattico per il Percorso Formativo Professionalizzante 4 (PFP4) dell'ICR nel settembre 2021.

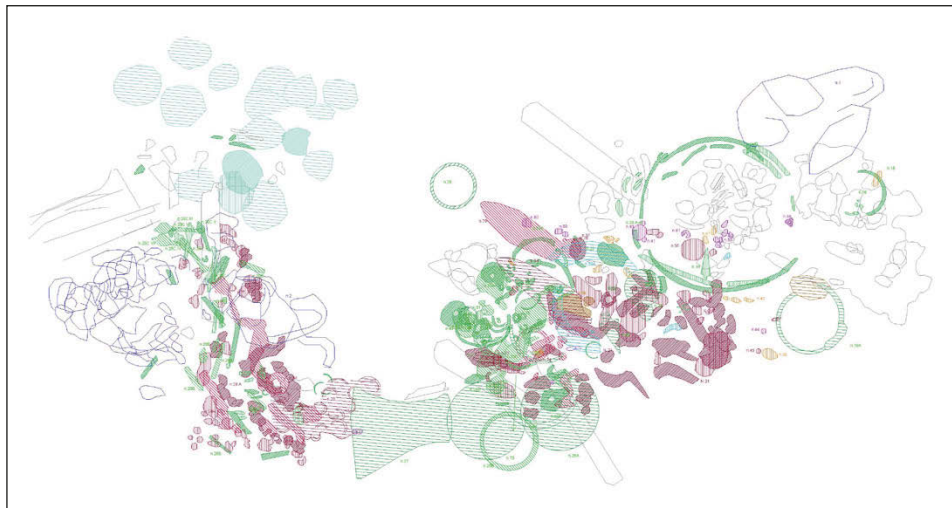


Fig. 6 – Rilievo degli oggetti del corredo nel corso del microscavo.

Da sempre il PFP4 dell'ICR dedica una parte della didattica all'insegnamento delle tecniche di microscavo, preferibilmente attraverso l'allestimento di un cantiere didattico che consente agli studenti di occuparsi di questa delicata tematica. Nel corso dell'attività di microscavo sono stati realizzati rilievi 1:1 (Fig. 6) e riferimenti (punti fissi sul piano di lavoro) per poter procedere al recupero graduale degli elementi conservati nel pane di terra e al loro riposizionamento sul grafico, individuando così varie tipologie di materiali costitutivi, quali ceramiche, oggetti in ferro, in bronzo, ma anche piccole paste vitree e ambre. In tal modo sono stati identificati tre principali livelli di sovrapposizione dei reperti e le allieve, con il supporto degli esperti dell'Università Politecnica delle Marche, hanno eseguito l'acquisizione delle immagini fotografiche finalizzate alla ricostruzione tridimensionale dei suddetti strati.

Nella tomba 27 sono stati rinvenuti numerosi reperti di piccole dimensioni, soprattutto vaghi di ambra e pasta vitrea nella zona del collo, ma anche complesse catenelle in ferro con pendenti in bronzo all'altezza del bacino. La difficoltà maggiore è consistita proprio nel mettere in relazione tutti questi elementi: a seguito di probabili collassi avvenuti durante la fase di giacitura e della perdita dei supporti in materiale organico, quali vesti e stoffe, tali manufatti si presentavano in modo disordinato e confuso. Tutti i reperti prelevati sono stati dunque documentati, registrati e singolarmente restaurati, avendo cura di mantenerli sempre nella posizione originale di rinvenimento attraverso l'uso dei rilievi 1:1 e delle foto. In questi contesti,

unitamente agli studi archeologici, le restituzioni tridimensionali rivestono infatti un ruolo fondamentale nel comprendere la relazione che intercorre tra i vari elementi, costituendo altresì un valido ed efficace strumento di documentazione e valorizzazione: il rilievo tridimensionale consente di posizionare esattamente i reperti anche in base alle quote, agevolando la ricostruzione a livello conservativo ed espositivo di oggetti particolarmente complessi, come nel caso dei numerosi pendagli presenti nella tomba 27 e delle catenelle ad essi collegati.

F.A., L.S., A.D.G., R.B.

4. TECNICHE FOTOGRAMMETRICHE PER LA DOCUMENTAZIONE DELLE FASI DI MICROSCAVO E DEI REPERTI

Nell'ambito di uno scavo stratigrafico, la documentazione di tutte le caratteristiche dei manufatti, delle singole stratigrafie e delle relative informazioni, metriche e non solo, prima che queste subiscano una modifica da parte degli archeologi, assume un ruolo fondamentale nel garantire l'acquisizione di ogni tipo di dato utile sia nella fase di ricerca che nel processo interpretativo (ARRIGHETTI, PANSINI 2022b). Nell'ambito del microscavo della tomba 27 di Colle Vaccaro, si sono dunque acquisite per ciascuna fase di lavoro immagini fotografiche finalizzate alla loro documentazione tridimensionale, seguendo un flusso di lavoro ormai consolidato (GARAGNANI 2021). Gli scatti sono stati realizzati utilizzando una fotocamera Sony a6500, impostando la lunghezza focale a 32 mm e illuminando il pane di terra con 2 pannelli led in posizione fissa. Eseguendo l'acquisizione a 1 m di distanza dal soggetto, 24 immagini sono risultate necessarie per ottenere un'adeguata sovrapposizione tra scatti immediatamente successivi. Al fine di garantire la fedeltà cromatica della rappresentazione digitale, un ColorChecker Classic X-Rite è stato inserito nella scena per un singolo scatto, successivamente utilizzato per generare il profilo colore da applicare alle altre immagini.

I diversi scatti, memorizzati in formato "grezzo", sono stati quindi processati in Adobe CameraRaw, editandone il bilanciamento del bianco e il profilo colore, e salvati in formato compresso. Si è poi proceduto alla ricostruzione tridimensionale in Agisoft Metashape, eseguita per set di immagini relative ad una stessa fase di microscavo, seguendo il flusso di lavoro standard previsto dal software: allineamento delle immagini, inserimento dei marker, come riferimento metrico e per l'ottimizzazione dell'allineamento precedentemente ottenuto, generazione della nuvola di punti densa e da questa del modello mesh (highpoly). Quest'ultimo output è stato quindi successivamente processato in Meshlab al fine di eliminarne gli errori topologici, chiudere eventuali buchi e quindi procedere all'operazione di retopology, finalizzata ad ottenerne una seconda versione a mesh quadrate



Fig. 7 – Step principali nel processo di elaborazione della replica digitale di una delle fasi di scavo.

e ridotta nel numero di poligoni (lowpoly). Dei due modelli elaborati si è poi eseguito lo UV unwrapping in Blender e la versione highpoly è stata quindi nuovamente importata in Agisoft Metashape per la generazione della texture fotografica. Infine, per garantire al modello lowpoly la medesima resa visiva di quello highpoly, si sono eseguite le operazioni di normal e diffuse baking (Fig. 7).

Il medesimo processo di documentazione è stato quindi applicato ad alcuni reperti, integrandolo in questo caso con la tecnica del focus stacking al fine di garantire un adeguato livello di dettaglio nonostante le ridotte dimensioni degli oggetti (CLINI *et al.* 2016). Ciascuno dei reperti presi in esame è stato posizionato su di un piatto rotante, riportante sulla sua superficie dei target a distanza nota e posto all'interno di un softbox illuminato da due pannelli led posti al suo esterno. Le immagini sono state acquisite utilizzando una fotocamera Sony $\alpha 9$ dotata di obiettivo macro a distanza focale fissa 90 mm e montata su di un cavalletto fotografico posto a 35 cm dal soggetto. Impostato l'angolo di rotazione del piatto pari a 30° , definite 4 diverse altezze di ripresa e individuati 5 punti di messa a fuoco per ciascuna di esse, un totale di 240 immagini sono state acquisite per ciascun reperto, oltre ad un singolo scatto relativo al colorchecker (Fig. 8). Le immagini, suddivise per reperto, sono state quindi processate in Adobe CameraRaw e, utilizzando il software Helicon Focus, per ciascun set di foto corrispondente ad una medesima posizione di acquisizione, ma differente punto di messa a fuoco, si è proceduto alla fusione in un'unica immagine. Si è infine eseguito il processo di ricostruzione tridimensionale secondo il medesimo flusso di lavoro già descritto per le fasi di microscavo.

R.A., P.C.

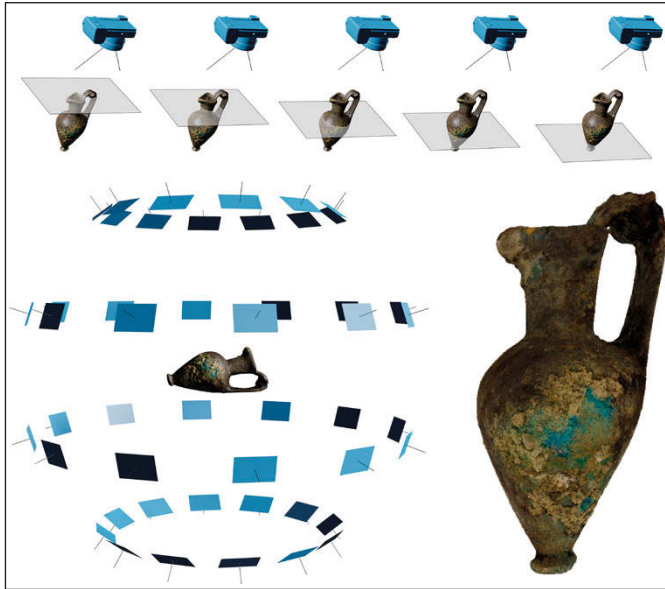


Fig. 8 – Piani di messa a fuoco e postazioni di ripresa per la replica digitale di un pendaglio a forma di *oinochoe*.

5. UN MODELLO INFORMATO PER LA DOCUMENTAZIONE E LA FRUIZIONE VIRTUALE DEI DATI DI SCAVO

I modelli tridimensionali delle diverse fasi operative e dei reperti hanno quindi costituito il punto di partenza per la strutturazione di un archivio digitale del microscavo basato su un approccio di modellazione informata: l'idea base è stata quella di mutuare i vantaggi peculiari del Building Information Modeling (BIM), garantendo l'arricchimento informativo precipuo per il caso di specie. Numerosi lavori di ricerca (LICHERI 2016; BOSCO *et al.* 2019) hanno sperimentato l'applicazione di tale metodologia in ambito archeologico, evidenziando come l'efficacia di tale processo dipenda dalla possibilità di una corretta rappresentazione degli oggetti reali, basata su rilievi 3D (CENTOFANTI *et al.* 2016) e dall'associazione di dati derivanti dall'analisi diretta dei manufatti, nonché dalla conoscenza di testi antichi e tecniche di realizzazione. Coerentemente a tale considerazione (SCIANNA *et al.* 2020) individua tra i principali aspetti da valutare nell'ambito della rappresentazione il livello di dettaglio di un oggetto BIM, definito dalla normativa italiana (UNI 11227:2017) come livello di sviluppo (Level Of Development, LOD). Il LOD viene in particolare riferito a due componenti: il livello di geometria (Level Of Geometry, LOG), prettamente attinente alla rappresentazione

grafica dell'oggetto, e il livello di informazione (Level Of Information, LOI), riferito alle informazioni semantiche ad esso associate. In MAIEZZA 2019, partendo dai concetti di LOG e LOI, vengono proposti per il patrimonio storico due livelli di affidabilità: il livello di accuratezza (Level of Accuracy, LoA), dipendente dall'accuratezza geometrica, e il livello di qualità (Level of Quality, LoQ), riferito ai contenuti informativi associati a ciascun oggetto. LoA e LoQ permettono insieme di definire quindi il livello di affidabilità complessivo della rappresentazione (Level of Reliability, LoR).

Alcuni degli studi fin qui citati hanno inoltre sottolineato come l'approccio BIM, in origine pensato per le nuove costruzioni (EASTMAN *et al.* 2008), così come quello HBIM, oggi diffusamente applicato all'architettura storica (GIGLIARELLI *et al.* 2022; MAMMOLI *et al.* 2022), non si adattino in maniera ottimale all'ambito archeologico. In GARAGNANI *et al.* 2016 si è quindi coniato il termine ArchaeoBIM, per definire un processo di gestione delle informazioni attraverso modelli analitici integrati, declinato specificatamente alla ricostruzione archeologica. La modellazione parametrica viene anche in questo caso realizzata tramite software di BIM authoring (Autodesk Revit) dichiaratamente sviluppato per la progettazione di nuove costruzioni. In GARAGNANI 2021 lo stesso metodo viene consolidato, concentrandosi in particolare sulla generazione di modelli ricostruttivi di architetture completamente o in parte perdute. In BOSCO *et al.* 2021, il medesimo software viene utilizzato come strumento di modellazione nell'ambito di un workflow per la generazione di un Archaeological BIM (ABIM) finalizzato allo studio, utilizzo e conservazione di un sito archeologico. In tale progetto la modellazione parametrica viene eseguita sulla base di una nuvola di punti ottenuta da immagini acquisite tramite drone, utilizzandone il dato tridimensionale unicamente come strumento per la costante verifica dei modelli manualmente generati. In PEPE *et al.* 2021, la rappresentazione "scan to BIM" è invece realizzata attraverso un'innovativa procedura basata su strumenti forniti da diversi software di modellazione tridimensionale non parametrica e finalizzata all'implementazione in ambiente GIS.

L'approccio proposto per il microscavo della tomba 27 di Colle Vaccaro segue quest'ultima impostazione, non prevedendo un'ulteriore modellazione in ambiente BIM, bensì esclusivamente l'arricchimento semantico dei modelli elaborati tramite il processo di ricostruzione fotogrammetrica precedentemente descritto. A tal fine, le rappresentazioni tridimensionali in formato non parametrico sono state importate in Blender, dove, utilizzando l'add-on BlenderBIM, è stato possibile associare loro diverse informazioni secondo lo standard IFC. *In primis*, il sito di provenienza del pane di terra è stato rappresentato tramite un elemento privo di geometria (empty) attribuito alla classe IFCSite, di cui sono stati valorizzati i campi relativi al nome, alla descrizione, alla tipologia e alle coordinate geografiche e a cui è stato associato come documento allegato la relativa scheda dell'ICCD. Dopo un'attenta

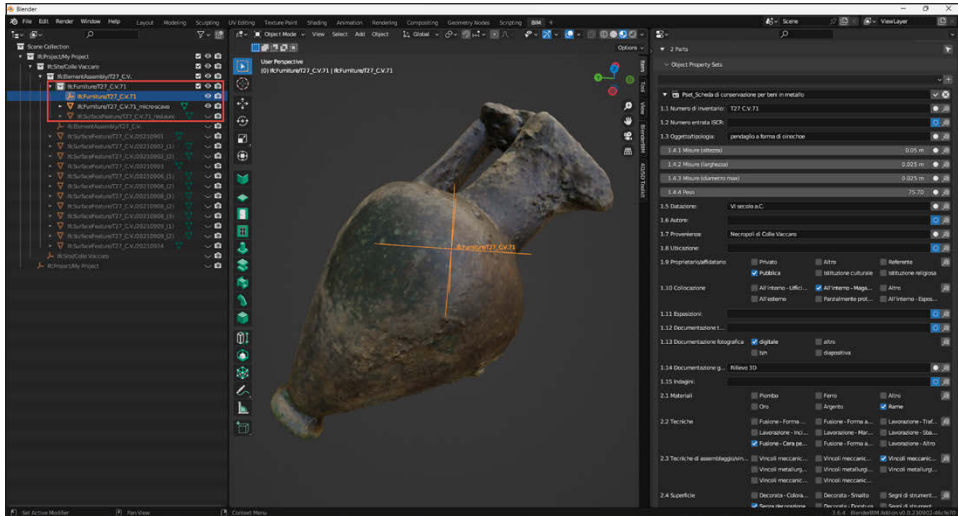


Fig. 9 – Visualizzazione del progetto in ambiente BIM. A sinistra, la struttura definita per il singolo reperto, al centro visualizzazione del modello 3D, a destra il property set riportante le informazioni della scheda per la conservazione dell'oggetto.

analisi delle diverse classi IFC disponibili, si è deciso di attribuire il pane di terra alla classe IFCElementAssembly, associata anche in questo caso ad una empty, valorizzandone i campi relativi a nome, descrizione e tipo di oggetto. Il modello 3D relativo a ciascuna delle fasi di lavoro del microscavo è stato invece assegnato alla classe IFCSurfaceFeature.

Appartenendo a 3 diversi livelli della medesima unità stratigrafica, i 12 modelli del pane di terra sono stati quindi raggruppati in 3 coerenti IFCGroup e riferiti all'IFCElementAssembly precedentemente definito in qualità di suoi aggregates, risultando in tal modo tutte le fasi di lavoro del microscavo raccolte all'interno della medesima collection. A ciascuna di esse è stato quindi associato un ID di riferimento e l'informazione temporale relativa all'avvio e al termine delle sue operazioni di scavo, nonché l'indicazione degli operatori coinvolti. Per quanto inerente ai reperti, seguendo il medesimo approccio, si è generata una empty che è stata quindi assegnata alla classe IFCFurniture valorizzandone il campo riferito al nome con il rispettivo numero di inventario e definendone la tipologia di oggetto (i.e., pendaglio). In aggiunta a ciascuna empty è stato associato un elenco di valori personalizzato (IFC-CustomPropertySet) riportante tutte le informazioni proprie della scheda di conservazione dell'oggetto come redatta dalle studentesse e verificata dalle docenti dell'ICR. Le repliche realizzate relative alla fase di scavo sono state associate alla classe IFCFurniture, mentre quelle successive al restauro sono

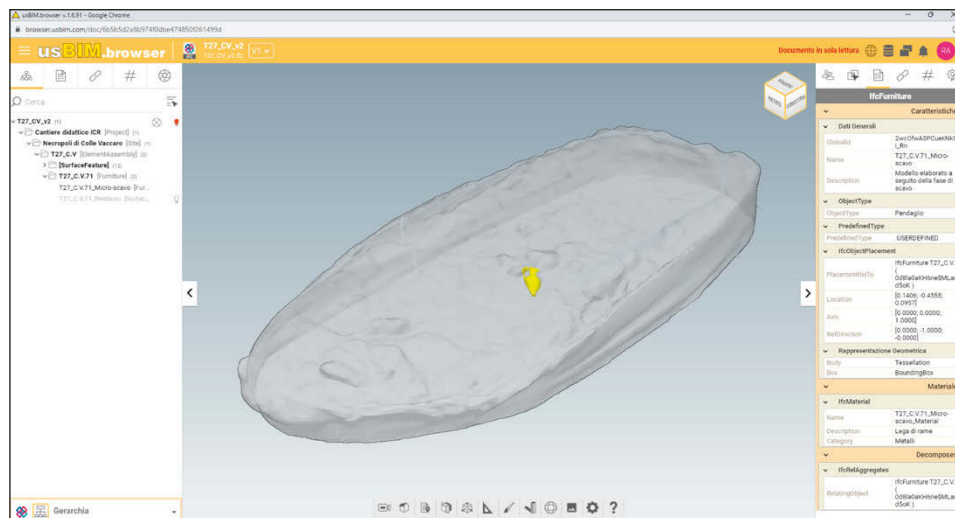


Fig. 10 – Visualizzazione del progetto nella piattaforma di condivisione IFC usBIM.browser. Modello di fase di scavo e in evidenza modello di reperto a questa associato.

state associate alla classe IFCSurfaceFeature. Entrambi i due oggetti sono stati individuati come aggregates dell'oggetto IFCFurniture definito in fase iniziale dalla empty (Fig. 9). Infine, i diversi materiali caratterizzanti i reperti sono stati associati alla classe IFCMaterial e potranno essere ulteriormente dettagliati in ragione delle informazioni derivanti dalle indagini fisico-chimiche che saranno in futuro condotte.

Dalla struttura gerarchica finale del progetto IFC risultano chiare le relazioni tra i diversi oggetti: un'istanza IFCSite, il sito archeologico della necropoli di Colle Vaccaro, seguita da un'istanza IFCElementAssembly, la tomba 27, infine, al livello più basso, le istanze IFCFurniture, relative a ciascun reperto archeologico. Ai fini della visualizzazione, per facilitare la lettura e l'individuazione dei diversi oggetti, si sono inoltre definiti degli IFCLayer distinti per tipologia di reperto.

L'utilizzo dello standard IFC, formato file neutrale e aperto, permette infine di condividere facilmente tali dati anche tramite soluzioni online completamente gratuite, offrendo così un'efficace e agile soluzione per la consultazione e l'integrazione dei dati da parte di studiosi e ricercatori, un aspetto considerato fondamentale nell'ambito della presente ricerca. In particolare, si è deciso di utilizzare la piattaforma gratuita usBIM.browser. Una demo del progetto IFC relativo al microscavo della tomba 27, riportante le 12 fasi di scavo documentate e un singolo reperto archeologico, è stata quindi caricata online, offrendo la possibilità di visualizzare, integrare e modificare i dati a

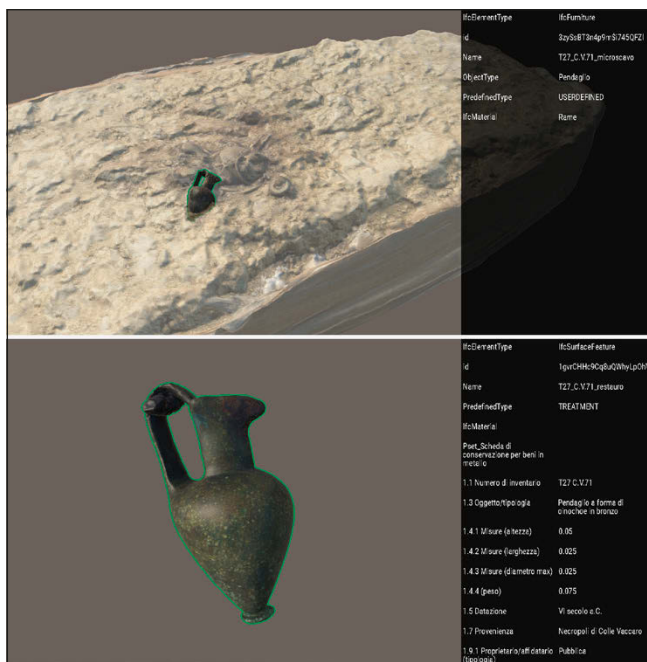


Fig. 11 – Visualizzazione e interazione con il progetto IFC sviluppate in Unity. Sopra, pendaglio a forma di *oinochoe* nell’ambito della fase di microscavo associata al rinvenimento; sotto, il reperto dopo il restauro.

seconda del ruolo assegnato all’utente. L’esportazione del progetto IFC dal contesto software di Blender ha indotto però la perdita dell’UV unwrapping e delle texture associate ai modelli tramite materiali PBR (Photorealistic Based Render). Ricorrendo al visualizzatore utilizzato, o ad altri della medesima tipologia, i modelli vengono così visualizzati di un singolo colore, come definito dalla proprietà IFCStyle (Fig. 10). Al fine di ovviare a tale problematica, si è quindi deciso di sviluppare un visualizzatore dedicato, ricorrendo al motore grafico Unity. Tale ambiente di sviluppo, grazie all’utilizzo del plugin IFCImporter, ha reso possibile lo sviluppo di un visualizzatore che permette di esplorare tridimensionalmente i diversi modelli, impostarne la visibilità, e mostrarne i diversi set di informazioni associati, offrendo un’interazione analoga a quella proposta dai visualizzatori IFC disponibili online. Grazie alle potenzialità del motore grafico utilizzato si è però reso possibile reintrodurre le informazioni legate all’UV unwrapping e alle texture, garantendo nuovamente la visualizzazione fotorealistica dei modelli (Fig. 11).

R.A., R.Q.

6. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il presente lavoro di ricerca ha messo in evidenza la versatilità della rappresentazione informata nella documentazione del patrimonio archeologico, estendendone l'applicazione dall'ambito prettamente architettonico a quello dalle operazioni di scavo e di restauro. In particolare, si è dimostrata l'efficacia di strumenti propri della metodologia BIM anche per una documentazione esaustiva delle fasi di scavo e delle azioni volte alla conservazione di reperti di tipologia differente. Si è così strutturato un sistema informativo completo, in grado di assicurare la gestione di diverse informazioni semantiche riferite all'intero sito così come ai suoi singoli reperti, evitando quella dispersione di conoscenza che spesso ricorre in ambiti come questo caratterizzati dalla collaborazione di diverse discipline. La scelta di un approccio BIM ha infatti permesso un'efficace integrazione di rappresentazioni tridimensionali e informazioni di diverso tipo, consentendo in fase di scavo agli archeologi di documentare in modo accurato e dettagliato i diversi livelli del pane di terra e i suoi reperti; successivamente, al restauratore di integrare con ulteriori rappresentazioni e informazioni legate al loro processo di conservazione. Si è quindi generata una rappresentazione 4D tanto del pane di terra, nelle sue diverse fasi di scavo, quanto dei suoi reperti, come rinvenuti e dopo il restauro, cui sono state ulteriormente associate informazioni legate agli aspetti conservativi. Un modello che, inoltre, offre un'esatta rappresentazione della originale distribuzione dei reperti, conservando memoria delle loro relazioni spaziali; un aspetto che in ambiti analoghi può giocare un ruolo fondamentale per la valutazione dell'evoluzione nel tempo del sito archeologico.

Il flusso di lavoro proposto ha poi permesso di ovviare alle limitate possibilità di modellazione tridimensionale in ambiente BIM, pensata per nuove costruzioni in ambito edilizio che, come già evidenziato in altri studi, mal si concilia con le esigenze di rappresentazione di siti archeologici. Un aspetto peraltro in contrasto con la sempre maggiore disponibilità di soluzioni in grado di generare in maniera semi-automatica repliche digitali caratterizzate da un altissimo livello di accuratezza geometrica e colorimetrica. Il flusso di lavoro proposto ha offerto dunque una possibile soluzione per sfruttare appieno tali potenzialità, partendo dall'elaborazione di modelli non informati, quindi informati come istanze IFC. Un processo che ha previsto l'unico compromesso di generare modelli lowpoly, necessari per facilitarne la condivisione web-based e la visualizzazione, ma che ha comunque permesso di raggiungere un elevato LoA senza ricorrere a lunghi processi di modellazione manuale tramite software di BIM authoring.

Per quanto riguarda invece le informazioni semantiche associate alle istanze IFC, il presente processo è stato strutturato a partire dalle classi

predefinite e dalle relative definizioni. Un IFCSite è in particolare definito come un sito che può essere utilizzato per erigere, ristrutturare o demolire un edificio, o per altri sviluppi legati alla costruzione. Nonostante la chiara derivazione di tale definizione all'ambito delle costruzioni, i parametri ad essa associati, come ad esempio i riferimenti geografici, ben si prestano anche all'arricchimento semantico di uno scavo archeologico. Un IFCElementAssembly è definito invece come un elemento composito, in questo caso si sono intesi come componenti della IFCElementAssembly i reperti, per i quali si è optato per l'associazione alla classe IFCFurniture, trattandosi di elementi relativi all'arredo funerario. Per meglio specificarne le caratteristiche, si è quindi reso necessario associare a tali istanze un set di parametri personalizzati, un aspetto che potrebbe essere in futuro superato arrivando alla definizione di classi IFC prettamente riferite all'ambito archeologico, non solo di carattere architettonico. Difatti, se nel suo insieme la metodologia BIM si è rivelata molto efficace ai fini della rappresentazione e della sistematizzazione delle informazioni per il caso di studio proposto, manca ad oggi una standardizzazione condivisa di classi legate all'archeologia, che ne potrebbe favorire una più larga diffusione in tale ambito, non solo per manufatti architettonici. Dunque, lavori che si occupino della definizione di classi e ontologie archeologiche sono sicuramente indicabili come possibili sviluppi futuri.

È inoltre auspicabile che il flusso di lavoro per la documentazione del microscavo della tomba 27 di Colle Vaccaro possa essere in futuro applicato anche agli scavi delle altre tombe ivi rinvenute. Questo permetterebbe infatti di strutturare un sistema informativo completo dell'intera area, ampliando il progetto qui presentato e dimostrando l'efficienza della soluzione proposta, garantita dalla possibilità di riutilizzo dei set di parametri personalizzati già definiti. Infine, va sottolineato come l'implementazione in Unity del progetto IFC renda possibile l'implementazione di ulteriori interazioni che aprono a scenari di fruizione rivolti anche a pubblici di non addetti ai lavori.

R.A.

SOFIA CINGOLANI

Direzione Regionale Musei Marche
sofia.cingolani@cultura.gov.it

PAOLO CLINI, RAMONA QUATTRINI, RENATO ANGELONI

Università Politecnica delle Marche
p.clini@univpm.it, r.quattrini@univpm.it, r.angeloni@univpm.it

FRANCESCA ANGELO, LIVIA SFORZINI, ANTONELLA DI GIOVANNI, ROBERTA BOLLATI

Istituto Centrale per il Restauro
francesca.angelo@cultura.gov.it, livia.sforzini@cultura.gov.it
antonella.digiovanni@cultura.gov.it, roberta.bollati@cultura.gov.it

BIBLIOGRAFIA

- APOLLONIO F.I., FANTINI F., GARAGNANI S., GAIANI M. 2021, *A photogrammetry-based workflow for the accurate 3D construction and visualization of museums assets*, «Remote Sensing», 13, 3, 486 (<https://doi.org/10.3390/rs13030486>).
- ARRIGHETTI A., PANSINI R. (eds.) 2022a, *Sistemi e tecniche di documentazione, gestione e valorizzazione dell'architettura storica. Alcune recenti esperienze*, «Archeologia e Calcolatori», 33.1 (<https://www.archcalc.cnr.it/journal/idyear.php?IDyear=2022-07-25>).
- ARRIGHETTI A., PANSINI R. 2022b, *Introduzione*, in ARRIGHETTI, PANSINI 2022a, 9-14 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.01>).
- BOSCO A., CARPENTIERO L., D'ANDREA A., MINUCCI E., VALENTINI R. 2021, *Developing an ABIM system: A new prospective for archaeological data management*, in A. CARVALE (ed.), *Archaeological Computing: Selected Papers from the 2020 IMEKO TC-4 MetroArchaeo International Conference*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 167-176 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.15>).
- BOSCO A., D'ANDREA A., NUZZOLO M., ZANFAGNA P. 2019, *A BIM approach for the analysis of an archaeological monument*, «The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 165-172 (<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-165-2019>).
- CENTOFANTI M., BRUSAPORCI S., MAIEZZA P. 2016, *Tra "HistoricalBIM" ed "HeritageBIM": Building Information Modeling per la documentazione dei beni architettonici*, in S. PARRINELLO, D. BESANA (eds.), *IV Convegno internazionale sulla documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e per la tutela paesaggistica (Firenze 2016)*, Firenze, Edifir, 42-51.
- CLINI P., ANGELONI R., D'ALESSIO M., PERNA R., SFORZINI D. 2022, *La digitalizzazione per la documentazione, lo studio e la fruizione di un sito archeologico. La VR experience del teatro di Ricina*, in ARRIGHETTI, PANSINI 2022a, 279-296 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.15>).
- CLINI P., FRAPICCINI N., MENGONI M., NESPECA R., RUGGERI L. 2016, *SfM technique and focus stacking for digital documentation of archaeological artifacts*, «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences», XLI-B5, 229-236 (<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-229-2016>).
- COEN A., SEIDEL S. 2009-2010, *I materiali preromani di Montegiorgio della collezione Gian Battista Compagnoni Natali conservati presso il Museo Archeologico di Ancona*, «Bollettino di Paletnologia italiana», 98, n.s. 16, 173-295.
- DELGADO LLATA R. 2022, *Una metodologia di microscavo e di documentazione al servizio della conservazione*, «Bollettino ICR», n.s. 37, 24-36.
- DELPIANO D. 2021, *Antiche e moderne tecnologie: l'applicazione delle tecniche di rilevamento tridimensionale per la rappresentazione e l'analisi dei manufatti litici*, «Archeologia e Calcolatori», 32.1, 43-62 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.1.2021.03>).
- DE PALMA G., DONATI P., GIULIANI M.R. 2013, *Il pronto intervento sullo scavo e microscavo, in Il restauro in Italia. Arte e tecnologia nell'attività dell'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro*, Roma, Gangemi Editore, 215-221.
- EASTMAN C., TEICHOLZ P., SACKS P.R., LISTON K. 2008, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Hoboken, Wiley.
- GARAGNANI S. 2021, *Quick digitization techniques: The case study of Numana necropolis*, in V. BALDONI (ed.), *From Pottery to Context. Archaeology and Virtual Modelling*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 53-62 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.06>).
- GARAGNANI S., GAUCCI A. 2020, *The ArchaeoBIM method and the role of digital models in archaeology*, in A. CARVALE, P. MOSCATI (eds.), *Logic and Computing. The Underlying Basis of Digital Archaeology. Proceedings of the MetroArchaeo 2019 Special Session, 2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology*

- and Cultural Heritage (Florence 2019)*, «Archeologia e Calcolatori», 31.2, 181-188 (<https://doi.org/10.19282/ac.31.2.2020.17>).
- GARAGNANI S., GAUCCI A., GOVI E. 2016, *ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 251-270 (<https://doi.org/10.19282/AC.27.2016.13>).
- GIGLIARELLI E., CANGI G., CESSARI L. 2022, *Rilievo per la modellazione e la gestione informativa HBIM. Approccio multicomponente per l'analisi strutturale e il restauro di edifici storici*, in ARRIGHETTI, PANSINI 2022a, 135-155 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.08>).
- LICHERI A. 2016, *Prospettive sull'utilizzo del Building Information Modelling (BIM) in archeologia*, in P. BASSO, A. CARAVALE, P. GROSSI (eds.), *ArcheoFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del IX Workshop (Verona 2014)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 8, 197-202 (https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_8/25_Licheri.pdf).
- LUCENTINI N. 1987, *Note per la viabilità dell'Ascolano meridionale in età preistorica*, in *Le strade nelle Marche. Il problema nel tempo. Atti del Convegno (Fano-Fabriano-Pesaro-Ancona 1984)*, I, Ancona, Arti Grafiche Editoriali Urbino, 463-465.
- LUCENTINI N. 1991, *Colli del Tronto (AP), località Casale Superiore: insediamento dell'età del Bronzo e del Ferro*, in M. LUNI (ed.), *Scavi e ricerche nelle Marche, QuattroVenti*, 17-18.
- LUCENTINI N. 1999, *Schede per località. Colli del Tronto*, «Picus», 19, 349-355.
- LUCENTINI N. 2002, *Museo Archeologico di Ascoli Piceno*, Pescara, Carsa.
- MAIEZZA P. 2019, *As-built reliability in architectural HBIM modeling*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 42-2/W9, 461-466 (<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-461-2019>).
- MAMMOLI R., INÌ M., QUATRINI R. 2022, *Metodologie a supporto ricerca storico-archivistica e per la trasparenza del modello HBIM del Lazzaretto di Ancona nel progetto di Luigi Vanvitelli*, in ARRIGHETTI, PANSINI 2022a, 157-178 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.09>).
- PEPE M., COSTANTINO D., ALFIO V.S., RESTUCCIA A.G., PAPALINO N.M. 2021, *Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site*, «Journal of Cultural Heritage», 50, 115-125 (<https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.006>).
- SCIANNA A., GAGLIO G.F., LA GUARDIA M. 2020, *HBIM data management in historical and archaeological buildings*, «Archeologia e Calcolatori», 31.1, 231-252 (<https://doi.org/10.19282/ac.31.1.2020.11>).
- WEIDIG J. (ed.) 2017, *Il ritorno dei tesori piceni a Belmonte. La riscoperta a un secolo dalla scoperta*, Roma, Astra Edizioni.
- ZANGROSSI F., DELPIANO D., COCILOVA A., FERRARI F., BALZANI M., PAESANI M. 2019, *3D visual technology applied for the reconstruction of a Paleolithic workshop*, «Journal of Archaeological Science: Reports», 28, 102045 (<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102045>).

ABSTRACT

The widespread integration of digital technologies in the field of archaeology, facilitated by increasingly powerful and economically accessible tools, is producing a profound transformation in the conventional methodologies employed by archaeologists. This contribution specifically delves into the documentation of excavation phases and artifacts, presenting a workflow tested on the tomb 27 of the Colle Vaccaro necropolis (AP) within the educational project managed by the Istituto Centrale del Restauro (ICR). The digital representation of distinct layers and artifacts, developed together with with micro-excavation and restoration

operations, serves as a tool for real-time analysis and documentation. Crucially, it acts as a foundational element for constructing an information system geared towards subsequent and more comprehensive historical-archaeological analyses. The outcome of this contribution is the formulation of a semi-automatic process designed to ensure a geometrically accurate and informed three-dimensional representation. This workflow for documenting an excavation and its artifacts is designed to facilitate efficient data utilization both for scholars and professionals.