

Archeologia e Calcolatori
27, 2016, 251-270

ARCHAEOBIM:
DALLO SCAVO AL BUILDING INFORMATION MODELING
DI UNA STRUTTURA SEPOLTA. IL CASO DEL TEMPIO TUSCANICO
DI UNI A MARZABOTTO

1. INTRODUZIONE

L'avvio del progetto FIRB 2013 *KAINUA. Restituire, percepire, divulgare l'assente. Tecnologie transmediali per la città etrusca di Marzabotto*, già presentato al Convegno Digital Heritage 2015 (GAUCCI, GARAGNANI, MANFREDINI 2015), è stata l'occasione per applicare nuovi metodi e tecnologie all'analisi delle strutture antiche. Tale progetto ha come campo di indagine e sperimentazione la città etrusca di Marzabotto, l'antica *Kainua*, fondata su principi astronomici attorno al 500 a.C. (GOVI 2014, 87-109). Il progetto ha come obiettivo la realizzazione di un modello virtuale dell'intera città fruibile tramite Realtà Aumentata.

La restituzione virtuale degli edifici per la modellazione procedurale dell'intera città ha permesso di sperimentare nuove applicazioni della modellazione informativa, in grado di compendiare le conoscenze di settori disciplinari diversi (dall'archeologia alla storia dell'architettura, dall'ingegneria allo studio dei materiali), all'interno di modelli digitali integrati il cui processo di generazione viene definito BIM (Building Information Modeling). I modelli prodotti hanno portato alla proposta di una possibile ricostruzione virtuale di quegli edifici di cui non è conservato l'alzato, rendendo le scelte operate giustificate da analisi di simulazione numerica.

L'aspetto fortemente innovativo di questo studio, che si affianca a quello più tradizionale e storico, è dunque l'applicazione al modello ricostruttivo virtuale di tecnologie che permettano di formulare riflessioni sulla sua credibilità architettonica e di avviare così un nuovo metodo di archeologia sperimentale virtuale delle strutture antiche, al quale si confà la dicitura *ArcheoBIM*. Questo metodo favorisce un ciclo virtuoso di controllo di tutti i passaggi, dai dati di partenza usati per formulare il modello medesimo, fino alla simulazione e infine alla postfigurazione, cioè alla restituzione congetturale virtuale di un edificio che concretamente esisteva nel passato. Tutti questi passaggi possono essere messi in discussione sulla base delle problematiche più o meno complesse che il modello BIM segnala, per approdare ad una ipotesi congetturale che sia il più verosimile possibile sotto tutti i punti di vista. Il modello BIM ha inoltre il vantaggio di essere un contenitore di informazioni in 3D (cfr. ad es. SCIANNA *et al.* 2015) con notevoli potenzialità sul piano della conservazione, della ricerca e della divulgazione.

Una riflessione sul tempio etrusco come edificio tridimensionale, con tutte le problematiche che questo comporta e tenuto conto dello stato di conservazione sempre limitato alle fondazioni, non è peraltro frequente in letteratura¹. Più in generale, se ormai la ricostruzione virtuale degli edifici nel campo dell'archeologia è prassi condivisa, rimane più difficile la riflessione sulle caratteristiche costruttive, specie per un ambito quale il mondo etrusco. Marzabotto, la città etrusca meglio conservata perché nota in tutti i suoi aspetti e persino nel rito di fondazione, si presta ad uno studio finalizzato alla ricostruzione della realtà urbana antica, pur nei limiti dei dati a nostra conoscenza.

In passato sono state tentate diverse restituzioni dell'alzato degli edifici della città. Solo per citare alcuni esempi, dalle rese grafiche degli edifici dell'acropoli di P. Ducati (VITALI, BRIZZOLARA, LIPPOLIS 2001, 197, fig. 3, e relativi riferimenti) e degli isolati di G.A. Mansuelli (fra le diverse ricostruzioni grafiche proposte, si rimanda a titolo esemplificativo a MANSUELLI 1966), alla più recente ricostruzione virtuale dell'intera città (SASSATELLI 2000). Gli scavi dell'Università di Bologna nel sito (dal 1988 ad oggi), hanno sempre perseguito l'obiettivo della ricostruzione virtuale degli edifici indagati: alla restituzione della Casa 1 della *Regio* IV, 2 (GOVI, SASSATELLI 2010, in particolare il contributo di F. Beltrami nel volume 1, 285-289), è seguita quella del tempio urbano di *Tinia* nella *Regio* I, 5, la cui resa è il frutto di considerazioni nate da ambiti di studio diversi, cioè archeologico e architettonico (cfr. i contributi in SASSATELLI, GOVI 2005a; per una analisi architettonica, da ultimo BARONIO 2012). Il progetto FIRB 2013 ha consentito non solo di migliorare i modelli elaborati negli anni, ma anche di affrontare lo studio e la ricostruzione virtuale delle case dell'Isolato cd. Mansuelli, *Regio* IV, 1 (GAUCCI c.s.) ed ora del nuovo tempio scoperto nella *Regio* I, 4a, a fianco del tempio di *Tinia* (Fig. 1).

S.G., A.G., E.G.

2. LO SCAVO DEL TEMPIO TUSCANICO DI *UNI*

Prospezioni geofisiche e sondaggi condotti negli anni '90 del secolo scorso dalla Soprintendenza per i Beni archeologici dell'Emilia Romagna avevano individuato nella *Regio* I un monumentale edificio con planimetria non precisabile, di cui si era intuito il carattere pubblico (LIPPOLIS 2005). Le indagini sistematiche condotte tra il 2013 e il 2015 dall'Università di Bologna nella *Regio* I, *insulae* 4a-4b, hanno consentito di chiarirne lo sviluppo planimetrico, la destinazione sacra e l'inquadramento cronologico, mentre resta da definire

¹ Esempio lo studio sul tempio II dell'Ara della Regina di Tarquinia (BONGHI JOVINO 2012a).

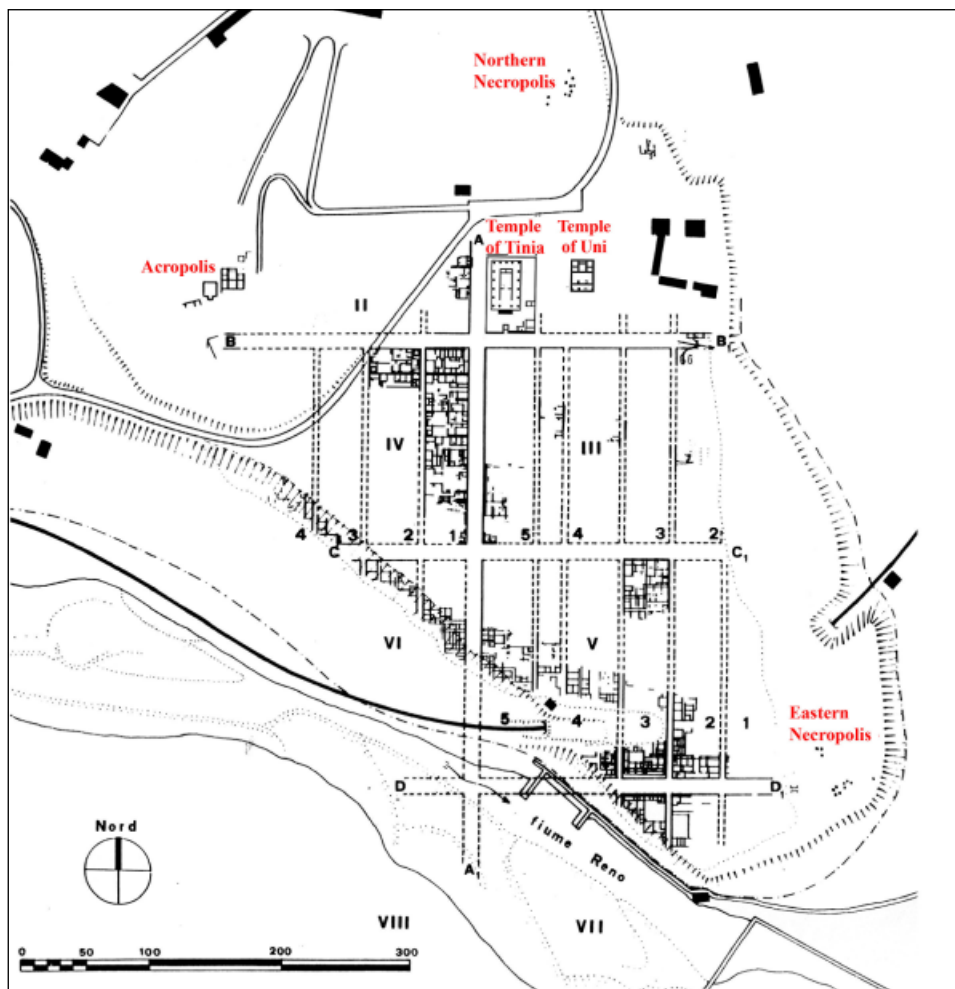


Fig. 1 – Planimetria generale della città di Marzabotto.

la relazione topografica dell'edificio monumentale con lo spazio circostante, obiettivo delle prossime campagne di scavo (GOVI c.s.).

Lo stato di conservazione delle strutture pertinenti all'edificio sacro purtroppo è apparso gravemente compromesso dai lavori agricoli di età moderna e dalla sistematica azione di depredazione dei materiali costruttivi, certamente riutilizzati nella locale edilizia ottocentesca e dei primi del Novecento. Le fosse di spolazione delle fondazioni murarie dell'edificio e i resti conservati dei muri hanno restituito comunque la planimetria di un tempio tuscanico a tre celle

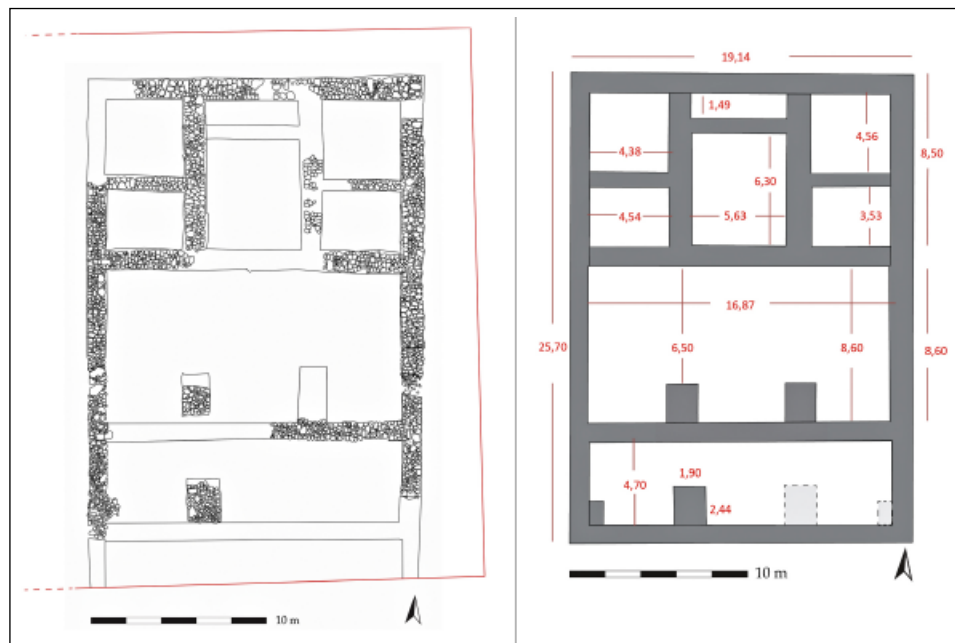


Fig. 2 – Pianta di scavo del tempio rinvenuto nella *Regio I*, *ins.* 4 con indicati i limiti di scavo e planimetria schematica dell'edificio (misure espresse in metri).

orientato a S (Fig. 2). Salgono così a cinque i templi scoperti nella città, tra acropoli e area urbana, cui si aggiungono i due podi-altare B e D e di nuovo, a pochi anni dalla scoperta del tempio urbano periptero, il volto della città appare rinnovato. L'eccezionalità del rinvenimento si comprende non solo nell'ambito degli studi dedicati alla città, che ora mostra una forma urbana meglio definita, con una fascia settentrionale votata al sacro tra acropoli e *Regio I*, ma anche nel quadro più ampio dell'urbanistica e dell'architettura templare dell'intera Etruria.

Il nuovo tempio è collocato circa 25 m ad E del tempio periptero dedicato a *Tinia* inserito, come è noto, nello spazio di un isolato regolare (SASSATELLI, GOVI 2005b; SASSATELLI, GOVI 2010). Rispetto al tempio periptero il nuovo tempio è arretrato verso N e, sebbene non sia ancora possibile chiarire la configurazione dell'intera area compresa tra i due edifici di culto, è certo che uno *stenopos* più largo del consueto li divideva ed è probabile che anche il tempio tuscanico fosse circoscritto da un muro di *temenos*, di cui si sono intraviste le tracce. La scansione urbanistica della *Regio I* appare ora sotto una nuova luce e già risulta chiaro che la presenza dei due templi, affiancati ma distinti, ha condizionato la maglia urbana sviluppata a S. È del tutto probabile, infatti,

che il tempio tuscanico si ponga all'origine della forma urbana, fondata tra la fine del VI e gli inizi del V sec. a.C. (GOVI c.s.).

I muri del tempio sono costruiti nel terreno vergine con la tecnica della fondazione a sacco, riempita con ordinate assise di ciottoli medio-grandi ed è frequente l'uso di massi di arenaria lunghi fino a un metro, preferibilmente collocati nei punti angolari, in tal modo armati. La straordinaria larghezza delle fondazioni, mediamente pari ad un metro, raggiunge anche 1,20 m nei muri perimetrali. Meno possenti i muri che dividono internamente le celle, privi di funzione portante. Del tempio si è conservato solo il livello delle fondazioni e non è stata rinvenuta alcuna traccia del riempimento del podio. Il tempio misura 19,14 m in larghezza e 25,70 m in lunghezza, in un rapporto di 1,34 tra i lati, con una proporzione pari a 4,46:6, vicina a quella di 5:6 canonizzata da Vitruvio per il tempio tuscanico. I muri perimetrali laterali probabilmente proseguivano verso S, a delimitare una scalinata estesa quanto la fronte dell'edificio, ma solo lo scavo potrà verificare la correttezza di questa ipotesi.

Il tempio ha una superficie di circa 492 m², poco più grande dunque di quella del tempio C dell'acropoli ma decisamente inferiore all'area del vicino tempio periptero di *Tinia* che raggiunge 778 m². Lo stereobate del nuovo tempio è avvicinabile a quello del tempio B di Sant'Antonio di Cerveteri (500 m²), e a quello del tempio di Vulci in loc. Fontanile di Legnisina (437 m²). Per avere un ordine di grandezza, il nuovo tempio tuscanico di Marzabotto, che ha un'area inferiore a quella del tempio B di Pyrgi (di 572 m²), si colloca, assieme ai citati templi di Cerveteri e di Vulci, all'interno del II gruppo individuato da M. Rendeli nello studio dimensionale degli edifici sacri dell'Etruria meridionale e del Lazio (RENDELI 1989). Tra la fine del VI e soprattutto agli inizi del V secolo gli edifici templari assumono dimensioni ancora maggiori e maestose, superando spesso gli 800 m².

La *pars postica* è articolata in tre celle, quelle laterali suddivise internamente a metà della lunghezza, mentre quella centrale ha uno stretto ambiente sul fondo, forse un passaggio verso i vani ricavati nelle celle laterali. La scansione delle celle è dunque in tutto simile a quella del tempio C dell'acropoli, dove però ha maggiore larghezza la cella centrale. Il rapporto tra le celle del tempio urbano (3,14:3,71:3,14) corrisponde così quasi esattamente a quello di 3:4:3 delle disposizioni vitruviane. La *pars antica* è costituita da un profondo pronao, all'interno del quale restano solo le basi di colonne della metà orientale del tempio. L'estremità S del muro occidentale mostra un contrafforte che può fare ipotizzare una fila di quattro colonne sulla fronte e una di due colonne all'interno.

La notevole estensione della *pars antica*, di fatto un pronao doppio, e la lunghezza dello spazio antistante le celle corrispondente alla lunghezza della *pars postica*, sono tratti distintivi del progetto architettonico del tempio che non si riscontrano nel tempio tuscanico C dell'acropoli, dove questo spazio

risulta decisamente più contratto, ma ricorrono con grande analogia nel tempio E dell'acropoli. Questo edificio, a lungo discusso nella sua natura a causa del pessimo stato di conservazione, della posizione sul margine della collina e dell'orientamento a E difforme rispetto a quello degli altri edifici sacri, grazie alla scoperta del tempio tuscanico urbano può essere compreso nella sua scansione planimetrica: lo sviluppo del pronao è infatti il medesimo, sebbene qui non siano conservate le basi di colonna isolate e, ipotizzando una *pars postica* uguale, lo stereobate del tempio E raggiunge le dimensioni di 16,60×circa 26,90 m. L'edificio E è databile tra la fine del VI e gli inizi del V secolo e dunque è collocato nella prima fase di monumentalizzazione dell'acropoli, dopo il podio-altare B (E. Lippolis in VITALI, BRIZZOLARA, LIPPOLIS 2001, 241, 266).

Lo stesso risalto assegnato alla parte più interna del pronao si ritrova nel tempio di Fontanile di Legnisina di Vulci e nei templi di Ardea nel Lazio, tutti della prima metà del V secolo a.C., e secondo Giovanni Colonna enfatizza la parte più importante del pronao, il vestibolo, rivelando uno stretto legame ideologico con la casa aristocratica e in particolare con l'atrio trasversale, vano di rappresentanza (COLONNA 2006, 160-161). Ai templi di Ardea tra l'altro rimanda anche la tecnica costruttiva delle basi di colonna isolate e dei contrafforti, addossati al muro perimetrale. Nel nuovo tempio tuscanico di Marzabotto in realtà sembra adottata una tecnica mista, intermedia cioè tra la tradizione delle fondazioni murarie isolate, già presente nel tempio II dell'Ara della Regina e persistente anche nella fase ellenistica, e la tradizione delle fondazioni a griglia elaborata tra la fine del VI e gli inizi del V secolo, esemplificata dai templi di Giove Capitolino e dei Castori di Roma, seguiti poco dopo dal tempio A di Pyrgi e dal tempio C dell'acropoli di Marzabotto.

I confronti planimetrici e dimensionali istituibili per il nuovo tempio di Marzabotto rimandano all'Etruria meridionale, in particolare a Cerveteri e Vulci, ambito verso il quale, d'altra parte, indirizza anche il tempio periptero. Ne emerge un complesso quadro di relazioni culturali tra Marzabotto e l'Etruria tirrenica che interessano le competenze tecnologiche applicate all'architettura del sacro, un settore specializzato per il quale è ormai assodata la circolazione in Etruria di saperi e di maestranze.

L'analisi metrologica del tempio, pur con tutta la necessaria cautela, indirizza verso l'uso del piede attico, adottato nell'edilizia civile e sacra della città e comune in Etruria.

Se l'inquadramento planimetrico orienta la cronologia dell'edificio verso un arco compreso tra la fine del VI e i primi decenni del V secolo, una datazione più puntuale alla fine del VI secolo si desume grazie a testimonianze epigrafiche di straordinaria importanza rinvenute durante lo scavo. Una iscrizione ha consentito di definire la sfera di competenza religiosa dell'edificio alla dea

Uni, paredra di *Tinia*. Un'altra iscrizione, del tutto eccezionale, testimonia invece l'atto rituale di fondazione dell'edificio, attribuendone la dedica allo *spura*, cioè alla comunità civica.

Il tempio di *Uni* si configura dunque come una delle attestazioni più antiche di questo tipo di architettura sacra.

E.G.

3. ANALISI ARCHEOLOGICA DELL'ALZATO DEL TEMPIO

L'analisi, finalizzata alla realizzazione del modello BIM, toccherà in maniera sintetica le seguenti tematiche: podio, materiali da costruzione, ipotesi ricostruttiva dell'alzato e della copertura.

La spoliazione dell'edificio non ha conservato traccia alcuna del podio, seppure è da ritenere che la continuazione dei possenti muri di fondazione sopra il piano di campagna antico (documentata dallo scavo) fungesse da scheletro di contenimento per la struttura. Su questa griglia muraria si impostavano i muri dell'edificio, mentre sulle basi isolate all'interno del podio e sui contrafforti a terminazione dei muri laterali gli stilobati delle colonne. L'altezza del podio potrebbe essere ricavata dal confronto con quello del tempio C dell'acropoli, ma l'incertezza dei dati a disposizione per questo edificio suggerisce cautela².

La variabilità di altri casi conservati (per cui si rimanda alla rassegna proposta in POTTS 2011, 42-43, tab. 1, e alle successive considerazioni espresse da BONGHI JOVINO 2012b) non aiuta a formulare una proposta univoca. Tuttavia, se valida l'interpretazione delle continuazioni a S dei muri perimetrali laterali³ quali spallette della scala di accesso, che doveva così dominare l'intera fronte dell'edificio, allora il recupero delle dimensioni dei gradini di edifici monumentali dell'acropoli⁴, cioè il podio-altare B (probabilmente anteriore al tempio di *Uni*) e il (verosimilmente) posteriore podio-altare D (h. 0,17-0,2 m circa; pedata rispettivamente di 0,25 e 0,35 m), potrebbe portare ad un calcolo approssimativo dei gradini (rapporto lungh. nota delle spallette/pedata max.). Se si stimano almeno 7 gradini⁵, il podio doveva guadagnare dunque una altezza minima di 1,4 m circa. Allo stato attuale dello scavo, non è lecito

² Pare ancora *sub iudice* (dato lo stato di conservazione e le molte vicende che il monumento ha vissuto dopo la sua scoperta) se l'effettiva altezza del podio fosse di 0,3 m circa, come prospettato dalla critica (cfr. da ultimo D. Vitali in VITALI, BRIZZOLARA, LIPPOLIS 2001, 40), oppure dovesse essere di oltre 1,5 m rispetto al piano di campagna antico, cioè l'altezza conservata dei muri perimetrali.

³ Le relative fosse di spoliazione ancora non sono state scavate nella loro interezza durante le campagne 2013-2015, in quanto si prolungano a S oltre il limite di scavo.

⁴ Il procedimento adottato è il medesimo già usato per ipotizzare l'altezza del podio del tempio di *Tinia* (E. Govi in SASSATELLI, GOVI 2005b, 30).

⁵ La preferenza del numero dispari è dovuta alla disposizione vitruviana relativa alle gradinate frontali dei podii, aventi una funzione agurale (*De Arch.* III 4, 4).

(seppure plausibile) attribuire ai paramenti esterni rivestimenti modanati di travertino, quali quelli rinvenuti all'interno del pozzo-cisterna del contiguo tempio di *Tinia* e a questo riferiti (SASSATELLI 2009, 332, fig. 11), o come attesta il podio-altare D dell'acropoli.

I materiali da costruzione utilizzati per l'alzato non sono attestati archeologicamente in contesto, come non lo sono in tutta la città antica. I muri dovevano essere in mattoni crudi (eventualmente con uno scheletro ligneo nei punti portanti), come già formulato per le abitazioni (GOVI 2010, 213-218), mentre le colonne potevano essere di legno (o meno verosimilmente di pietra: cfr. la rassegna di E. Govi in SASSATELLI, GOVI 2005b, 26, nota 29), e probabilmente almeno la base e il capitello potevano essere di travertino locale, come lascerebbero ritenere alcuni rinvenimenti nel sito a questi elementi riferibili (SASSATELLI, GOVI 2005b, 25-26; SASSATELLI 2009, 332, fig. 12). Per quanto riguarda il legno (e tale considerazione vale anche per il tetto) è verosimile ipotizzare l'uso della quercia caducifoglie, dato il contesto medio-collinare e come conferma anche uno studio paleo-ambientale basato sui resti paleobotanici provenienti dagli scavi dell'Università di Bologna condotti da M.L. Carra e in fase di conclusione. Va detto che la quercia è uno dei legni prevalentemente impiegati nel mondo greco e greco-coloniale, come testimoniano le fonti (ORLANDOS 1966, 13-14); tale essenza è stata ipotizzata anche per il tempio II di seconda metà VI secolo dell'Ara della Regina di Tarquinia⁶.

Seppure le proporzioni della pianta non ricalchino fedelmente le *tuscanicae dispositiones* di Vitruvio, come già sottolineato da Elisabetta Govi, le proporzioni indicate dall'autore latino (*De Arch.* IV 7, 2) sono gli unici dati a disposizione per proiettare l'alzato. Basando il calcolo sulla larghezza dell'edificio, che doveva essere poco inferiore ai 19,14 m delle fondazioni, avremmo delle colonne alte circa 6,4 m, caratterizzate da un imoscapo di 0,9 m (summoscapo: 0,67 m circa). Medesimi parametri sono stati utilizzati per la formulazione di ipotesi ricostruttive di altri templi tuscanici (spesso caratterizzati da una maggior conservazione di elementi architettonici: BONGHI JOVINO 2012a, 37, con riferimenti. Per una rassegna dei diametri di colonne lapidee di templi etrusco-italici cfr. E. Govi in SASSATELLI, GOVI 2005b, 26, nota 29). Il nostro risulta piuttosto affine al tempio del Portonaccio di Veio, a cui si avvicinerebbe anche per la chiusura laterale della *pars antica* (indirettamente provata in questo caso dalle lastre parietali dipinte: COLONNA 2008, 59, 61). In definitiva, si è qui deciso di acquisire le disposizioni vitruviane, nella consapevolezza dei limiti prima di tutto storici che queste hanno, ma

⁶ CHIESA, BINDA 2009, 67-69, con ulteriori riferimenti bibliografici a questa essenza. Differentemente, per il tetto del tempio A di Pyrgi è stato individuato il cipresso da un resto di trave carbonizzata rinvenuto in un pozzo (COLONNA 1988-1989, 111, fig. 88).

tenendo ben presente che la realizzazione del modello BIM è un'importante occasione per testare la correttezza della procedura di elaborazione in mancanza di dati comprobanti.

Anche lo scheletro ligneo del tetto è stato modellato secondo le descrizioni (limitate e non prive di ambiguità: ANDRÉN 1940, LV-LXX) di Vitruvio (IV 7, 4-5). Va puntualizzato che la probabile preferenza data alla quercia permetteva l'uso dei grandi travi portanti – non a caso travi di legno sono consigliate da Vitruvio per i templi areostili (*De Arch.* III 3, 5) – che sulla base delle fonti greche potevano avere una lunghezza anche di 7-8 m (ORLANDOS 1966, 21-23), come lascerebbe ipotizzare anche l'intercolumnio frontale del vicino tempio di *Tinia* superiore agli 8 m (per lunghezze eccezionali fino a 12 m cfr. CIFANI 2008, 105, note 251-252). Non è da escludere che i travicelli minori del tetto fossero in altre essenze attestata dalle analisi, quali acero e frassino. Risulta tutto da indagare il sistema di connessione degli elementi lignei fra loro⁷ e soprattutto il rapporto fra l'orditura della trabeazione e le strutture sottostanti, per cui si condividono sostanzialmente le considerazioni relative al tempio II dell'Ara della Regina (BONGHI JOVINO 2012a, 38). Mentre per la ricostruzione della gronda si è seguito, in mancanza di altri indizi, l'interpretazione che la vuole un quarto dell'intera lunghezza della falda (da valutare in rapporto ai carichi), rimane un problema aperto l'inclinazione di quest'ultima, che in altri edifici templari etrusco-italici è desumibile dalla decorazione architettonica conservata. Questa è generalmente compresa secondo la documentazione degli elementi di copertura tra 12° e 20°⁸, con una maggior concentrazione tra 16° e 18°, range che, in assenza di elementi dell'apparato decorativo, si privilegia in questa sede.

Il tetto a due falde era quindi coperto con *tegulae* e *imbrices*. Durante lo scavo⁹ sono stati recuperati finora elementi di copertura generalmente riferibili a moduli confrontabili con quelli delle abitazioni (PIZZIRANI, POZZI 2010), ed inoltre due antefisse a palmette (Fig. 6, a), caratteristiche di uno schema decorativo già attestato per gli edifici dell'acropoli. Non è possibile al momento stabilire se per le falde fossero utilizzati moduli di maggiori dimensioni, come peraltro lascerebbero credere i rinvenimenti

⁷ Vitruvio ricorda solo l'uso di chiavi e traversi incastrati per le *trabes compactiles* (IV 7, 4). Varie sono le soluzioni nel mondo greco, come testimoniato dalle fonti antiche (ORLANDOS 1966, 45-49). Ipotesi di grappe, chiodi e legacci sono state formulate anche per il tempio II dell'Ara della Regina (CHIESA, BINDA 2009, 74).

⁸ COLONNA 1986, 493. Si ricordano qui in ordine crescente le pendenze di falda di alcuni dei più importanti templi etrusco-italici del periodo in esame: Portonaccio di Veio di 12°; tempio B di Pyrgi di 15,30°; Belvedere di Orvieto di 17°; tempio II di Satricum di 17°; tempio A di Pyrgi di 18°; Tempio Dorico del Foro Triangolare di Pompei di 18° o 16°; tempio II dell'Ara della Regina di Tarquinia di 18°. Per il tempio di *Tinia* di Marzabotto è stata stimata una pendenza di 16°.

⁹ UUSS 1119, 1121, 1142: queste sono state interpretate da E. Govi come un camminamento realizzato in età ellenistica, verosimilmente dopo la dismissione dell'edificio sacro (GOVI c.s.).

di tegole del vicino tempio di *Tinia* (SASSATELLI 2009, 332, fig. 13). Pare quindi credibile allo stato attuale delle indagini ipotizzare una copertura con elementi fittili di modulo speciale, che solo in via preliminare si immagina identico a quello del vicino tempio periptero (Fig. 6, b-c), e relegare eventualmente al tettuccio della fronte gli elementi di copertura di modulo noto per le abitazioni. Sulla base dei dati ricavati, B. Gruška ha elaborato mediante fotogrammetria digitale le restituzioni virtuali di questi reperti, che, acquisendone anche il peso, permettono di proporre una ipotesi di copertura che tenga conto dei moduli dei diversi elementi (tegole, coppi, antefisse) e dell'effettivo carico (GARAGNANI, GAUCCI, GRUŠKA c.s.). Non pare metodologicamente corretto prevedere ulteriori elementi decorativi che al momento non sono stati rinvenuti.

A.G.

4. *ARCHAEOBIM*: UNA MODELLAZIONE SEMANTICA PER L'ARCHEOLOGIA

Da alcuni anni, il settore delle costruzioni contemporanee è interessato da un cambiamento metodologico importante, ritenuto da molti studiosi come in grado di rispondere alle esigenze sempre più stringenti dell'industria edilizia, sia in termini economici sia qualitativi (EASTMAN *et al.* 2008).

La transizione verso il BIM, nella sua accezione più ampia di processo collaborativo tra attori che operano secondo logiche strutturate (KENSEK 2014), rivela tutto il suo potenziale strategico con l'organizzazione e la gestione dei dati caratterizzanti il progetto degli edifici, per tutto il loro ciclo di vita (KYMMELE 2008). L'interoperabilità tra le figure professionali, molto spesso afferenti a discipline diverse, si estende nel tempo mediante l'utilizzo di modelli digitali preparati per accogliere informazioni diacroniche aggiornabili. Il "processo BIM" si esprime dunque attraverso il "modello BIM", duale digitale esatto del fabbricato, edificabile nel dominio reale. I diversi saperi (architettonici, costruttivi, strutturali, gestionali, etc.) convergono così in modelli prodotti dall'aggregazione consapevole di elementi "intelligenti", dotati cioè di una sorta di auto-coscienza delle proprie valenze geometriche, materiche e comportamentali, in grado di relazionarsi tra loro nel rispetto di regole precise (FAI *et al.* 2011).

La semantica dei componenti edilizi assume in questo modo un nuovo significato intrinseco, secondo il quale la rappresentazione digitale esprime non solo la morfologia e il disegno complessivo, ma anche l'informazione del particolare, la base di dati che dirige le modalità di relazione vicendevole tra gli elementi e ne permette le analisi delle mutue interazioni in ambiti diversi (NEUHOLD 2014).

I vantaggi del processo sono stati acclarati e misurati seguendo metriche riferite alle nuove costruzioni; il BIM si sta pertanto affermando

come processo di pianificazione per l'*ex-novo*, rappresentando ormai una cogenza legislativa per l'istruzione di pratiche di pubblico appalto in svariati paesi. Tuttavia la letteratura scientifica riporta l'applicazione dei principi BIM anche all'ambito delle architetture esistenti, in particolare di natura monumentale, per le quali è stato coniato l'acronimo HBIM (Historic Building Information Modeling; MURPHY, MCGOVERN, PAVIA 2013). Si tratta, in termini generali e come già accennato nell'introduzione di questo contributo, di un approccio riferito al patrimonio costruito, documentato attraverso rilievi ad alta risoluzione (mediante laser scanning terrestre o fotogrammetria digitale) e scomposto in costituenti prima codificati in categorie e poi aggregati in modelli parametrici (QUATTRINI *et al.* 2015), risultato dell'interpretazione comparativa del dato acquisito con librerie di oggetti digitali già predisposti per generare combinazioni costruttive diverse e replicare la realtà (DOR, MURPHY 2012).

Il procedimento HBIM si è dimostrato efficace per l'analisi delle molte informazioni riferibili a contesti urbani storici consolidati, modellati attingendo ad un vocabolario formale noto, anche se diversificabile: per estendere i vantaggi della rappresentazione HBIM anche a realtà archeologiche non più compiutamente documentabili, tuttavia, si sono resi necessari avanzamenti sperimentali ulteriori, mirati alla ricostruzione estesa delle informazioni, come nel caso di studio oggetto di questo lavoro di ricerca.

Non essendo stato possibile acquisire conoscenze costruttive e metriche precise degli alzati, delle regole di assemblaggio e delle modalità di produzione dei componenti per comparare il tempio di *Uni* ad altre situazioni esistenti, si è deciso di applicare l'approccio analitico di modellazione semantica BIM per validare una ipotesi di ricostruzione il più possibile aderente a criteri di fattibilità costruttiva reale. Questo approccio, pur applicato al patrimonio similmente al processo HBIM, si è rivelato differente e originale dacché gli elementi di avvio del flusso di lavoro sono stati il solo rilievo di scavo della struttura di fondazione sopravvissuta del tempio e la letteratura storica pertinente la tradizione costruttiva templare etrusca.

Da questi elementi è stato avviato un percorso di ricerca volto ad esplorare la validazione fabbricativa dell'opera, al pari di un edificio di nuova realizzazione, tenendo in considerazione i dati relativi ai materiali ed alle tecniche edilizie di più probabile utilizzo all'epoca dell'effettiva edificazione.

Per meglio distinguere questo scenario applicativo dalle caratteristiche peculiari dell'HBIM che, come si è detto, parte da premesse diverse, si è deciso di riferirsi al processo di lavoro adottato con il termine *ArchaeoBIM*, a sottolineare la comune matrice BIM della gestione delle informazioni attraverso modelli analitici integrati, declinando però il metodo all'ambito particolare della ricostruzione archeologica.

S.G.

5. IL PROCESSO DI RICOSTRUZIONE ANALITICA DEL TEMPIO DI *UNI*

In un modello semantico BIM, i singoli elementi conservano memoria dei dati loro associati, tanto da rendere la ricostruzione geometrica complessiva una sorta di loro “indice visuale per contenuti” (GARAGNANI 2015).

È questo un aspetto fondante del software Autodesk Revit 2016, ambiente di modellazione BIM che si è utilizzato nella ricostruzione del Tempio di *Uni*. All'interno di quest'area di lavoro, progettata per la realizzazione di fabbricati contemporanei, i componenti edilizi sono strutturati in una gerarchia precisa di “famiglie”, sorta di contenitori esclusivi per le diverse tipologie di oggetti che interagiscono tra loro secondo regole di relazione che variano a seconda del loro livello di importanza, codificato nelle priorità rispettate dal software. Ad esempio, le aperture (porte e finestre) sono modellabili solo in presenza di adeguate murature in grado di ospitarle, mentre una trabeazione può essere disegnata solo se le membrature in alzata sono state predisposte in precedenza in modo adeguato a sostenerla.

In tal modo, la produzione del modello digitale segue in maniera precisa il processo edilizio reale, con un primo controllo sulla fattibilità delle soluzioni costruttive che avviene già in fase di modellazione. Il risultato finale, dipendente dal livello di dettaglio che si desidera raggiungere, può replicare la costruzione fino al più minuto particolare.

Il flusso di lavoro adottato ha considerato *in primis* il dato di scavo: la restituzione vettoriale dei profili delle fondazioni intercettate ha costituito un iniziale elemento di valutazione per le proporzioni generali del Tempio. In Revit 2016 sono state modellate le fondazioni complete, rettificandone il tracciato per valutare le distanze degli interassi secondo le proporzioni vitruviane, risultate però non perfettamente rispettate. Il rinvenimento di strutture di fondazione continue ha portato all'ipotesi di tracciati murari lineari mentre i supporti simili a plinti, posizionati in punti precisi del tracciato ipogeo, hanno suggerito la disposizione delle colonne nella *pars antica*, presumibilmente in linea d'asse con le murature di separazione per i vani posteriori della *pars postica*.

Tali allineamenti, espressione ordinata di vincoli di pianta nel modello digitale, hanno permesso di ipotizzare le altezze in elevazione di murature, profili di trabeazione superiori e coperture, a partire dallo spiccatto del podio basamentale, modellato a partire dalla fondazione e simulato come struttura ampia a terrapieno, supportata da murature di contenimento (Fig. 3).

Per seguire la simmetria evidenziabile dal rilievo dello scavo, le strutture di supporto alle colonne frontali ad E sono state modellate similmente a quelle ad O: per le prime non è stato rinvenuto alcun profilo di fondazione, essendo stato il terreno fortemente rimaneggiato nei secoli, mentre per le seconde un rinforzo alla fondazione perimetrale ed un plinto orientato secondo l'asse delle pareti posteriori suggeriscono un sistema di supporto ben definito.

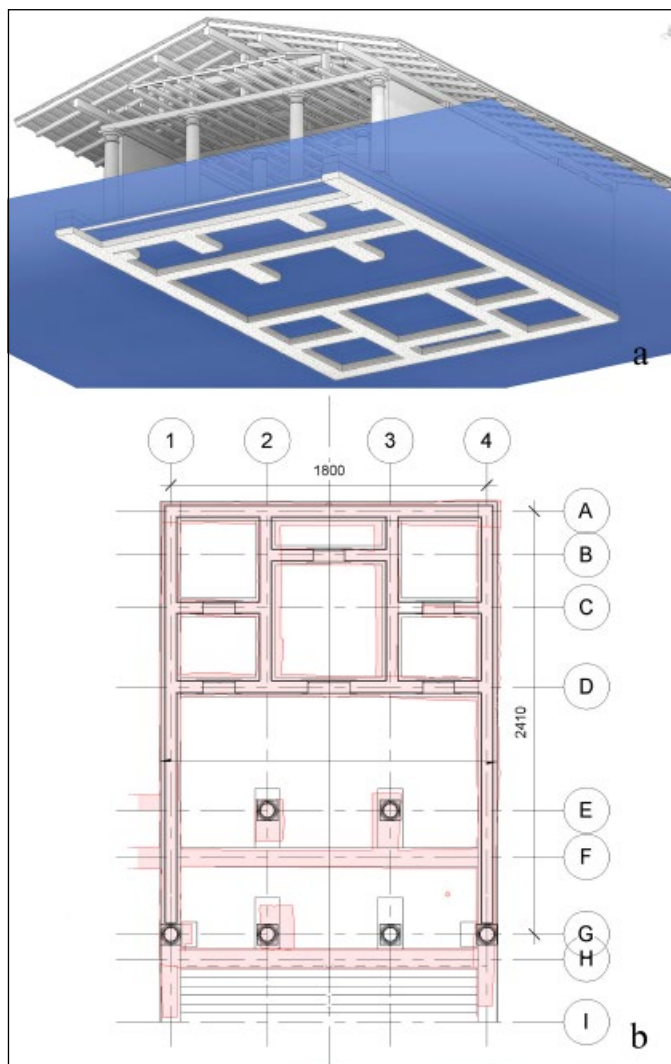


Fig. 3 – Disposizione planimetrica del modello BIM, con in evidenza la resa tridimensionale della struttura di fondazione (a) e il profilo delle fondazioni rinvenute (b).

Al fine di esercitare un controllo ampio sulle proporzioni del tempio virtuale si è proceduto alla generazione di componenti semantiche direttamente legate alle indicazioni parametriche di Vitruvio: la colonna tuscanica riprodotta digitalmente (Fig. 4) presenta un'altezza pari a 7 diametri ed è

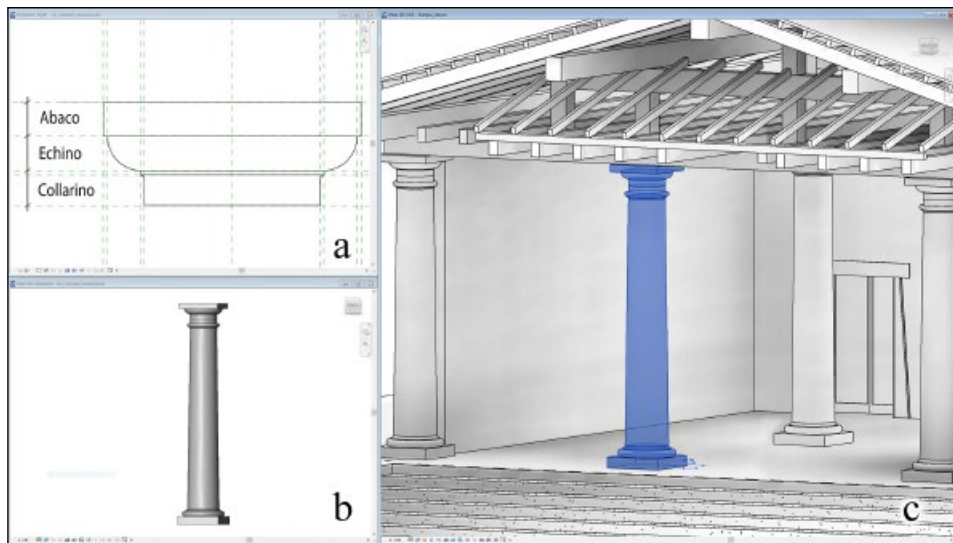


Fig. 4 – Particolare della modellazione parametrica dei profili (a) e delle proporzioni di una ipotetica colonna tuscanica (b), così come inserita nel modello BIM del tempio di *Uni* (c).

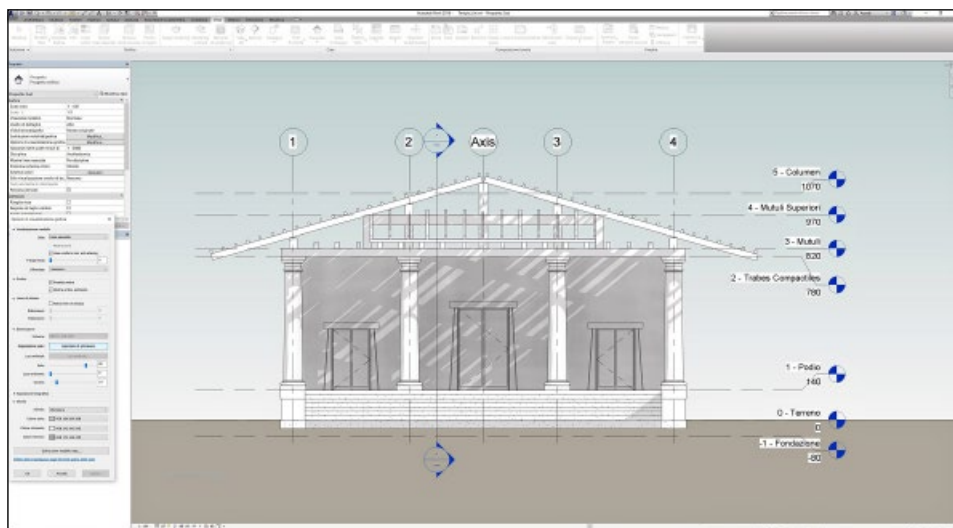


Fig. 5 – Schema generale dell'alzato del tempio di *Uni*, generato a partire da componenti architettonici parametrici e realizzato mediante il software Autodesk Revit 2016.

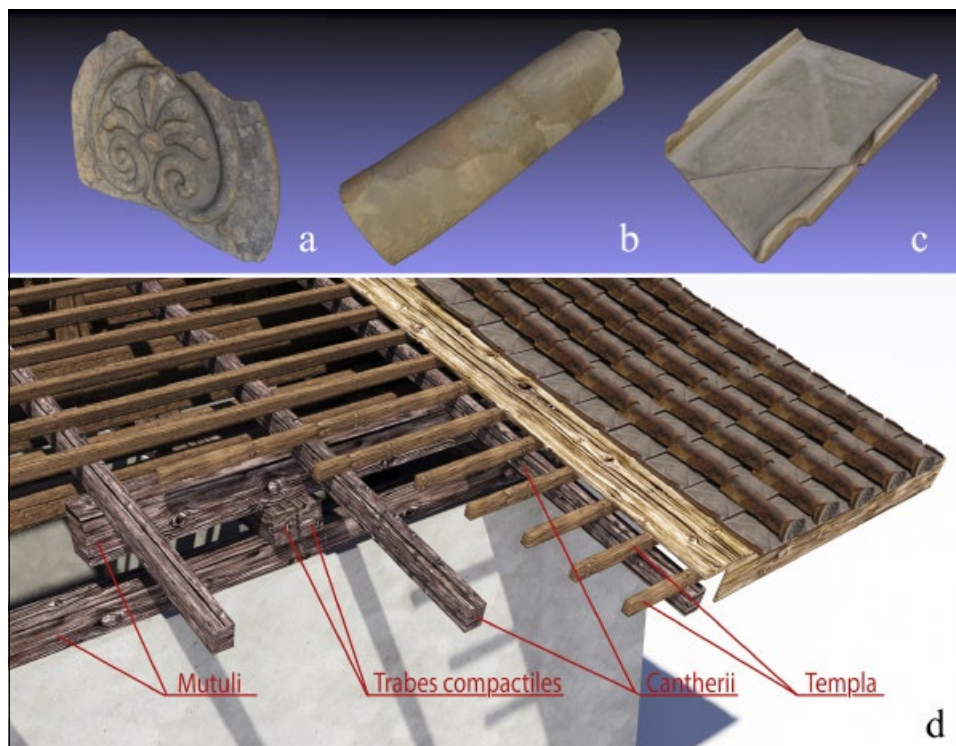


Fig. 6 – Dettaglio del modello digitale BIM della copertura, comprensiva dell’inserimento di elementi fittili rinvenuti a Marzabotto e rilevati da B. Gruška (a, b, c) e dei componenti ordinati secondo la possibile sequenza di posa (d).

stata individuata come riferimento metrico per il prospetto, proporzionato per rapportarsi coerentemente al tracciato di fondazione (Fig. 5). La trabeazione che ne deriva è completata in sommità da *trabes compactiles* binate, di altezza poco superiore al collarino delle colonne e correnti lungo la luce trasversale di pianta.

Il modello costruttivo BIM del tempio è completato superiormente dalla copertura, modellata nelle sue componenti lineari di *mutuli*, *cantherii* e *templa*, ipotizzando una lunghezza per le orditure primarie e secondarie mai superiore agli 8 m, e in quelle fittili, in recepimento delle informazioni ponderali, materiche e dimensionali delle tegole rinvenute presso Marzabotto e acquisite da B. Gruška mediante fotogrammetria digitale (Fig. 6).

Considerate sia l’estensione vasta delle falde, che nel modello sono inclinate di 16°, sia le possibili modalità di fissaggio degli elementi, la modellazione complessiva della copertura fittile ha rilevato come sia plausibile la posa di

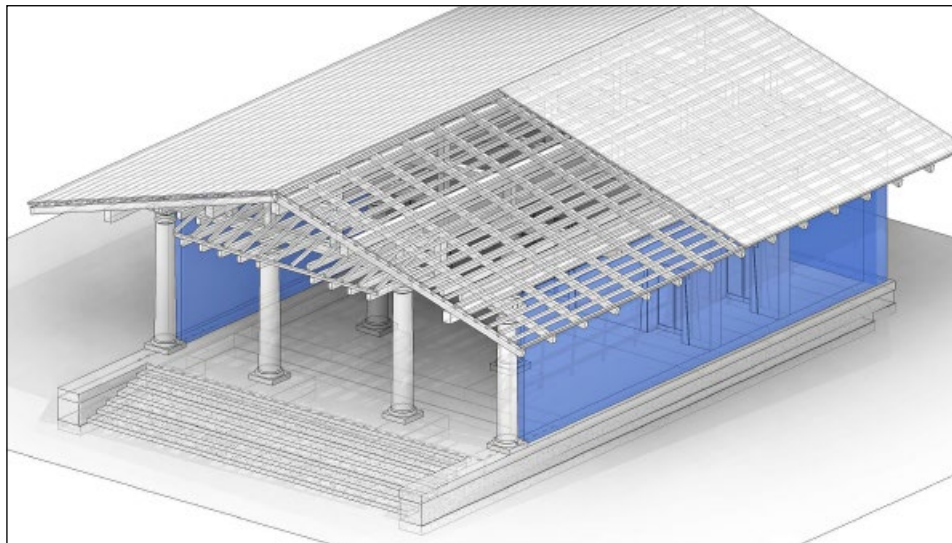


Fig. 7 – Il modello BIM complessivo del tempio di *Uni*, comprensivo del sistema di copertura nelle sue diverse componenti lignee.



Fig. 8 – Preliminare ricostruzione virtuale dell'area templare a N di *Kainua*: a sinistra il tempio poliadico di *Tinia*, più a destra il tempio di *Uni*, affiancati ed entrambi posti sui rispettivi tracciati di fondazione, come rinvenuti durante gli scavi (la visualizzazione virtuale è stata ricavata dal modello BIM).

circa 1300 coppi (delle dimensioni approssimative di 79×25 cm, disposti in 39 filari in pendenza di lunghezza pari a 17 elementi) e 1700 tegole (850 per falda, delle dimensioni approssimative di 60×51 cm).

Il modello BIM permette di localizzare i carichi ponderali derivanti da una struttura così composta, evidenziando le condizioni di sollecitazione delle membrature, in massima parte immaginate come costituite da legni di quercia caducifoglie. Tale materiale ha un comportamento ortotropico alla deformabilità con una densità che è stata stimata attorno ai 670 kg/m³. Questa parte della ricerca, la più delicata per l'ottenimento di risultati attendibili, è in corso di sviluppo al momento della scrittura di questo contributo ma ha già confermato sommariamente la validità di geometrie e sezioni così come sono state trattate durante la procedura di modellazione. Sono previste comparazioni con materiali costituenti diversi, che saranno valutate in fase di ricerca più avanzata.

S.G.

6. CONCLUSIONI

Il modello complessivo del tempio di *Uni* (Figg. 7-8) è stato occasione di sperimentazione per una modalità di collaborazione ed interazione del tutto nuova tra i settori di ingegneria ed archeologia, culminando nella produzione di un archivio di informazioni che può essere ampliato e modificato nel tempo, secondo un'esigenza da tempo sentita nei settori di salvaguardia del patrimonio (ADDISON *et al.* 2008); infatti ogni oggetto del modello è disponibile all'integrazione di documenti specifici, riferimenti numerici d'ordine, e definizione di fasi temporali di edificazione.

Gli autori di questo contributo ritengono che il processo di catalogazione informativa *ArchaeoBIM* costituisca un approccio versatile e proficuo per la documentazione del patrimonio archeologico, candidandosi come un sistema completo di gestione della conoscenza, utile tanto per la consultazione dei materiali contenuti quanto per lo studio più analitico dei luoghi, volto a rappresentarne una ricostruzione possibile consapevole.

SIMONE GARAGNANI

Dipartimento di Architettura
Alma Mater Studiorum Università di Bologna
simone.garagnani@unibo.it

ANDREA GAUCCI, ELISABETTA GOVI

Dipartimento di Storia Culture Civiltà
Sezione di Archeologia
Alma Mater Studiorum Università di Bologna
andrea.gaucci3@unibo.it, elisabetta.govi@unibo.it

BIBLIOGRAFIA

- ADDISON A., SANTANA QUINTERO M., SEVERO M. 2008, *Cultural heritage repositories: Digital archives for conservation and management*, in M. ZAMBELLI, A.H. JANOWIAK, H. NEUCKERMANS (eds.), *Browsing Architecture: Metadata and Beyond*, Stuttgart, Fraunhofer IRB, 306-317.
- ANDRÉN A. 1940, *Architectural Terracottas from Etrusco-Italic Temples*, 1. Text, Lund, H. Ohlsson.
- BARONIO P. 2012, *Un architetto per il tempio di Tina a Marzabotto. Studio dell'antico procedimento geometrico-proporzionale utilizzato nel progetto del tempio urbano della città etrusca di Kainua*, «Ocnus», 20, 9-32.
- BONGHI JOVINO M. 2012a, *Tempio II*, in M. BONGHI JOVINO, G. BAGNASCO GIANNI (eds.), *Tarquini. Il santuario dell'Ara della Regina. I templi arcaici*, Roma, L'Erma di Bretschneider, 33-40.
- BONGHI JOVINO M. 2012b, *Alle origini del processo di strutturazione del tempio etrusco. La presenza del podio*, «Studi Etruschi», 75, 3-8.
- CHIESA F., BINDA B. 2009, *Una possibile ricostruzione dei tetti arcaici*, in M. BONGHI JOVINO, F. CHIESA (eds.), *L'Ara della Regina di Tarquinia. Aree sacre. Santuari mediterranei*, Milano, Cisalpino, 65-91.
- CIFANI G. 2008. *Architettura romana arcaica. Edilizia e società tra Monarchia e Repubblica*, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- COLONNA G. 1986, *Urbanistica e architettura*, in *Rasenna. Storia e civiltà degli Etruschi*, Milano, Garzanti Scheiwiller, 371-530.
- COLONNA G. 1988-1989, *Gli oggetti lignei*, in *Pyrgi. Scavi del santuario etrusco (1969-1971)*, «Notizie degli Scavi di Antichità», 42-43, Suppl. II, 111-121.
- COLONNA G. 2006, *Sacred architecture and the religion of the Etruscans*, in N.T. DE GRUMMOND, E. SIMON (eds.), *The Religion of the Etruscans*, Austin, University of Texas Press, 132-168.
- COLONNA G. 2008, *L'officina veiente: Vulca e gli altri maestri di statuaria arcaica in terracotta*, in M. TORELLI, A.M. MORETTI SGUBINI (eds.), *Etruschi. Le antiche metropoli del Lazio*, Catalogo della mostra, Milano, Electa, 53-63.
- DORÉ C., MURPHY M. 2012, *Integration of HBIM and 3D GIS for Digital Heritage Modelling*, in *Digital Documentation International Conference (Edinburgh 2012)* (<http://arrow.dit.ie/beschrecon/71/>).
- EASTMAN C., TEICHOLZ P., SACKS R., LISTON K. 2008, *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, Hoboken, John Wiley & Sons.
- FAI S., DUCKWORTH T., GRAHAM K., WOOD N. 2011, *Building Information Modelling and the conservation of modern heritage*, in *The 24th World Congress of Architecture*, Tokyo, Union Internationale des Architectes (UIA).
- GARAGNANI S. 2015, *Semantic representation of accurate surveys for the cultural heritage: BIM applied to the existing domain*, in S. BRUSAPORCI (ed.), *Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, Hershey, IGI Global.
- GARAGNANI S., GAUCCI A., GRUŠKA B. c.s., *From the archaeological record to ArchaeoBIM. The case study of the Etruscan temple of Uni in Marzabotto*, «Virtual Archaeology Review», in corso di stampa.
- GAUCCI A. c.s., *Nuovi studi sull' "isolato Mansuelli" di Marzabotto (Regio IV, Insula 1)*, «Annali Faina», 23, in corso di stampa.
- GAUCCI A., GARAGNANI S., MANFERDINI A.M. 2015, *Reconstructing the lost reality. Archaeological analysis and transmedial technologies for a perspective of Virtual Reality in the Etruscan city of Kainua*, in R. SCOPIGNO, G. GUIDI (eds.), *Proceedings of the 2nd International Congress on Digital Heritage (Granada 2015)*, IEEE, vol. 2, 21, 1-8.
- GOVI E. 2010, *Le tecniche di costruzione*, in GOVI, SASSATELLI 2010, 1, 205-222.
- GOVI E. 2014, *Etruscan urbanism at Bologna, Marzabotto and in the Po valley*, in E.C. ROBINSON (ed.), *Papers on Italian Urbanism in the First Millennium B.C.*, «Journal of Roman Archaeology», Suppl. 97, 81-111.

- GOVI E. c.s., *La dimensione del sacro nella città di Kainua – Marzabotto, La città etrusca e il sacro. Santuari e istituzioni politiche*, in corso di stampa.
- GOVI E., SASSATELLI G. (eds.) 2010, *Marzabotto. La Casa 1 della Regio IV – Insula 2*, Bologna, Ante Quem.
- KENSEK K. 2014, *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*, Hoboken, Wiley & Sons.
- KYMMELL W. 2008, *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*, New York, McGraw-Hill Education.
- LIPPOLIS E. 2005, *Nuovi dati sull'acropoli e sulla forma urbana di Marzabotto*, in SASSATELLI, GOVI 2005a, 139-165.
- MANSUELLI G.A. 1966, *Risultati urbanistici degli scavi di Marzabotto*, «Rivista Ingegneri Architetti Costruttori», 4, 1-8.
- MURPHY M., MCGOVERN E., PAVIA S. 2013, *Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*, «ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 76, 89-102.
- NEUHOLD E. 2014, *Interoperability and semantics: An introduction into the past and a look at the future*, in A. MAHDAVI, B. MARTENS, R. SCHERER (eds.), *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2014*, Leiden, CRC Press/Balkema, 7-9.
- ORLANDOS A. 1966, *Les matériaux de construction. La technique architecturale des anciens Grecs*, I, Paris, De Boccard.
- PIZZIRANI C., POZZI A. 2010, *Laterizi e materiali da costruzione*, in GOVI, SASSATELLI 2010, 285-313.
- POTTS C.R. 2011, *The development and architectural significance of early Etrusco-Italic podia*, «BABESCH», 86, 41-52.
- QUATTRINI R., MALINVERNI E., CLINI P., NESPECA R., ORLIETTI E. 2015, *From Tls to Hbim. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture*, «ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 40, 5/W4, 367-374.
- RENDELI M. 1989, «*Muratori, ho fretta di erigere questa casa*» (*Ant. Pal.* 14, 136). *Concorrenza tra formazioni urbane dell'Italia centrale tirrenica nella costruzione di edifici di culto arcaici*, «Rivista dell'Istituto Nazionale di Archeologia e Storia dell'Arte», s. III, 12, 49-68.
- SASSATELLI G. 2000, *Città etrusca di Marzabotto* (progettazione e testi di C. Taglioni), CD-Rom, Bologna, Hit Studio Editori.
- SASSATELLI G. 2009, *Il tempio di Tina a Marzabotto e i culti della città etrusca*, in G. CRESCI MARRONE, M. TIRELLI (eds.), *Altnoi. Il santuario altinate: strutture del sacro a confronto e i luoghi di culto lungo la via Annia*, Roma, Quasar, 325-344.
- SASSATELLI G., GOVI E. (eds.) 2005a, *Culti, forma urbana e artigianato a Marzabotto. Nuove prospettive di ricerca*, Bologna, Ante Quem.
- SASSATELLI G., GOVI E. 2005b, *Il tempio di Tina in area urbana*, in SASSATELLI, GOVI 2005a, 9-62.
- SASSATELLI G., GOVI E. 2010, *Cults and foundation rites in the Etruscan city of Marzabotto*, in L.B. VAN DER MEER (ed.), *Material Aspects of Etruscan Religion, Proceedings of the International Colloquium (Leiden 2008)*, «BABESCH», Suppl. 16, Leuven, Peeters, 27-37.
- SCIANNA A., SERLORENZI M., GRISTINA S., FILIPPI M., PALLAGA S. 2015, *Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma*, in M. SERLORENZI, G. LEONI (eds.), *Il SITAR nella Rete della ricerca italiana. Verso la conoscenza archeologica condivisa. Atti del III Convegno (Roma 2013)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 7, 199-212.
- VITALI D., BRIZZOLARA A.M., LIPPOLIS E. (eds.) 2001, *L'acropoli della città etrusca di Marzabotto*, Imola, University Press Bologna.

ABSTRACT

The model of the Tuscanic Temple of *Uni* in Marzabotto, recently discovered, has been a common ground for engineering and archaeological studies, thanks to the processing of a Building Information Modeling (BIM). Beside the historic and archaeological analysis, the innovation of this study concerns the examination of the Etruscan temple as a three-dimensional building, with the use of technologies which impact on the architectural reliability of the model, and the design of a new method of Experimental Archaeology based on a virtual approach. The uniqueness of this approach lies in the study of original elements at the starting point of the building process, that consist in foundations or spoliated structures (i.e. negative evidences), over the clues from the historical and scientific literature. To better define this distinctive working process, the expression *ArchaeoBIM* has been proposed. With this expression we underline the common BIM matrix in the data management through integrated analytical models, applied to a particular aspect of the archaeological research.