

UN (MULTI)METAVERSO DI SCAVO ARCHEOLOGICO: MAPOD4D A CASTELSEPRIO

1. INTRODUZIONE

Il dato archeologico stratigrafico è di per sé caratterizzato da attributi spaziali, volumetrici ed alfanumerici. La sua complessa gestione, tradizionalmente cartacea (e quindi di per sé bidimensionale), ha portato nel tempo a ricercare soluzioni e flussi di lavoro da una parte sempre più articolati, per coglierne la complessità, dall'altra rapidi, per esigenze e tempistiche dello scavo. Per gli attributi spaziali ed alfanumerici, i GIS hanno una lunga tradizione di utilizzo per la mappatura e/o la registrazione delle evidenze archeologiche e molte applicazioni proprietarie e aperte sono state realizzate a questo scopo (come iDig, Archtools, iDAi.field, Open Dig e molte altre (DONEUS *et al.* 2022; PSARROS *et al.* 2022; HOHL *et al.* 2023)). La gestione del dato tridimensionale 3D però pone diverse sfide; tra queste, la memorizzazione (RICHARDS-RISSETTO, VON SCHWERIN 2017), la condivisione e l'interrogazione delle rappresentazioni 3D di uno scavo sono le più comuni (JENSEN 2018). Questi problemi sono aumentati in modo esponenziale dopo l'introduzione di metodi più rapidi ed economici per documentare digitalmente gli scavi archeologici (DE REU *et al.* 2014). La ricerca ha fornito diverse soluzioni, tra cui GIS 3D (NGUYEN-GIA *et al.* 2017; DELL'UNTO, LANDESCI 2022), piattaforme web based (JENSEN 2018), la creazione di ambienti di ricerca virtuali 3D (AUER *et al.* 2014; DRAP *et al.* 2017). Anche in Italia la sperimentazione sulla gestione del dato ha avuto momenti di grande spinta (in questo maestra era, e rimane, l'esperienza senese, si veda FRONZA *et al.* 2009; BERTOLDI 2021).

M.M.

2. LA RIPRESA DEGLI SCAVI A CASTELSEPRIO: CASA PICCOLI

All'interno di questa cornice si collocano le attività di indagine stratigrafica di Casa Piccoli (Castelseprio, VA,) da parte della Cattedra di Metodologia e Tecniche dell'Archeologia dell'Università di Chieti. Si tratta di un complesso edilizio con diversi vani, di cui almeno tre sono stati individuati al di sotto del livello attuale del terreno. Questi vani mostrano due fasi di costruzione distinte: la più recente evidenzia muri di notevole spessore, suggerendo un possibile sviluppo in verticale, tipico di una residenza di alto prestigio che nel 1841 era descritta come una «torre adiacente alla chiesa di San Paolo». L'obiettivo dello scavo è quindi quello di esaminare l'intera struttura, la sua evoluzione nel tempo e le diverse funzioni degli ambienti individuati. L'area,



Fig. 1 – A sinistra foto aerea di “Casa Piccoli”, a destra l’Ambiente 1, foto aerea e da terra.

già precedentemente indagata dal Piccoli, presentava importanti evidenze di attività metallurgiche (CUCINI TIZZONI 2013). Le indagini stratigrafiche si sono, quindi, concentrate nel corso delle campagne di scavo 2021-2023, nell’ambiente di accesso alla struttura (Amb. 1) ed in quelli circostanti (Amb. 2, nel quale il Piccoli aveva rinvenuto traccia degli apprestamenti per la lavorazione dei metalli) e Amb. 3 (LA SALVIA *et al.* 2022). Per gli ambienti 1 e 2 la situazione stratigrafica si è presentata fortemente sconvolta da azioni moderne, così come molto invasivi sono i restauri operati sulle strutture murarie (SURACE, VILLA 1988). La posizione centrale all’interno dell’insediamento di Castelseprio, nonché la vicinanza al complesso di San Giovanni, insieme alle dimensioni delle strutture murarie – che suggeriscono la presenza, almeno in una fase della sua storia, di un piano superiore – indicano che questa porzione dell’abitato potrebbe essere stata destinata a un edificio di grande prestigio.

L’ambiente 1 (Fig. 1) del sito “Casa Piccoli” è il fulcro delle attività archeologiche delle varie Campagne di Scavo. Ciò è dettato dal contesto pluristratificato che, dal Basso Medioevo, arriva fino alla Tarda Antichità, non presenta analogie con le altre aree del sito. Riassumendo, l’ambiente 1, presenta le sue tracce più antiche con l’utilizzo dell’area per le operazioni pirotecniche per la riduzione e la lavorazione di metalli non ferrosi. Questo dato è confermato da tutta una serie di indicatori della produzione metallurgica, quali scorie, scarti di lavorazione, frammenti di ugelli, e pareti di forno. Le numerosissime tracce materiali consentono di datare, in maniera assolutamente preliminare, l’utilizzo

della fornace tra la il VI e l'inizio del VII secolo. Successivamente a questa fase più antica, l'ambiente viene trasformato, questa volta cambiando utilizzo e orientandosi verso una funzione abitativa. L'area con le tracce di attività metallurgica viene livellata tramite l'impostazione di una pavimentazione litica, legata da argilla, e la costruzione di muri portanti.

M.M., A.M.

3. IMPOSTAZIONI TEORICHE

All'interno del progetto "Castelseprio centro di potere" (DE MARCHI, BROGIOLO 2020; MASSEROLI 2020) il momento dello scavo rappresenta, a tutti gli effetti, il momento di *beta testing* per analizzare e ottimizzare il flusso di lavoro. Per riprendere il linguaggio di sviluppo informatico, lo scavo è solo l'ultimo test di una serie di *alpha testing* svolti precedentemente, ovvero nelle fasi di programmazione, formazione e sperimentazione dei programmi. I test primari si possono dividere in due categorie: la prima riguarda la formazione degli *users* (studenti), calibrata a seguito dei risultati di laboratorio e dalle elaborazioni della campagna precedente. La seconda è l'inserimento gestionale del test all'interno del progetto di ricerca, il quale prevede la consegna di documenti per gli Enti pubblici e risultati scientifici per il Progetto stesso. In ultimo ma non per importanza, anche la formazione dei nuovi studenti alle attività archeologiche in senso lato è una operazione imprescindibile ai fini del percorso formativo universitario. In sostanza, lo sviluppo di nuovi protocolli per la documentazione informatizzata prende in considerazione l'intero ambito tecnico-gestionale di un progetto di ricerca, al fine di diventarne parte essenziale sia da un punto di vista di sviluppo metodologico (ambito tecnico), che da un punto di vista di ottimizzazione delle attività (ambito gestionale).

Al fine di rendere organico lo sviluppo e la sperimentazione di nuove tecniche documentative, il gruppo di ricerca ha sviluppato una sperimentazione modulare, la quale prevede lo sviluppo delle nuove tecniche e integrarle di anno in anno. Ciò è stato ritenuto necessario per diversi motivi: il primo è stato dipeso dalla necessità di raggiungere diversi obiettivi e risultati all'interno del progetto. Il secondo è stato dettato dalla formazione: non si poteva portare sul cantiere un pacchetto di ottimizzazioni informatiche senza la dovuta sperimentazione. Ciò avrebbe richiesto molto tempo in termini di formazione degli *users* e di laboratorio. Oltre al fatto che, se il sistema non fosse stato ottimizzato correttamente, si sarebbero potuti ottenere dei ritardi nel raggiungimento degli obiettivi di ricerca. Per tanto, l'implementazione a *steps* è stata scelta in virtù del minore tempo di formazione (diluata negli anni) e di una sperimentazione direttamente il loco, senza mettere in difficoltà gli ambiti scientifici e formativi del progetto di ricerca.

A.M.

4. IL LAVORO SUL CAMPO

Con queste premesse, la documentazione della I Campagna di Scavo – 2021 (MODERATO, LA SALVIA 2023) è stata compilata in formato cartaceo direttamente sullo scavo, fatto salvo per la parte di rilievo che è stata realizzata tramite rilievo fotogrammetrico delle UUSS ed elaborazione all'interno del programma Agisoft Metashape; da questo sono stati successivamente estratti gli ortofotomosaici necessari per il rilievo, in maniera simile a quanto fatto per esempio per lo scavo di S. Sisto (MARTINO 2023). La digitalizzazione dell'intera documentazione (schede US, USM, piante, sezioni) è avvenuta in sede di post-scavo all'Università degli studi "G. D'Annunzio". In questa fase sono stati formati gli studenti all'utilizzo del plug-in di QGIS "pyArchInit" (MANDOLESI 2009; MANDOLESI, COCCA 2013; MONTAGNETTI, MANDOLESI 2019; MANDOLESI *et al.* 2022), nel quale sono state disegnate le piante di scavo con collegate le Schede UUSS riscritte in formato digitale. Nonostante l'utilizzo "indiretto" del sistema (riscrittura delle informazioni nel sistema come backup del progetto), gli strumenti disponibili al suo interno hanno da subito mostrato le potenzialità dell'implementazione. Sullo specifico piano di implementazione si rimanda a (MODERATO, LA SALVIA 2023, 42-43).

Il passaggio dal cartaceo al digitale è diventato un obiettivo già dalla II Campagna di Scavo (2022). Il cambiamento di supporto deve però fare i conti con diversi problemi, primo tra tutti, quelli relativi all'hardware. Infatti, il passaggio è imprescindibile dall'utilizzo di un terminale direttamente sul cantiere che, come in molti altri casi, non dispone una connessione fissa alla rete elettrica. Ciò ha costituito la progettazione in una forma "ibrida", che consiste nella documentazione cartacea (ad eccezione delle piante, già di fatto elaborate digitalmente) e trascritte nel sistema direttamente a fine giornata. Il risultato si è tradotto come un'ottimizzazione gestionale della documentazione, una immediata disponibilità dei dati per il report agli Enti SABAP e Parco Archeologico, e la disponibilità all'analisi archeologica a fine scavo. Questo processo, iniziato nella II Campagna di Scavo e proseguita nella III (2023), non è riuscito comunque a risolvere la trasformazione del supporto, in quanto la documentazione deve essere "scritta" due volte: la prima, in formato cartaceo sul cantiere, la seconda in formato digitale a fine giornata. Le problematiche relative all'uso di pyArchInit in contesti dove la logistica non permette l'accesso alla rete elettrica/internet sono state discusse ampiamente in MODERATO, LA SALVIA 2023, 49. Per giungere definitivamente la transizione completa del flusso di lavoro è necessario che i dati entrino direttamente su un'interfaccia digitale, bypassando l'utilizzo del cartaceo. Per la IV Campagna di Scavo si è deciso di utilizzare un tablet da cantiere che, con i dovuti settaggi, possa immediatamente trasferire il dato documentato ad un sistema remoto. L'ingresso dei dati direttamente in formato digitale può

essere passato direttamente ad un terminale con funzione di server, al fine di essere disponibile ai client (users) direttamente da altri terminali. Ciò consentirebbe di poter lavorare direttamente su un unico sistema ed implementare il processo di analisi post-scavo.

M.M.

5. DALLO SCAVO AL META-SCAVO: MAPOD4D

Il passaggio dallo scavo reale alla sua versione digitale avviene attraverso l'utilizzo di MAPOD4D, una piattaforma di multi-metaverso open source. Il progetto MAPOD4D "Multiverse of Metaverses" (TAGLIORETTI *et al.* 2021; MODERATO *et al.* 2023) si propone di creare un framework software per la realizzazione di ambienti digitali in 4 dimensioni (altezza, larghezza, profondità e tempo) dedicati all'antropologia fisica, all'archeologia, alla storia e all'arte. Oltre a realizzare il software che permette la navigazione negli ambienti, sono stati creati protocolli metodologici e sensori elettronici per la raccolta dei dati, sia sul campo che in laboratorio. È stato sviluppato da Roberto Taglioretti, che ne detiene solo i diritti d'autore morali. L'intero progetto è stato realizzato secondo i principi della filosofia FLOSS, per cui durante l'implementazione e nelle successive fasi di elaborazione, il software e l'hardware utilizzati, quando possibile, sono stati scelti tra quelli FLOSS. Il 15 marzo 2023 è stato concesso in licenza EUPL 1.2 (EUPL12), diventando a tutti gli effetti un software FLOSS approvato sia dalla Free Software Foundation che dalla Open Source Initiative.

Il Multiverso di MAPOD4D è un sistema di Metaversi di MAPOD4D. Si tratta di uno spazio 3D infinito che ha un numero illimitato di sottospazi 3D e 2D chiamati "Pianeti" che possono essere collegati tra loro da speciali portali di "teletrasporto". Un "Pianeta" tridimensionale può essere immaginato come tre variabili spaziali cartesiane con gli assi X e Z che definiscono il piano orientato in orizzontale e l'asse Y in verticale, chiamato altitudine; la quarta dimensione interna è chiamata T o tecnicamente "Tempo" e rappresenta una serie di eventi correlati in una sequenza definita. Questo "Pianeta" risente di una forza che funziona come forza gravitazionale con direzione meno infinito sull'asse Y. Ogni "pianeta" 3D può contenere due tipi di elementi: un "modello" e un "oggetto".

Un "Oggetto" è un elemento che deve avere funzionalità interattive e può essere interessato dalla forza gravitazionale. Un elemento "Modello" può essere interessato dalla forza gravitazionale e rappresentare informazioni acquisite digitalmente dalla realtà; questo elemento può anche essere contemporaneamente un "Oggetto". Un "Pianeta" 2D può essere immaginato come un'area cartesiana con gli assi X e Z che definiscono la sua superficie e può contenere solo documenti digitali acquisiti in 2D.

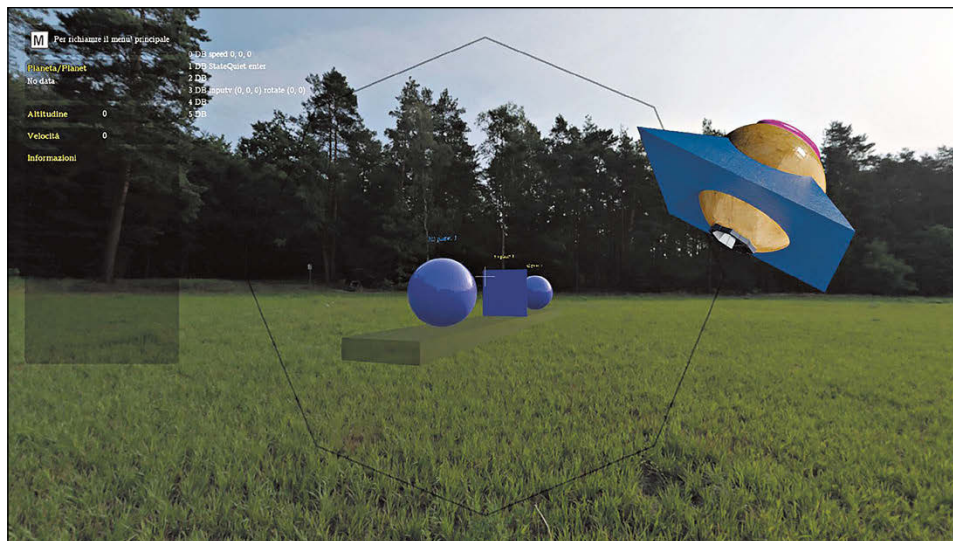


Fig. 2 – Rappresentazione dei Pianeti e del Drone-POV.

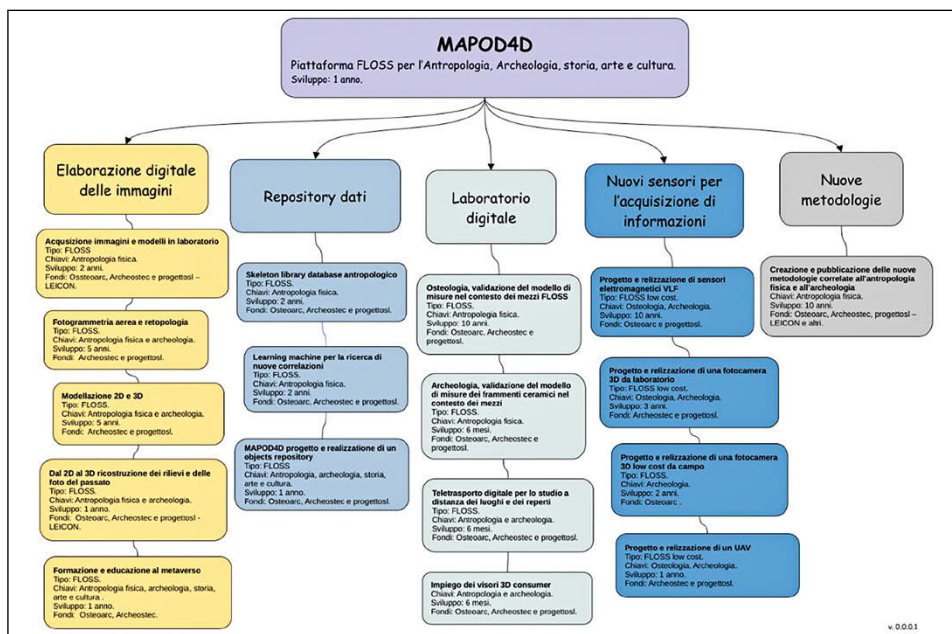


Fig. 3 – Applicazioni in essere e in sviluppo all'interno della piattaforma MAPOD4D.

Quando si visita il metaverso di MAPOD4D, l'utente viene rappresentato come un avatar chiamato MAPOD, che è in grado di volare come un vero e proprio drone, può effettuare diversi tipi di analisi e interagire con gli oggetti (Fig. 2); l'avatar può essere controllato da una tastiera con un mouse o un joystick Joypad X360 o un visore VR in modalità desktop remoto. MAPOD4D Multiverse è anche predisposto per l'interfacciamento con la realtà aumentata. Il cuore dello sviluppo è il motore di gioco GODOT creato da Juan Linietzky che, in quanto motore FLOSS, gode di una comunità molto attiva.

Il progetto MAPOD4D è composto da più progetti e il "Multiverso dei Metaversi" è il principale front-end dedicato alla promozione della conoscenza e della fruizione del patrimonio culturale attraverso un approccio transdisciplinare. I progetti collegati in fase di sviluppo sono raggruppati in cinque temi (Fig. 3): elaborazione di immagini digitali, repository di dati liberi, laboratori digitali, sviluppo di nuovi dispositivi di misurazione hardware liberi e definizione di nuove metodologie.

Tutti i dati mostrati da MAPOD4D "Multiverse of Metaverses" sono disponibili anche alla massima risoluzione, corredati di tutti gli elementi necessari per l'uso e l'analisi scientifica. Tutte le informazioni sullo stato attuale dello sviluppo e dei download di "Multiverso" vecchi e nuovi sono disponibili sul sito web dedicato <https://www.mapod4d.it>.

R.T.

6. UN METAVERSO A CASTELSEPRIO: MAPOD4D-CASA PICCOLI

Avendo a disposizione questo ambiente di sviluppo, nel corso della campagna di scavo 2021 si è deciso di ricostruire il contesto dell'Ambiente 1 all'interno del metaverso. Si è così creato un nuovo metaverso, denominato MAPOD4D-Casa Piccoli. Al suo interno sono confluiti tutti i modelli tridimensionali dell'area indagata, che erano già stati precedentemente elaborati tramite Structure from Motion (SfM) e che quindi necessitavano di poche operazioni di pulizia, realizzate tramite software Blender. Dalla campagna di scavo 2022 anche le attività di rilievo fotogrammetrico sono state modificate per venire incontro ai nuovi bisogni documentativi. Se infatti prima la fotogrammetria era orientata esclusivamente alla realizzazione di ortomosaici sui quali disegnare le piante di scavo (quindi con poca attenzione ai volumi verticali), dal momento in cui il MAPOD4D-Casa Piccoli è stato inserito programmaticamente nel flusso di lavoro al rilievo fotogrammetrico è richiesto di prestare attenzione alle superfici verticali. Nel costruire il multimetaverso di Casa Piccoli attraverso MAPOD4D si è posto l'accento sin dall'inizio sulla sua capacità intrinseca di consentire agli utenti di navigare attraverso diverse fasi temporali del processo di scavo, fornendo un'esperienza di esplorazione dinamica e flessibile. Questa flessibilità temporale consente all'utente di

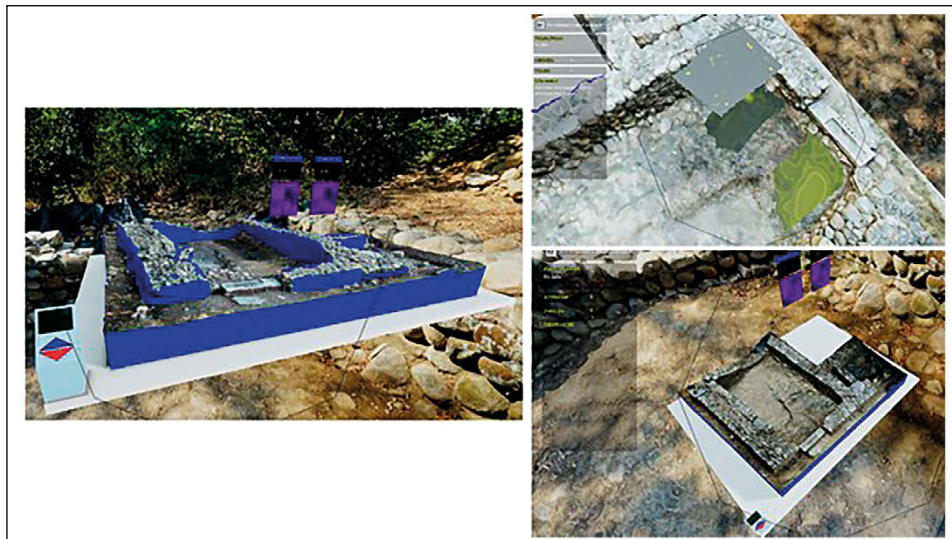


Fig. 4 – MAPOD4D-Castelseprio. A sinistra modelli 3D all'interno del “pianeta”, a destra sovrapposizione con il proxy magnetico e visuale dall'alto.

valutare le relazioni nel deposito stratigrafico nel corso del tempo, cosa che di solito può essere fatta solo attraverso sezioni statiche una volta che il deposito è stato scavato. Spostandosi avanti e indietro nel tempo all'interno dell'ambiente virtuale, è possibile per l'utente rivedere la stratigrafia nel suo contesto spaziale e volumetrico, contestualizzare i manufatti e osservare lo sviluppo del sito nel corso della sua storia. Visualizzando e analizzando i cambiamenti avvenuti nel tempo, l'utente può identificare i modelli, i cambiamenti culturali e formulare interpretazioni più informate del record archeologico.

Inoltre, l'integrazione di dati reali nell'ambiente virtuale assicura che l'esplorazione sia fondata sull'autenticità del sito di scavo. Incorporando i dati di scavo reali, come la disposizione spaziale dei manufatti, la distribuzione delle caratteristiche e gli elementi architettonici, MAPOD4D cerca di rappresentare quanto più fedelmente possibile il contesto di ricerca. Oltre all'integrazione dei dati stratigrafici, MAPOD4D arricchisce ulteriormente il suo ambiente virtuale incorporando vari proxy, tra cui le anomalie magnetiche (Fig. 4). L'incorporazione delle anomalie magnetiche come proxy all'interno dell'ambiente, rilevando le variazioni del campo magnetico terrestre causate da resti archeologici, come strutture sepolte, manufatti o resti di artigianato. Nel caso di Casa Piccoli, ad esempio, la sovrapposizione di anomalie magnetiche e dati stratigrafici ha permesso di ricostruire il profilo generale dell'area di lavorazione del bronzo. Lo sviluppo che attende il MAPOD4D di Casa Piccoli

è quello dell'integrazione fra i due sistemi, ovvero riuscire nella codifica di interazioni tra i dati a disposizione, sia quelli già all'interno del metaverso che quelli nel database Postgres/pyArchInit.

In questo senso si possono individuare i due grandi limiti di questo workflow: il tempo necessario all'elaborazione dei dati e la "manodopera" sul lato coding e deployment. Il primo è abbastanza evidente per chiunque abbia familiarità con fotogrammetria e rilievo digitale: ogni US (o gruppo di UUSS) va fotografato, i marker vanno rilevati tramite stazione totale, e i modelli 3D elaborati tramite SfM. Successivamente i modelli vanno ripuliti tramite Blender e poi riportati all'interno di MAPOD4D-Casa Piccoli, gli ortomosaici importati in QGIS e vettorializzati tramite pyArchInit. Questo processo, che richiede un discreto tempo (oltre a potenza di calcolo) mal si sposa con le tempistiche di cantiere e di post scavo. Il secondo problema è comune a molti progetti FLOSS: lo sviluppo su base volontaria funziona se si riesce a creare una community di supporto al progetto (si veda la fortuna di QGIS: ROSAS-CHAVOYA *et al.* 2022). Nel caso di MAPOD4D si sta cercando, con fatica, di creare una comunità attiva nel ramo anche dello sviluppo e del coding, attraverso l'utilizzo di piattaforme social (Discord <https://discord.gg/ns4GGuVG5Y> e YouTube <https://www.mapod4d.it/>).

M.M., R.T.

7. APPLICAZIONI IN CAMPO ANTROPOLOGICO

Il sistema di multimetaverso MAPOD4D è stato anche ampiamente impiegato nel campo dell'Antropologia Fisica, con una duplice funzione, didattica e di ricerca. L'applicazione didattica permette la fruizione di aspetti non musealizzabili, come le fasi di recupero di uno scheletro o i passaggi delle analisi invasive di laboratorio. La tridimensionalità degli elementi sempre reali,

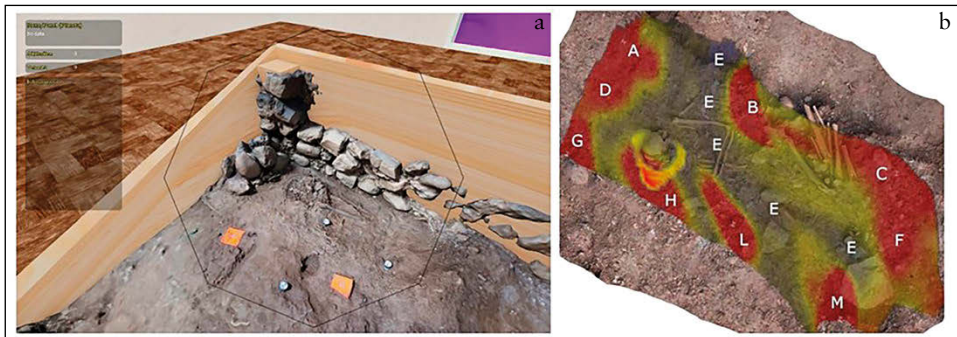


Fig. 5 – a) Ripresa con tecnica mista; b) sovrapposizione di rilievo fotogrammetrico a mappa elettromagnetica.

abbinata ad altri dati (ad esempio sonori o cromatici) e dalla possibilità di interazione, rendono il MAPOD4D uno strumento didattico potenziato rispetto a filmati o classiche ricostruzioni 3D. Al MAPOD4D come per un manuale o per l'esposizione di un museo, corrisponde un backstage di ricerca e analisi sia metodologiche sia di studio di reperti sia su campo sia in laboratorio.

Per quanto riguarda le attività antropologiche sul campo i progetti di ricerca metodologica vertono nella messa a punto di protocolli specifici per la raccolta di dati utilizzando strumentazioni tecnologiche di medio e basso costo con affidabilità (statistica) nota durante il recupero di scheletri e finalizzati anche all'inserimento nel MAPOD4D. Un esempio rappresentato nella Fig. 5a (Calvagese della Riviera, BS) è il protocollo per le riprese dello scheletro con tecnica mista (fotogrammetria da terra e drone). Per quanto riguarda l'attività di recupero di scheletri e ossa commiste sul campo, il nuovo flusso di lavoro per la fruizione digitale si basa su tecniche 3D e di acquisizione di reazioni di campo elettromagnetico miste a tecniche di fotogrammetria da terra e da drone. L'acquisizione delle reazioni di campo elettromagnetico ha lo scopo di produrre le mappe elettromagnetiche sia prima che dopo il recupero dello scheletro, in modo da trovare e raccogliere informazioni sulla presenza di resti di fuoco e cremazioni, e di essere utile per le valutazioni di tafonomia. Tutte le informazioni raccolte possono essere successivamente confrontate con analisi di laboratorio per valutare lo stato di deterioramento delle ossa e per conoscere l'eventuale contatto con elementi metallici degradati di origine funeraria, particolarmente utile nel caso di ossa altamente commiste o di cremazioni.

Le acquisizioni con scanner a luce strutturata o la fotogrammetria sono fondamentali per ottenere una collezione digitale di ossa sia a fini conservativi sia a fini di studio o anche didattici (Mandibola di AV13 Treviglio, BS) (TAGLIORETTI *et al.* 2021; MODERATO *et al.* 2023). Il MAPOD4D può essere uno strumento ideale per raccogliere e consultare un grande numero di ossa, così da valutare le variazioni morfometriche che possono anche essere processate da un'intelligenza artificiale al fine di implementare le conoscenze e affinare i metodi diagnostici per gli aspetti demografici e patologici. In caso di ossa particolarmente degradate o fragili, l'acquisizione 3D e l'inserimento nel MAPOD4D è una forma di tutela e di "congelamento" dello stato di conservazione al momento del rinvenimento o dello studio. A questa rappresentazione morfometrica si possono aggiungere dati di altra natura, come chimici, fisici, cromatici o sonori, sempre utilizzando sensori adeguati, che possano implementare le informazioni relative allo stato di conservazione. Altre tipologie di acquisizioni si possono archiviare nel MAPOD4D, come il progetto di valutare le differenze che intercorrono nell'osso pre e post pulizia.

AL.MA.

8. CONCLUSIONE

Sebbene non ancora nella sua forma definitiva il flusso di lavoro illustrato si sta rivelando di particolare interesse. Innanzitutto mette di fronte l'archeologo davanti alla necessità di saper usare gli strumenti digitali tanto quanto, se non di più, degli strumenti "analogici". La professione dell'archeologo continua a vedere l'immissione di nuove tecnologie, strumenti, metodologie di ricerca, sul campo e non: il convegno in cui questo contributo è stato presentato è una chiara evidenza. A questo fiorire di strumenti/metodologie troppo spesso non corrispondono corsi di studio e materie specifiche nei CdL in Archeologia. Per secondo, il workflow illustrato è un tentativo, lo ripetiamo, preliminare di confrontarsi con un metodo di lavoro che non abbia come unico output i formati tradizionali (schede US e piante di fase siano esse digitali o cartacee) ma che miri a ri-unire il contesto indagato riportando insieme dati (geospaziali e volumetrici) e metadati (descrittivi e interpretativi) di ogni singolo deposito; è un tentativo di ridurre (non potendolo eliminare) l'effetto distruttivo dell'esperimento-scavo.

In termini più generali, il futuro del metaverso è un ambito ancora da comprendere appieno. Dopo il clamore iniziale e il successivo abbandono, il metaverso potrebbe seguire la tipica curva di adozione osservata con le nuove tecnologie (KOOHANG *et al.* 2023). Tuttavia, la questione cruciale è se questa tecnologia si dimostrerà di facile utilizzo e se la creazione di contenuti del metaverso diventerà più accessibile. Il potenziale risiede nella capacità di colmare il divario tra tecnologia e usabilità, consentendo a individui con formazioni diverse di impegnarsi e contribuire al metaverso. Solo affrontando queste sfide e promuovendo un ecosistema di metaversi facile da usare e inclusivo è possibile sbloccare il suo pieno potenziale come piattaforma trasformativa per le esperienze immersive e la diffusione del patrimonio culturale. In questo quadro, l'adozione di software, tecnologie e protocolli di lavoro aperti diventa fondamentale per sfruttare le possibilità future del metaverso.

I metaversi rappresentano una possibilità per colmare il divario tra il modo in cui gli archeologi si avvicinano ai dati registrati in uno scavo; adottando un POV interattivo e multiutente riducono i problemi legati alle interfacce o, meglio, ampliano le possibili interazioni con i dati contenuti nell'ambiente 3D (OPITZ, JOHNSON 2016). Questo miglioramento, tuttavia, è strettamente legato non solo alla capacità della piattaforma selezionata di essere programmata in modo appropriato, ma anche alla diffusione e alla riduzione dei costi in termini di hardware (ad esempio, visori 3D, GPU, etc.). Una preoccupazione crescente in tutti i campi, e quindi anche in archeologia, è la conservazione a lungo termine dei dati 3D (in senso ampio: modelli, mesh, texture, nuvole di punti, etc.) La quantità di memoria su disco rigido utilizzata e il tipo di supporto utilizzato per memorizzarli sono solo alcune

delle variabili che devono essere prese in considerazione. I metaversi in generale non rappresentano una soluzione a questo problema; pur essendo uno strumento prezioso per l'archiviazione e l'utilizzo dei dati 3D, nessuna delle piattaforme presenti sul mercato ha soluzioni per la "perpetuità". Ciò è particolarmente preoccupante in relazione agli ultimi cambiamenti di politica effettuati dagli operatori cloud (ad esempio Google, <https://cloud.google.com/storage/pricing-announce?hl=en>) se si devono prendere in considerazione i costi e la manutenzione. A questo proposito, orientarsi verso soluzioni FLOSS può aiutare a evitare la perdita di dati e strutture di dati nel passaggio da una piattaforma all'altra.

M.M., R.T., AL.MA., F. D.M. A.M., V.LS.

MARCO MODERATO

CASEs, Department of Humanities, Universitat Pompeu Fabra - Barcelona
marco.moderato@upf.edu

ROBERTO TAGLIORETTI, ALESSANDRA MAZZUCCHI, FILIPPO DI MARCO
ArcheOs Tec - Gornate Olona

ANTONIO MEROLA

DIRUM, Università degli Studi Aldo Moro - Bari

VASCO LA SALVIA

DISPUTER, Università G. D'Annunzio - Chieti

BIBLIOGRAFIA

- AUER M., AGUGIARO G., BILLEN N., LOOS L., ZIPF A. 2014, *Web-based visualization and query of semantically segmented multiresolution 3D models in the field of Cultural Heritage*, «ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5, 33-39 (<https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-33-2014>).
- BERTOLDI S. 2021, *C.A.P.I. project in the making: 3D applications at Poggio Imperiale between materiality and virtual reality* (Poggibonsi, IT), «Open Archaeology», 7, 1, 1444-1457 (<https://doi.org/10.1515/opar-2020-0201>).
- CUCINI TIZZONI C. 2013, *La lavorazione dei metalli*, in P.M. DE MARCHI (ed.), *Castelseprio e Torba: sintesi delle ricerche e aggiornamenti*, Mantova, SAP Società Archeologica, 183-212.
- DELL'UNTO N., LANDESCHI G. 2022, *Archaeological 3D GIS*, London, New York, Routledge.
- DE MARCHI P.M., BROGIOLO G.P. (eds.) 2020, *I Longobardi a Nord di Milano: centri di potere tra Adda e Ticino, IV Incontro per l'archeologia barbarica* (Cairate, Varese, 2019), Mantova, SAP Società Archeologica.
- DE REU J., DE SMEDT P., HERREMANS D., VAN MEIRVENNE M., LALOO P., DE CLERCQ W. 2014, *On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice*, «Journal of Archaeological Science», 41, 251-262 (<https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.08.020>).
- DONEUS M., NEUBAUER W., FILZWIESER R., SEVARA C. 2022, *Stratigraphy from topography II. The practical application of the Harris Matrix for the GIS-based spatio-temporal archaeological interpretation of topographical data*, «Archaeologia Austriaca», 106, 223-252 (<https://doi.org/10.1553/archaeologia106s223>).

- DRAP P., PAPINI O., PRUNO E., NUCCIOTTI M., VANNINI G. 2017, *Ontology-based photogrammetry survey for medieval archaeology: Toward a 3D Geographic Information System (GIS)*, «Geosciences», 7, 4, 93 (<https://doi.org/10.3390/geosciences7040093>).
- FRONZA V., NARDINI A., VALENTI M. 2009, *Informatica e archeologia medievale*, Metodi e temi dell'archeologia medievale 2, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- HOHL S., KLEINKE T., RIEBSCHLÄGER F., WATSON J. 2023, *iDAI.field: Developing software for the documentation of archaeological fieldwork*, «Archeologia e Calcolatori», 34.1, 85-94 (<https://doi.org/10.19282/ac.34.1.2023.10>).
- JENSEN P. 2018, *Semantically enhanced 3D: A Web-based platform for spatial integration of excavation documentation at Alken Enge, Denmark*, «Journal of Field Archaeology», 43.sup1, S31-S44 (<https://doi.org/10.1080/00934690.2018.1510299>).
- KOOHANG A., NORD J.H., OOI K.-B., TAN G.W.-H., AL-EMRAN M., AW E.C.-X., BAABDULAH A.M., BUHALIS D., CHAM T.-H., DENNIS C., DUTOT V., DWIVEDI Y.K., HUGHES L., MOGAJI E., PANDEY N., PHAU I., RAMAN R., SHARMA A., SIGALA M., UENO A., WONG L.-W. 2023, *Shaping the metaverse into reality: A holistic multidisciplinary understanding of opportunities, challenges, and avenues for future investigation*, «Journal of Computer Information Systems», 63, 3, 735-765 (<https://doi.org/10.1080/08874417.2023.2165197>).
- LA SALVIA V., MODERATO M., GALLUCCI L., GEMMA M., MAURO G., MIRABELLA M., PAPA L., PERGOLA I. 2022, «Castelseprio, centro di potere». Lo scavo di Casa Piccoli: la ripresa dei lavori dopo le indagini degli anni '70 e '80 del secolo scorso, in M. MILANESE (ed.), IX Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, Firenze, All'Insegna del Giglio, 405-409.
- MANDOLESI L. 2009, *pyArchInit-python, QGIS e PostgreSQL per la gestione dei dati di scavo*, in P. CIGNONI, A. PALOMBINI, S. PESCARIN (eds.), *ARCHEOFOSS Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del IV Workshop (Roma 2009)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 2, 209-222 (<https://www.archcalc.cnr.it/supplements/articles/549>).
- MANDOLESI L., COCCA E. 2013, *pyArchInit: gli sviluppi dopo ArcheoFoss 2009*, in M. SERLORENZI (ed.), *ARCHEOFOSS Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del VII Workshop (Roma 2012)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 4, 128-138 (<https://www.archcalc.cnr.it/supplements/articles/697>).
- MANDOLESI L., MONTAGNETTI R., PICKEL D.G. 2022, *Come nasce una base GIS per l'archeologia opensource, sviluppata da archeologi per gli archeologi: lo scavo di Poggio Gramignano, Lugnano in Teverina (TR)*, 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, 93-112 (<https://doi.org/10.19282/ac.33.1.2022.06>).
- MARTINO M. 2023, *Digitalizzazione del patrimonio archeologico: procedure H-BIM per lo scavo della chiesa di San Sisto (Pisa)*, in M. CANNELLA, A. GAROZZO, S. MORENA (eds.), *Transizioni / Transitions. Atti del 44° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione*, Milano, Franco Angeli (<https://doi.org/10.3280/oa-1016-c452>).
- MASSEROLI S. 2020, *Castel Seprio altomedievale: questioni aperte*, in DE MARCHI, BROGIOLO 2020, 241-254.
- MODERATO M., LA SALVIA V. 2023, *pyArchInit at Castelseprio: Progressive adoption of an integrated managing system for archaeological field data*, in J. BOGDANI, S. COSTA (eds.), *ArcheoFOSS 2022. Proceedings of the 16th International Conference on Open Software, Hardware, Processes, Data and Formats in Archaeological Research (Rome 2022)*, «Archeologia e Calcolatori», 34.1, 39-48 (<https://doi.org/10.19282/ac.34.1.2023.05>).
- MODERATO M., TAGLIORETTI R., MAZZUCCHI A., LA SALVIA V., PURICELLI E.O., GIOSTRA C. 2023, *Building a FLOSS multi/metaverse for Cultural Heritage: MAPOD4D*, preprint pubblicato su Zenodo (<https://doi.org/10.5281/ZENODO.8310908>).
- MONTAGNETTI R., MANDOLESI L. 2019, *QGIS, pyarchinit and Blender: Surveying and management of archaeological data with Open Source solutions*, «R Archeomatica», 10, 4 (<https://doi.org/10.48258/arc.v10i4.1706>).

- NGUYEN-GIA T.-A., DAO M.-S., MAI-VAN C. 2017, *A comparative survey of 3D GIS models, in 2017 4th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science*, 126-131 (<https://doi.org/10.1109/NAFOSTED.2017.8108051>).
- OPITZ R.S., JOHNSON T.D. 2016, *Interpretation at the controller's edge: Designing graphical user interfaces for the digital publication of the excavations at Gabii (Italy)*, «Open Archaeology», 2, 1 (<https://doi.org/10.1515/opar-2016-0001>).
- PSARROS D., STAMATOPOULOS M.I., ANAGNOSTOPOULOS C.N. 2022, *Information technology and archaeological excavations: A brief overview*, «Scientific Culture», 8, 2, 147-167 (<https://doi.org/10.5281/ZENODO.6323149>).
- RICHARDS-RISSETTO H., VON SCHWERIN J. 2017, *A catch 22 of 3D data sustainability: Lessons in 3D archaeological data management & accessibility*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 6, 38-48 (<https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.04.005>).
- ROSAS-CHAVOYA M., GALLARDO-SALAZAR J.L., LÓPEZ-SERRANO P.M., ALCÁNTARA-CONCEPCIÓN P.C., LEÓN-MIRANDA A.K. 2022, *QGIS a constantly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development*, «Cuadernos de Investigación Geográfica», 48, 1, 197-213 (<https://doi.org/10.18172/cig.5143>).
- SURACE A., VILLA A. 1988, *Castel Seprio (Varese). Zona archeologica. Restauri di una casa medioevale del quartiere sud-occidentale*, «Notiziario della Soprintendenza Archeologica della Lombardia», 79-80.
- TAGLIORETTI R., CARRARO D., TAGLIORETTI V., MAZZUCCHI A. 2021, *MAPOD4D: primo esempio di musealizzazione digitale di sepolture utilizzando un multiverso di metaversi, «Sibrium»*, 35, 303-327.

ABSTRACT

Archaeology, in its pursuit of advanced methodologies for data analysis and interpretation, has embraced with increasing enthusiasm emerging technologies from the now massive use of drones to recent developments in Artificial Intelligence. As part of the 'Castelseprio centre of power' project, the authors began the excavation of the structure known as Casa Piccoli in 2021 with the idea of building a digitized and open source field workflow that not only allows for the processing and archiving of stratigraphic documentation but also aims at the construction of a three-dimensional virtual environment. All the data acquired are transferred into a multi-metaverse (MAPOD4D), created in an open source environment, which offers the possibility of archiving and sharing data in a more accessible way, and of immersive displaying archaeological contexts. This creates the conditions for a complete virtual reconstruction of the excavation context, a sort of digital excavation laboratory that provides a way towards a more open and collaborative methodology, recomposing the contextual unity of the deposits.