

Filippo Sala*

* Università di Pisa (filippo.sala@phd.unipi.it).

12. NUOVE PROSPETTIVE PER IL RILIEVO DA DRONE DELLE TERME DI MASSACIUCCOLI (MASSAROSA, LU)

1. INTRODUZIONE

All'interno del panorama archeologico di epoca romana, una delle più comuni tipologie architettoniche legate all'utilizzo dell'acqua sono, senza dubbio, i complessi termali. In questi edifici, anche complessi dal punto di vista architettonico, l'elemento idrico è il fulcro intorno al quale vengono realizzati e suddivisi i vari ambienti della struttura.

Il caso studio, oggetto di tale contributo, è inserito all'interno dell'area archeologica denominata "Massaciuccoli Romana" situata in Toscana nell'omonimo paese, frazione di Massarosa (LU), a pochi chilometri da Viareggio (LU). Il sito è particolarmente conosciuto in ambito archeologico in quanto presenta al suo interno un grande edificio termale facente parte di una *villa d'otium*.

Le più antiche testimonianze di tale complesso si riferiscono proprio alla presenza delle terme, citate in un documento dell'874 in cui è così dichiarato: *uno caput cum uno lato in via publica, alio capo in muro que dicitur antiquus* (MINTO 1921, p. 406). I primi scavi vennero condotti fra il 1756 e il 1770, mentre il primo scavo sistematico avvenne nel 1920 grazie all'intervento dell'archeologo Antonio Minto (1921). Ulteriori indagini si svolsero negli anni Novanta del XX secolo (CIAMPOLTRINI 1994, p. 119).

L'insieme di queste informazioni è stato interpretato come una *villa d'otium* edificata agli inizi del I secolo d.C. sviluppata su due terrazze; quella superiore, che ospita la pieve di San Lorenzo, in cui sono stati ritrovati i resti della zona residenziale (CIAMPOLTRINI 1994, p. 121) e quella inferiore in cui sono visibili i ruderi delle terme (fig. 1). Secondo CIAMPOLTRINI (1994, p. 122), il primo impianto di Massaciuccoli sarebbe un'applicazione dei temi prediletti dall'edilizia residenziale del periodo tardo-repubblicano e del periodo augusteo: l'articolazione su terrazzi artificiali, con funzioni specializzate; l'inserimento 'scenografico' nel paesaggio (CIAMPOLTRINI 1994, p. 122). Il terrazzo superiore conteneva anche una struttura forse un *castellum* o una cisterna (MINTO 1921, p. 411) utilizzato per l'approvvigionamento idrico delle sottostanti terme. Queste si sviluppano sulla terrazza inferiore e furono erette in età neroniano-flavia, forse su un precedente giardino (CIAMPOLTRINI 1994, p. 124). Subito a sud

del terrazzamento della pieve si imposta un grande ambiente H collegato a nord con una vasca, che presenta tracce di volte sul prospetto murario esterno, e a ovest con un'esedra provvista di una grande finestra. Questo insieme di vani ripete il tema della "grande sala con prospettive aperte su due ali gemelle" impiegato per i triclini-ninfei dei complessi residenziali imperiali neroniani e flavi (CIAMPOLTRINI 1994, p. 124). Grazie al confronto con "l'edificio a tre esedre" di Villa Adriana è possibile interpretare l'ambiente I come un ninfeo; mentre il grande vano H-L si riconosce come un triclinio estivo (CIAMPOLTRINI 1994, p. 124). Nella zona più a sud è presente un grande vano Z riscaldato da un forno sotto il pavimento conservato al momento dello scavo nel 1770. Questo ambiente viene interpretato da CIAMPOLTRINI (1994, p. 125) come una *sudatio*. Accessibili a nord di questo vano, sono realizzati due ambienti (X e Y) caratterizzati da pareti laterali curvilinee proprie dell'architettura della villa di età flavia. Probabilmente i proprietari della villa sono da rintracciarsi nella famiglia senatoria dei Venulei, come testimonierebbe una fistula in piombo, rinvenuta nel 1770, avente impresso il nome di L. Venuleius Montanus e di L. Venuleius Apronianus (CIL XI, 1433a), il primo, padre e proconsole di Ponto e Bitinia sotto Nerone, il secondo, figlio e console nel 92 d.C, membri di una *gens* la cui ricchezza era legata al possesso della terra e alla produzione di laterizi. L'aumento del prestigio della famiglia, in età vespasiana-domiziana, rispecchierebbe le trasformazioni avvenute nel complesso termale. Il triclinio-ninfeo viene inserito nel circuito termale, chiuso a monte eliminando le volte, e convertito in *frigidarium* costruendo a ovest un corridoio e un piccolo vano. A est viene creato un piccolo ambiente interpretato come ipotetico vestibolo.

2. IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DA DRONE

Già da molti anni nel panorama delle metodologie di rilievo archeologico è di notevole utilizzo il ricorso a tecnologie utili alla realizzazione di rilievi tridimensionali (CAPOBIANCO, GAGLIOLLO 2022, p. 24; PISU 2016, p. 265). Una in particolare è stata utilizzata all'interno di questo contributo: la fotogrammetria (FIORINI 2012, p. 214). Tali modelli tridimensionali



fig. 1 – Planimetrie delle fasi delle terme romane di Massaciucoli (Massarosa – LU; CIAMPOLTRINI 1994, p. 126).

vengono creati attraverso l'utilizzo di software conosciuti come *Structure from Motion* (SfM, BEZZI, BEZZI, DUCHE 2010, p. 104). Le ragioni di queste scelte sono da ritrovarsi in molteplici motivi. Prima di tutto la grande economicità dei mezzi (per la realizzazione vengono utilizzati solamente una macchina fotografica e un computer); in secondo luogo viene ridotto notevolmente il lavoro umano in quanto i dati ricavati dalle fotografie vengono processati da un computer che effettua in maniera automatica i calcoli richiesti per la creazione del modello.

La decisione di utilizzare un SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto) per lo sviluppo del modello fotogrammetrico delle strutture murarie del complesso termale di Massaciucoli è stata condizionata dal fatto che le murature del *frigidarium* si ergono per circa 6/7 m dal livello del terreno. A causa di tale elevazione sarebbe stato impossibile ottenere dei dati affidabili circa la cresta dei muri di tale vano, inficiando così l'accuratezza che tale tecnica permette (MINUCCI 2018, p. 92). Prima del volo del drone e della conseguente presa fotografica, è stato necessario creare un *network* di due punti di riferimento fissi al fine di posizionare geograficamente nello spazio la struttura architettonica. Tali punti sono stati misurati grazie all'utilizzo di un ricevitore satellitare differenziale a doppia frequenza¹. L'utilizzo di questo strumento ha permesso di posizionare i punti sul terreno con una accuratezza planare calcolata al sub-centimetro. La procedura utilizzata è definita come *real-time*

kinematic (RTK). Con questo settaggio l'antenna dello strumento riceve la correzione differenziale, la quale migliora l'accuratezza del rilevamento in tempo reale da un satellite dedicato lanciato in orbita dall'azienda produttrice². Grazie a questa configurazione è stato possibile ridurre l'errore delle misurazioni a 1 cm orizzontalmente e 4 cm sulla quota, con coordinate espresse con il sistema di proiezione Gauss-Boaga (Zona 1) e Roma40 datum aggiungendo il parametro di proiezione Italy90.

Successivamente i punti di riferimento fissi, posizionati sul terreno in modo tale che ognuno fosse visibile dalla posizione dell'altro, hanno creato la base per il rilevamento topografico. I punti dei *markers* sono stati acquisiti tramite l'utilizzo di uno strumento ottico elettronico³ seguendo la tecnica chiamata resezione o intersezione inversa. Attraverso questi calcoli è stato possibile ottenere la posizione di alcuni punti sconosciuti (quelli dove era posizionata la stazione totale) agganciandosi alle coordinate di due punti noti fissi⁴. Ultimate queste operazioni è stato possibile effettuare il rilievo fotogrammetrico realizzato tramite l'integrazione di fotografie riprese da SAPR e da foto scattate a livello terrestre. Le operazioni sono da identificarsi con un volo sia in modalità automatica, al fine di documentare il sito con immagini verticali, sia in modalità manuale per registrare i dettagli degli elevati tramite fotografie oblique. Il piano del volo

¹ GNSS Trimble R10.

² RTX Trimble xFill Technology.

³ Trimble C5 total station.

⁴ I riferimenti spaziali misurati con il GNSS.

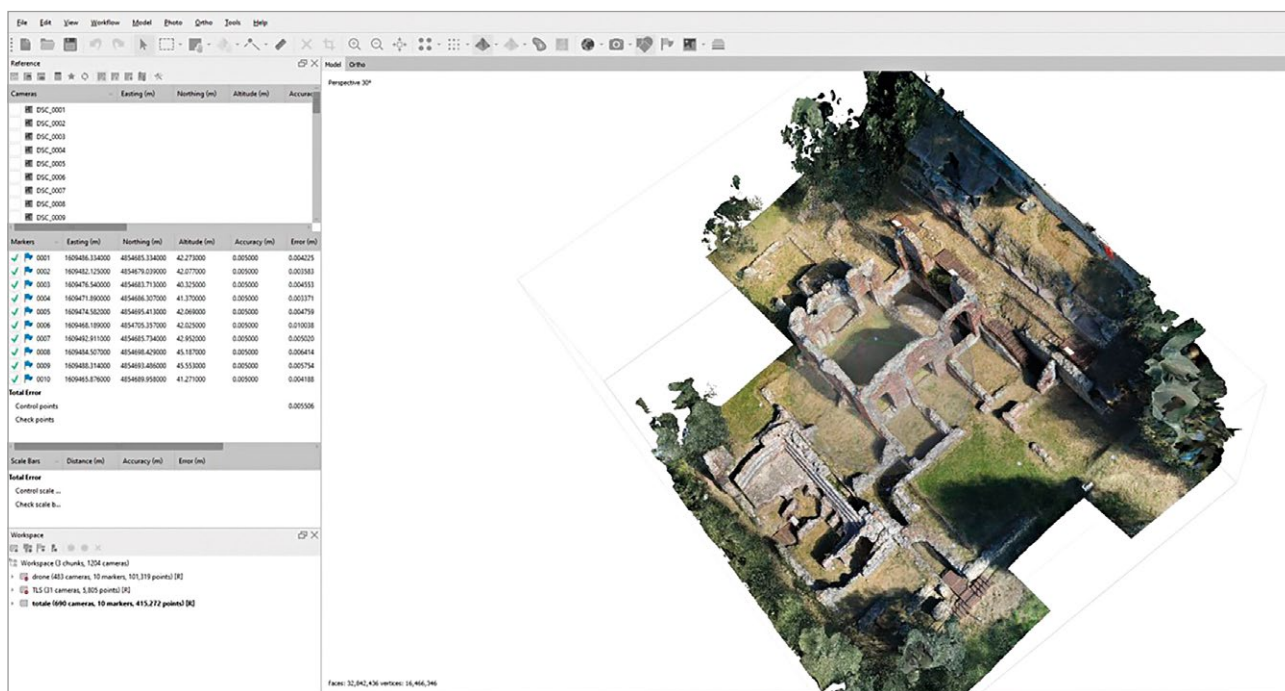


fig. 2 – Il modello fotogrammetrico definitivo. A sinistra dell'immagine è indicato l'errore medio (© LaDiRe-UniPI).

automatico è consistito nella creazione di una griglia di cattura fotografica con un'elevazione del velivolo compresa tra i 10 e i 15 m e con una sovrapposizione delle immagini dell'80%, in modo da acquisire l'intero complesso architettonico evitando il bosco di olivi presente nelle vicinanze. Questa operazione ha richiesto due voli per un totale di 12 minuti con l'acquisizione di 292 foto e, per quanto riguarda il volo manuale, ha necessitato di 30 minuti circa fornendo 191 fotografie. Nove punti di controllo sul terreno (GCP), consistenti in una serie di *markers*, sono stati posizionati nell'area del rilievo al fine di georeferenziare la nuvola di punti densa del modello 3D. Questi GCP sono stati misurati dalla stazione totale orientata con la procedura di resezione precedentemente menzionata e in accordo al sistema di riferimento Gauss-Boaga/Roma 40/Italy90.

Successivamente sono state acquisite, con una macchina fotografica SLR⁵, 175 foto a livello terrestre al fine di documentare le parti della struttura non visibili da drone come, ad esempio, le zone inferiori degli architravi o troppo vicine alla vegetazione circostante, la quale non permetteva un volo in sicurezza.

Grazie alla concessione fornita dal centro interuniversitario e-GEA (Università di Bologna; Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia; Politecnico di Bari; GIANNINI, CASTAGNETTI 2018) di un rilievo realizzato tramite *laser scanner*, realizzato all'interno del progetto "VisualVersilia 3D", è stato possibile

integrare tali dati alla fotogrammetria precedentemente descritta. Le 30 scansioni sono state acquisite nel mese di settembre 2016 attraverso una ScanStation C10 sviluppata da Leica Geosystem ed esportata in formato .ptx.

Tutti i dati ottenuti sono stati processati in una singola *chunk* tramite l'utilizzo del software Agisoft Metashape Professional 1.7.26⁶. È da sottolineare che, in questa versione del programma, è stato possibile integrare e gestire i dati riguardanti la fotogrammetria e il *laser scanner* in un singolo file. In totale, dalla fase di allineamento delle immagini alla creazione delle texture del modello poligonale, sono state necessarie cinque ore al software per creare il modello fotogrammetrico definitivo. Attraverso tale procedimento è stato possibile ottenere un errore medio del posizionamento dei GCP di circa 0,0055 m (fig. 2). Infine, utilizzando come base la nuvola di punti densa, la quale conta 35,668.907 punti, è stato possibile creare un DEM (*Digital Elevation Model*, GSD 8,33 mm/pix) e un'ortofoto (GSD 2,08 mm/pix).

Grazie all'utilizzo di questi dati e alla loro interazione, è stato possibile creare un modello fotogrammetrico che può essere utilizzato come base per l'ottenimento automatico di informazioni metriche in maniera rapida ed estremamente accurata come ad esempio sezioni, calcolo delle coordinate, distanze e volumi.

⁵ Nikon D3500, 18mm, f/9, ISO100.

⁶ <https://www.agisoft.com/>.

3. LA CONDIVISIONE DEL MODELLO FOTOGRAMMETRICO: L'UTILIZZO DI 3DHOP

Nel 2015 l'Istituto di Scienze e Tecnologie dell'informazione del Consiglio Nazionale della Ricerca (ISTI-CNR) ha sviluppato un *framework open source* per la creazione di presentazioni interattive online di modelli 3D progettati per il settore dei beni culturali, denominato 3DHOP (3D *Heritage Online Presenter*; POTENZIANI *et al.* 2015). La potenzialità di tale programma e procedimento è da ricercarsi nella possibilità di rendere il modello 3D visibile e interoperabile da chiunque possieda una connessione internet. L'utilizzo di questo programma permette inoltre di poter inserire all'interno della scena una serie di elementi cliccabili (denominati *hotspots*) i quali permettono la visualizzazione dei dati o di descrizioni dell'elemento selezionato. Tale *framework* è stato inoltre utilizzato come base per la creazione di un 3D GIS denominato *Interactive Reporting System* (IRS) utilizzato all'interno di attività di insegnamento presso l'Università di Lund in Svezia (DERUDAS *et al.* 2021). Partendo da questo esempio, è stato deciso di utilizzare tale approccio rendendo così il modello fotogrammetrico del complesso termale di Massaciuccoli (Massarosa – LU) fruibile ad un elevato numero di persone anche al di fuori del circolo stretto degli addetti ai lavori. Di seguito verranno illustrati i passaggi tecnici effettuati. Dal sito degli sviluppatori⁷ è possibile scaricare un pacchetto di dati relativi al software 3DHOP, suddivisi in:

- Il software “Nexus 4.3”, il quale permette la conversione di un file da un formato .ply a un formato leggibile dal programma e la sua compressione.
- La cartella del software “3DHOP 4.3”, nella quale sono inclusi i file e i template per la visualizzazione web.

Prima dell'esportazione del modello fotogrammetrico da Agisoft Metashape[®], è stato necessario ridurre i triangoli della *mesh* da 35,403.277 a 497.492 triangoli, al fine di permettere un caricamento più rapido all'interno del server e per impedire che, durante l'esportazione, vengano creati molteplici file di texture. 3DHOP, infatti, non è ancora implementato per utilizzare più di una texture per modello 3D. Per compiere ciò è stato necessario rieseguire l'operazione di creazione della *mesh* immettendo come parametro un livello di dettaglio inferiore, così da non superare i 500.000 triangoli. Alla fine del processo è stato possibile esportare il modello fotogrammetrico in formato .ply con il relativo file di texture.

Successivamente, il file .ply e la texture in .jpg sono stati inseriti nella cartella denominata “Nexus 4.3”, nella quale è contenuto il software “*nsxbuild*”. Tale programma permette la conversione del modello fotogrammetrico esportato in un file in formato .nxs. Completata tale procedura, il file ottenuto è stato compresso tramite un ulteriore software contenuto in questa cartella e denominato “*nsxcompress*”, il quale restituisce un file in formato .nxz. Il risultato di queste procedure viene successivamente spostato nella sottocartella “*models*” contenuta all'interno della cartella “3DHOP 4.3”.

Per rendere il modello fotogrammetrico visualizzabile e interoperabile da remoto, è stato necessario modificare il template in linguaggio HTML e JavaScript sviluppato e rilasciato dagli sviluppatori del software. In questo caso, il template è stato aperto tramite l'editor di codici sorgente denominato *BlueGriffon*⁸.

Il lavoro di modifica del codice è iniziato tramite il cambio del nome del progetto all'interno di una delle prime stringhe:

```
<title>Terme_Massaciuccoli_Pieve_San_Michele</title>
```

Nelle righe successive sono presenti una serie di *script* per la visualizzazione delle varie opzioni cliccabili, ai quali vengono aggiunti quelli relativi alla creazione del tasto riferibile agli *hotspots*:

```
style="position:absolute; visibility:hidden;"/>
```

```
<br/>
```

```

```

```
<br/>
```

Successivamente, è presente una sezione dedicata all'inserimento dei modelli 3D. In questa parte è collocato il percorso del file compresso .nxz attraverso questa serie di *script*:

```
presenter.setScene({
```

```
meshes: {
```

```
"Obj_1": {
```

```
url:"models/Terme_Massaciuccoli_def.nxs"
```

```
}
```

All'interno di questa sezione è stato inserito anche il percorso file relativo a un piccolo modello 3D di una sfera, il quale verrà utilizzato come base interattiva per la visualizzazione degli *hotspots*. Tale modello è concesso gratuitamente dagli sviluppatori del software. Il passo successivo è consistito nel posizionamento dell'*hotspot* all'interno della scena, impostando anche il colore desiderato. Per realizzare ciò è stata aggiunta una nuova sezione all'interno del codice denominata “*spots*” scritta attraverso il seguente *script*:

⁷ <https://www.3dhop.net/>.

⁸ <http://www.bluegriffon.org/>.



fig. 3 – Il modello 3D visualizzato con 3DHOP. A destra dell'immagine alcune opzioni sviluppate dal software: coordinate (viola), il calcolo delle distanze (rosso), sezioni (azzurro) (© MAPPALAB-UniPI).

```

Sphere: {
  mesh: "Sphere",
  transform: {
    matrix: SglMat4.mul(SglMat4.translation([3.340, 6.981, 42.045]), SglMat4.
    scaling([1.0, 1.0, 1.0]))
  }
  color: [0.0, 0.25, 1.0],
  alpha: 0.5
}
}

```

Le coordinate del posizionamento (scritte di seguito a "SglMat4.translation") sono state estratte dal modello fotogrammetrico inserito precedentemente nel software 3DHOP. Il colore viene invece definito all'interno dello spettro RGB in un intervallo compreso tra 0 e 1.0 (in questo caso è stato deciso di utilizzare un azzurro chiaro definito dal numero 0.25).

Successivamente è stato necessario creare una funzione che permettesse di rendere visibile o meno l'*hotspot*. Per compiere tale operazione sono stati aggiunti una serie di *script* in linguaggio Java:

```

else if(action=="hotspot"|| action=="hotspot_on") {
  presenter.toggleSpotVisibility(HOP_ALL, true);
  presenter.enableOnHover(!presenter.isOnHoverEnabled());
  hotspotSwitch();
}

```

Nelle ultime righe del template è stata inserita un'ulteriore stringa in linguaggio Java, la quale permette all'utente di visualizzare una piccola descrizione una volta che l'*hotspot* venga cliccato. Lo *script* utilizzato è il seguente:

```

function onPickedSpot(id) {
  switch(id) {
    case 'Sphere': alert("Ambiente H Frigidarium"); break;
  }
}

```

Infine, tutto il progetto HTML è stato caricato sul server del sito web del laboratorio MAPPA (Metodologie

Digitali Applicate all'Archeologia) dell'Università di Pisa⁹ permettendo così la sua visualizzazione e interazione da remoto (fig. 3).

4. DAL MODELLO FOTOGRAMMETRICO AL PROGETTO BIM

Grazie al costante progredire delle nuove tecnologie e al crescente dibattito sul loro utilizzo nello sviluppo di nuove metodologie archeologiche, ha cominciato a estendersi, nell'ultimo decennio, l'utilizzo dei BIM (*Building Information Modelling*). Tale tecnica, derivata da discipline quali l'architettura e l'ingegneria civile (WONG, YANG 2010), prevede la realizzazione di modelli 3D di elementi architettonici correlati a una serie di database, i quali permettono di simulare alla perfezione la realtà fisica degli oggetti. Nel 2009 l'archeologo Maurice Murphy (MURPHY, MCGOVERN, PAVIA 2009) conia per la prima volta il concetto di HBIM (*Historical Building Information Modelling*). Tale acronimo indica lo sviluppo di un modello tridimensionale di un organismo architettonico partendo da dati storici. La rappresentazione tridimensionale è composta da una serie di oggetti parametrici contenenti i dati relativi a ogni singolo elemento della struttura indagata. Nel 2016 tre ricercatori dell'Università di Bologna, Andrea Gaucci, Simone Garagnani ed Elisabetta Govi, all'interno del progetto FIRB 2013 *KAINUA*, applicano le tecniche BIM in campo strettamente archeologico (GARAGNANI, GAUCCI, GOVI 2016). Essi propongono una ricostruzione del tempio di *Uni* (datato tra la fine del VI e gli inizi del V secolo a.C.) presso Marzabotto (BO) partendo

⁹ https://www.mappalab.eu/3DHOP/3DHOP_4.3/minimal/Terme_Massaciucoli_Pieve.html.

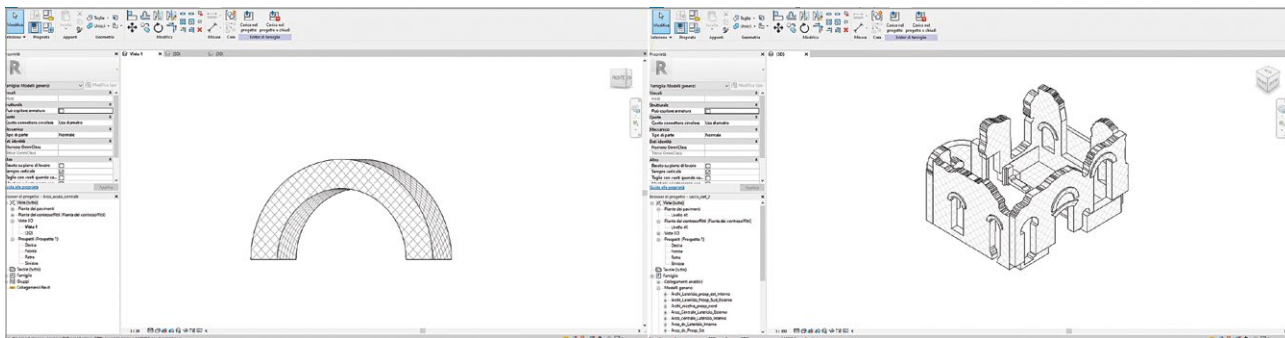


fig. 4 – A sinistra la “famiglia” di un arco di scarico in ambiente BIM. A destra la “famiglia nidificata” del *frigidarium* (Immagine creata dall’autore).

da una planimetria di scavo e non da un modello architettonico consolidato. Tale processo viene denominato *ArchaeoBIM* (GARAGNANI *et al.* 2021). Sulla scia di queste nuove applicazioni tecnologiche alla metodologia archeologica, è stato deciso di utilizzare un approccio BIM per la ricostruzione tridimensionale del complesso termale di Massaciuccoli. Il caso studio preso in oggetto si differenzia sostanzialmente da quello preso in esame nel 2016 dai tre ricercatori bolognesi in quanto, oltre a presentare murature in fondazione, possiede elementi architettonici ancora conservati in alzato permettendo così di fondere i concetti di HBIM e di *ArchaeoBIM*.

Il lavoro che verrà presentato fa parte di un progetto dottorale di più ampio respiro e, pertanto, verranno analizzati i risultati preliminari riguardanti la ricostruzione HBIM del sacco del muro dell’ambiente H con i relativi archi di scarico presenti sulle facciate, le nicchie, la vasca I e le cortine laterizie del prospetto est. La realizzazione ha comportato l’utilizzo di un software proprietario specifico per la creazione di modelli architettonici BIM. La scelta del programma è ricaduta su Autodesk Revit® 2022, fornito in versione completa grazie alla licenza *educational* rilasciata dall’azienda stessa. Tale applicativo possiede le molteplici capacità di poter creare sia singoli elementi architettonici, denominati “famiglie”, sia interi edifici. Permette, inoltre, di inserire una serie di informazioni relative agli elementi architettonici in un piccolo database nativo. Il software consente, infine, di poter creare o selezionare dei materiali da costruzione aventi delle specifiche proprietà meccaniche e termiche, consentendo così di simulare alla perfezione la realtà fisica della struttura.

Nella fase di progettazione è stato stabilito di creare una singola famiglia per ogni elemento architettonico del complesso. Successivamente, queste sono state aggregate insieme al fine di creare ciò che viene definito “famiglia nidificata”. La decisione dietro questa scelta è da ricercarsi nel fatto che, utilizzando questa

metodologia, è possibile mantenere indipendente, all’interno della famiglia nidificata, ogni database di ogni singola componente architettonica.

Grazie alla realizzazione di un modello fotogrammetrico, caratterizzato da un’elevata precisione, è stato possibile calcolare in maniera molto accurata le misure dei vari elementi architettonici. Le lunghezze e le altezze dei componenti sono state estratte all’interno del già citato software Agisoft Metashape®, esportando inoltre alcune immagini, in formato .jpg, rappresentanti i vari prospetti murari dell’ambiente H. I file .jpg sono stati successivamente importati e scalati in ambiente BIM al fine di permettere le operazioni legate alla creazione delle estrusioni dei singoli oggetti parametrici. Grazie a questa operazione è stato possibile rappresentare tutte le irregolarità derivate dalle creste dei muri (fig. 4). Ultimata la creazione del modello tridimensionale del componente, è stato necessario assegnare ad ognuno di essi un materiale che si avvicinasse il più possibile all’originale. La scelta è stata indirizzata verso una tipologia di mattone, comune nell’edilizia moderna, caratterizzato da una buona conducibilità termica e resistente all’umidità. Tale preferenza trova le sue basi sul fatto che questo materiale doveva entrare in contatto con un ambiente soggetto alla presenza costante di acqua e dove in alcuni punti subiva elevate sollecitazioni. I laterizi romani che più si avvicinano a queste caratteristiche sono da ricercarsi nella tipologia qualitativa, derivante dal metodo di cottura, denominata “forte” (GIULIANI 2006). Il passo finale nella creazione della famiglia consiste nell’immissione, all’interno del database nativo, di una serie di voci che descrivano il componente architettonico. La decisione è ricaduta sulle seguenti informazioni (GIULIANI 2006):

- Elemento Architettonico: arco, arco di scarico, sacco del muro, cortina laterizia.
- Legante: malta, cocchiopesto, *caementicium*, *opus signinum*.
- Tipologia Laterizi: bessale, sesquipedale, bipedale.

- Tipologia Muratura: opera cementizia, muratura ordinaria di pietrame artificiale, muratura ordinaria con cinture, opera reticolata.
- Note Ricostruttive: in questa voce vengono inseriti i dati relativi alle operazioni di ricostruzione virtuale di una parte del componente le scelte che hanno portato a questa decisione.

5. CONCLUSIONI

Il lavoro svolto fino a questo punto ha messo in luce come l'applicazione di nuove tecnologie ai beni culturali possa portare alla realizzazione di nuovi progetti utili sia a fini di ricerca sia a fini di fruizione pubblica del bene stesso. La creazione di un modello fotogrammetrico, caratterizzato da un'elevata accuratezza del dato finale, grazie all'utilizzo di un RPAS e grazie all'opportunità di poter utilizzare una nuvola di punti realizzata tramite *laser scanner*, è stato il banco di prova per la sperimentazione di nuovi approcci utili sia a livelli di studio e di ricerca sia alla fruizione del bene comune da parte del vasto pubblico. Per quanto riguarda il campo della ricerca, infatti, il modello 3D con tali specifiche caratteristiche è stato sfruttato per la realizzazione di un progetto BIM di più ampio respiro. L'utilizzo di tale tecnologia permetterà quindi di poter contenere all'interno di un unico file un'elevata mole di dati, relativi alle caratteristiche delle murature della struttura utilizzata come caso studio, collegati a una serie di oggetti tridimensionali parametrici i quali simulano alla perfezione la realtà fisica degli elementi. Sarà inoltre possibile effettuare, all'interno di tale ambiente *software*, calcoli relativi alle forze meccaniche e termiche dei vari elementi architettonici costitutivi del bene. Inoltre, l'utilizzo di tale *workflow* potrà permettere di formulare nuove ipotesi legate alla ricostruzione architettonica sia dell'intero complesso che dei vari sottoservizi che permettevano l'approvvigionamento idrico. Sarà infatti possibile realizzare delle congetture finalizzate a comprendere il complesso sistema di smistamento delle acque nelle varie vasche e ambienti. Infine, il modello fotogrammetrico è stato anche un solido basamento capace di permettere e aumentare la fruizione pubblica del bene. La possibilità, infatti, di poter utilizzare il *framework open source* 3DHOP ha permesso di condividere il lavoro realizzato permettendo così a chiunque di poter visualizzare e interagire da remoto con il complesso archeologico.

BIBLIOGRAFIA

- BEZZI A., BEZZI L., DUCHE B., 2010, *Computer Vision e Structure from Motion, nuove metodologie per la documentazione archeologica tridimensionale: un approccio aperto*, «ArcheoFOSS. Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologici», 5, pp. 103-111.
- CAPOBIANCO A., GAGLIOLLO S., 2022, *Applicazione del rilevamento geomatico alla domus della Regina d'Inghilterra a Pompei (VII, 14, 5): risultati preliminari*, «Archeologia e Calcolatori», 33.1, pp. 17-34.
- CIAMPOLTRINI G., 1994, *Gli ozi dei Venulei. Considerazioni sulle terme di Massaciucoli*, «Prospettiva», 73-74, pp. 119-130.
- DERUDAS *et al.* 2021 = DERUDAS D., DELL'UNTO N., CALLIERI M., APEL J., *Sharing Archaeological Knowledge: The Interactive Reporting System*, «Journal of Field Archaeology», 46, pp. 303-315.
- FIORINI A., 2012, *Tablet PC, fotogrammetria e PDF 3D: strumenti per documentare l'archeologia*, «Archeologia e Calcolatori», 23, pp. 213-227.
- GARAGNANI S., GAUCCI A., GOVI E., 2016, *ArcheoBIM: dallo scavo al building information modelling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto*, «Archeologia e Calcolatori», 27, pp. 251-270.
- GARAGNANI *et al.* 2021 = GARAGNANI S., GAUCCI A., MOSCATI P., GAIANI M., *ArcheoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bologna.
- GIANNINI M., CASTAGNETTI C., 2018, *Un approccio multidisciplinare per documentare e visualizzare un sito archeologico: la villa d'otium di Massaciucoli (Massarosa, Lucca)*, «Archeologia e Calcolatori», 29, pp. 113-129.
- GIULIANI C.F., 2006, *L'edilizia nell'antichità*, Roma.
- MINTO A., 1921, *Le terme romane di Massaciucoli*, «Monumenti antichi», XXVIII, Roma, pp. 406-453.
- MINUCCI E., 2018, *Apr e droni nella moderna ricerca archeologica: un primo approccio*, «Newsletter di Archeologia CISA», 9, pp. 91-114.
- MURPHY M., MCGOVERN E., PAVIA S., 2009, *Historic building information modelling (HBIM)*, «Structural Survey», 27-4, pp. 311-327.
- POTENZIANI *et al.* 2015 = POTENZIANI M., CALLIERI M., DELLEPIANE M., CORSINI M., PONCHIO F., SCOPIGNO R., *3DHOP: 3D Heritage Online Presenter*, «Computers & Graphics», 52, pp. 129-141.
- WONG J., YANG J., 2010, *Research and Application of Building Information Modelling (BIM) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry: A Review and Direction for Future Research*, in C.J. ANUMBA, J.I. MESSNER, M.K. PARFITT, N.M. BOUCLAGHEM (a cura di), *Proceedings of the 6th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC)*, Loughborough University, pp. 356-365.

Sitografia

- <https://www.3dhop.net/>
<https://www.agisoft.com/>
<http://www.bluegriffon.org/>
<https://www.mappalab.eu>

