

## ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO Y APLICACIÓN DE METODOLOGÍA BIM EN EL SANTUARIO EXTRAURBANO DE *TUSCULUM*

### 1. INTRODUCCIÓN

La Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma (EEHAR-CSIC) realiza desde hace más de 25 años excavaciones arqueológicas e investigación en el yacimiento de *Tusculum* y su territorio. En estos años, los resultados científicos obtenidos por diversos grupos de trabajo han permitido la recuperación de una imagen extraordinaria de la ciudad, descubriéndose una serie de complejos monumentales (foro, teatro, acrópolis, iglesia) que ilustran arqueológicamente la complejidad urbana del lugar con grandes posibilidades de desarrollo para la investigación (Fig. 1).

Desde el comienzo de los trabajos en el año 1994 la investigación ha desarrollado varias fases marcadas por una estrategia institucional coherente, que ha facilitado la continuidad del proyecto<sup>1</sup>. En estos años han sido muchas las publicaciones que, sistemáticamente han dado a conocer los datos provenientes de las campañas de excavación desarrolladas en numerosas áreas de la ciudad y otras zonas extraurbanas. Recordamos, en este sentido, las excavaciones estratigráficas en el teatro, que se publicarán íntegramente dando a conocer además las intervenciones realizadas en las distintas zonas del foro, en la basílica con sus distintas transformaciones desde la época republicana, la documentación de las fases de la ocupación más antigua del foro reconocidas en el llamado podio arcaico, junto a los edificios sagrados evidenciados en la parte occidental o las investigaciones en la zona de la fuente arcaica y en el lado oriental del foro cerca del teatro.

El “santuario extraurbano” es conocido desde hace mucho tiempo, aunque solo al final de los años noventa del siglo pasado se realizaron las primeras excavaciones con metodología estratigráfica. Esta área no ha sido tradicionalmente objeto de las investigaciones desarrolladas por la EEHAR, aunque en 1997, en el ámbito de un proyecto general de limpieza, consolidación y restauración en la zona del santuario, se llevaron a cabo dos campañas de excavación, dirigidas por Xavier Dupré, y la Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio. Esta intervención estaba orientada principalmente a la comprensión y restauración de algunos espacios situados en la terraza sobre las grandes subestructuras del santuario. El proyecto comprendía la limpieza

<sup>1</sup> Los trabajos se han efectuado en relación con las instituciones locales representadas por la Soprintendenza dei Beni Archeologici del Lazio y la XI Comunità Montana dei Castelli Romani e Prenestini. Para el parque arqueológico de *Tusculum* cfr. QUILICI, QUILICI GIGLI 1991.



Fig. 1 – Ortofotografía del conjunto arqueológico de *Tusculum*, en rojo se señala la posición del santuario (EEHAR-CSIC).

de las bóvedas situadas en los espacios bajo el santuario y la excavación del área que antecede al podio del templo, con el objetivo fundamental de comprender la relación y las transformaciones entre el edificio principal de culto y el espacio de la plaza (DUPRÉ RAVENTÓS, RIBALDI 2004).

Estos datos representan la única base para la comprensión de las diversas fases del templo objeto de estudio y, en este sentido, una de las novedades que presenta esta contribución ha sido posible gracias al acceso y consulta de la documentación original de las excavaciones de Dupré custodiada en el archivo de la EEHAR. Esta documentación es fundamental para reconstruir una hipótesis coherente y fiable sobre las transformaciones de la plaza de este complejo monumental, los sistemas constructivos de la escalinata del templo y las relaciones urbanísticas entre el templo y la plaza.

El complejo del santuario de *Tusculum*, de hecho, representa uno de los edificios mejor conservados de la ciudad y, sin embargo, menos conocido y estudiado (Fig. 2). Se ha llevado a cabo un primer análisis sobre el templo del santuario en el marco de una nueva fase de la investigación sobre el yacimiento arqueológico, comenzada en 2017, y que prevé nuevas investigaciones en el área monumental en función de la reestructuración de



Fig. 2 – Panorámica aérea del santuario extraurbano en 1997 (EEHAR Tus-Fot-T1638).

itinerarios de visita y de un estudio territorial más amplio en relación con las dinámicas productivas y económicas. El santuario en su totalidad será objeto, además, de un programa de investigación que contempla un análisis arquitectónico y estratigráfico vertical sobre los restos conservados, con el objetivo de reconstruir un palimpsesto estratigráfico de gran complejidad, junto con el estudio de las técnicas edilicias y una valoración de los riesgos estructurales con especial atención al estudio de las lesiones/daños y del estado de conservación del edificio.

## 2. EL SANTUARIO EXTRAURBANO DE *TUSCULUM*: BREVE HISTORIA DE LA INVESTIGACIÓN Y CUESTIONES ARQUEOLÓGICAS

En correspondencia con la ladera occidental de la colina sobre la que surge la ciudad de *Tusculum*, se encuentran los restos de un imponente complejo cultural. En ellos se pueden apreciar todavía en determinados sectores, los restos de un sistema constructivo apoyado sobre la base geológica, que en parte sostenía una amplia plaza al centro de la cual se levantó un templo. Desde esta posición sobre elevada el santuario dominaba al NO el valle atravesado por la Vía Latina, desde la que se abría un camino que se

recorría el lado nororiental para después entrar en la ciudad y desembocar en el foro; al SO, sin embargo, se dirigía hacia el Monte Albano y hacia la llanura inferior.

En virtud de esta escenográfica ubicación y de la imponente de sus restos, el monumento ha suscitado el interés precoz de estudiosos y humanistas. Desde el siglo XVI sus vestigios han sido indistintamente identificados con algunas de las tantas villas de ocio mencionadas en las fuentes antiguas en el territorio de *Tusculum*, y especialmente con la más celebre de ellas, el *Tusculanum* de Cicerón<sup>2</sup>. Incluso después de la identificación de esta última con los restos subterráneos de la villa della Rufinella, situada algo más al O, el conjunto mantuvo en el ambiente erudito naturaleza residencial y fue atribuido al primer cónsul Gabinio, propietario de una vivienda adyacente a la de Cicerón; y después a Tiberio, que también poseía una residencia en esta zona<sup>3</sup>. La identificación del complejo con la villa imperial mencionada, entre ellos, por Dión Casio, fue propuesta por L. Biondi en 1826 (CANINA 1841, 79-80; 128-129), después de las investigaciones desarrolladas en el área septentrional. La hipótesis resultó confirmada por el hallazgo de una estatua marmórea acéfala, de tamaño mayor del natural, que representaba una figura sentada y vestida únicamente con un manto que le cubría la parte izquierda de la espalda y la pierna (CANINA 1841, 79-80; BORDA 1943, 31-32; SALCEDO 2000). La estatua, que con toda posibilidad representa a un miembro de la familia Julio-Claudia, ha sido atribuida a Tiberio en función de su documentado vínculo con *Tusculum* y ha sido arbitrariamente integrada con la cabeza de este emperador, una obra moderna realizada sobre la base de los tipos escultóricos más difundidos. En función de este descubrimiento, la interpretación del gran complejo tusculano como “Villa de Tiberio” fue puesta en valor por Canina, que fue el primero en dirigir excavaciones en el yacimiento y publicó una obra vistosamente editada con ilustraciones de sus trabajos (CANINA 1841, 79-80, 128-129).

La identificación de la naturaleza religiosa del monumento se tuvo únicamente con Thomas Ashby, quien reconoció, en los dos núcleos de hormigón visibles en la plataforma artificial, los restos de un templo. El autor señaló además la correspondencia con la fundación de la cella y del pronao dentro del complejo monumental en el que existía un santuario del tipo aterrazado

<sup>2</sup> Sobre el tema, cfr. COARELLI 1981, 116-120. La identificación con la villa de Cicerón se sitúa en la mitad del siglo XVI en la obra del alemán G. Fabricius.

<sup>3</sup> La identificación de la *Tusculum* de Cicerón con los restos estructurales existentes bajo la villa renacentista della Rufinella es corroborada por la correspondencia de este sitio respecto a las pocas informaciones y coordenadas topográficas deducidas de la obra del orador respecto a su lujosa residencia, así como por el descubrimiento in situ, durante las excavaciones realizadas a mitad del siglo XVIII, de un bollo laterizio con la inscripción *M. Tuli* (COARELLI 1981, 118-119). Sobre la villa de Tiberio, JOS. ANTIQ., 16, 6, 6; DIO CASSIUS, 58, 24.

(ASHBY 1910, 342-345; 1927, 168-169). La primera hipótesis de Ashby tuvo una fría acogida entre estudiosos y eruditos, ya que difería abiertamente con la lectura tradicional ya consolidada del mismo contexto, interpretado sin embargo en clave residencial; idea que continuó a ser planteada en estudios sucesivos<sup>4</sup>.

Una segunda etapa fundamental para la mejor comprensión del sitio y de su arquitectura viene constituida del estudio realizado a mitad de los años noventa del siglo pasado por Lorenzo Quilici y Stefania Quilici Gigli. A ellos se debe la primera edición de un detallado levantamiento del complejo (Fig. 3) y un análisis técnico de sus restos estructurales, bases necesarias para la formulación de una propuesta de periodización para la pluriestratificada trayectoria arquitectónica del monumento (QUILICI, QUILICI GIGLI 1995, 509-534).

Finalmente, en 1997 el yacimiento ha sido objeto, por primera vez, de un programa de investigación estratigráfico. En el ámbito de un proyecto de consolidación y restauración de los restos del complejo cultural y en particular de la terraza situada sobre las subestructuras monumentales, la Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio en colaboración con la Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma-CSIC y con la XI Comunità Montana han realizado una campaña de investigación orientada a la documentación del depósito arqueológico de las bóvedas sobre las que se levantaba el área del santuario. El año siguiente, se procedió a la limpieza de la zona del templo; en esta ocasión fue posible además ampliar la investigación hacia el lado SO permitiendo la adquisición de informaciones fundamentales sobre la ejecución del monumento (GHINI 2002, 195-202).

Estas dos campañas de excavación han permitido una focalización sobre el estado y las connotaciones de diversos sectores del complejo monumental. En particular, el estudio de L. Quilici y S. Quilici Gigli aporta por primera vez un levantamiento extremadamente detallado del complejo organismo de las subestructuras que caracterizan la morfología del santuario, para el cual ha sido incluso formulada una propuesta de periodización basada en las diferentes técnicas edilicias utilizadas sobre las divisiones estructurales. Las intervenciones desarrolladas por la Soprintendenza y la Escuela Española, sin embargo, se han concentrado en particular en el templo y el área del santuario más próxima, permitiendo la adquisición de informaciones fundamentales sobre la ejecución del monumento (DE STEFANO, PIZZO 2020).

<sup>4</sup> La identificación del espacio como santuario fue planteada por Giuseppe TOMASSETTI (1926, 374, tav. III) y posteriormente por G.E. MCCracken (1934, 273; 1939, 133-134), mientras que la interpretación tradicional como villa la encontramos de nuevo en dos trabajos de F. GROSSI GONDI (1904, 139-140; 1908, 151-153). Para un análisis más profundo sobre esta cuestión con bibliografía específica, cfr. QUILICI, QUILICI GIGLI 1995, 509, nota 2-4; DUPRÉ RAVENTÓS, RIBALDI 2004, 213-223.

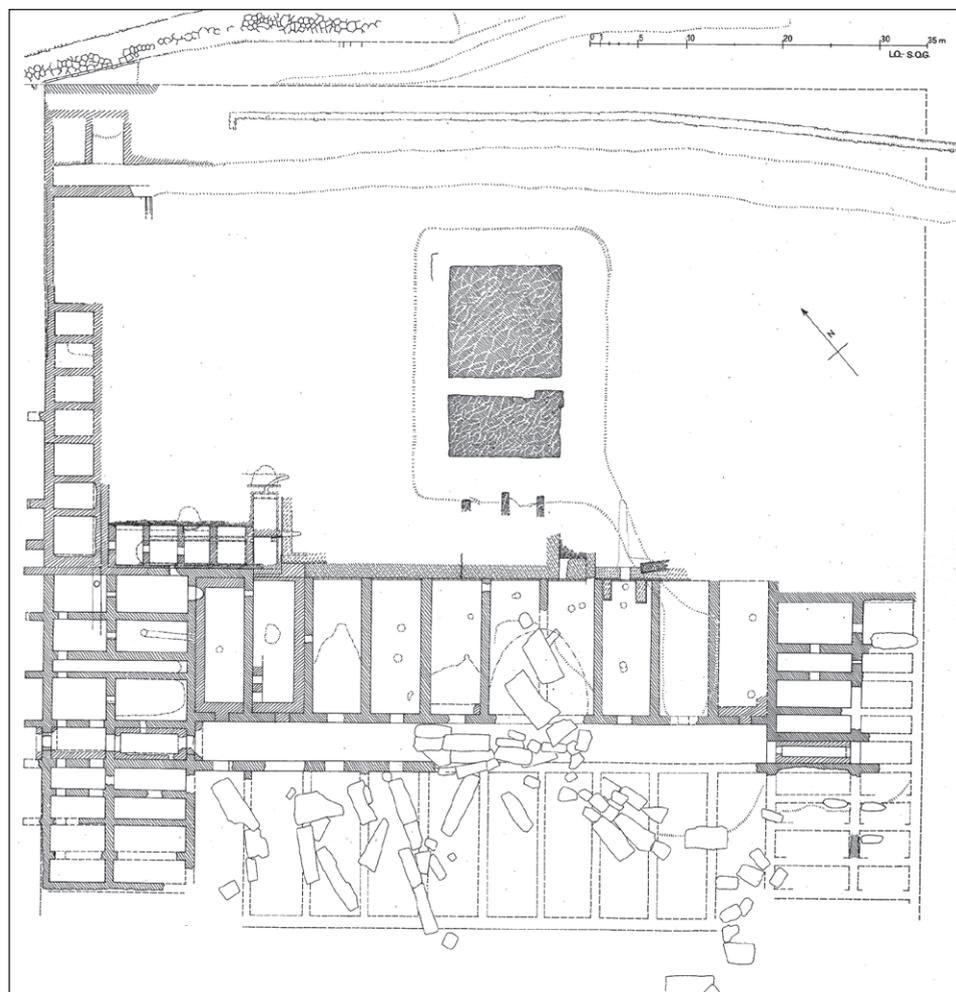


Fig. 3 – Levantamiento gráfico de la planta del santuario extraurbano (QUILICI, QUILICI GIGLI 1995).

En el marco del proyecto *Tusculum* se ha planteado organizar los datos arqueológicos, históricos y la documentación a disposición en un sistema coherente de gestión que sirva de contenedor de la investigación efectuada. Además de la existencia de un GIS sobre el yacimiento se propone en este artículo la aplicación de la metodología BIM a un caso de estudio complejo como el de santuario extraurbano con la idea que se pueda convertir en modelo para el desarrollo futuro de un una gestión coordinada y sistemática del conjunto arqueológico.

### 3. LA METODOLOGÍA BIM APLICADA AL SANTUARIO EXTRAURBANO DE *TUSCULUM*

Desde hace años, el empleo del Modelado de Información de la Edificación (Building Information Modelling-BIM) ha experimentado un gran desarrollo en los campos del diseño, construcción y mantenimiento de inmuebles, logrando una mayor optimización de los recursos y los tiempos necesarios en las diferentes etapas, gracias a la mejora de los flujos de información y el trabajo en equipo (EASTMAN *et al.* 2011). De forma general, este tipo de modelos digitales se caracterizan por incluir información de distinta naturaleza, que incluyen, además de la geometría del edificio, datos geográficos, relaciones espaciales, así como propiedades cuantitativas y cualitativas de sus componentes. Con estos modelos es posible gestionar las distintas etapas del ciclo de vida del edificio, desde los diseños preliminares, proyecto, construcción, uso, e incluso, llegado el caso, su demolición, pudiendo ser aprovechados por distintos agentes implicados en estos procesos.

La metodología BIM aplicada a la tutela de bienes muebles e inmuebles del Patrimonio Cultural ofrece, de forma análoga, una mayor eficiencia en el ámbito de los proyectos de intervención, fomentando la comunicación y gestión de la información en los equipos interdisciplinarios involucrados en este tipo de trabajo (ORENI *et al.* 2014; LOGOTHETIS *et al.* 2015; BRUNO, RONCELLA 2018). Pero, además, también puede constituir una herramienta con interesantes posibilidades en los campos del conocimiento, la gestión y la difusión (DORE, MURPHY 2017). Comprendidas bajo el concepto de HBIM (Heritage BIM), son numerosas las experiencias que han explorado la aplicación de esta metodología para la documentación y conservación de inmuebles históricos, siendo significativo el conjunto de aportaciones en el campo de la arqueología con características muy diferentes en cuanto a su escala y finalidad (SIMEONE *et al.* 2009; ANGULO FORNOS 2012; SCIANNA *et al.* 2014; GARAGNANI, GAUCCI, GOVI 2016; LICHERI 2016; CERA 2017; GARAGNANI 2017). Cabría destacar el desarrollo de procesos de trabajo y metodologías específicas para responder a las particularidades de la disciplina arqueológica. En este sentido se han desarrollado propuestas bajo términos como ABIM (BOSCO *et al.* 2018), abordando la creación del modelo mediante una estructura semántica que incluiría diferentes categorías de objetos paramétricos y sub-sistemas, o ArcheoBIM (GARAGNANI, GAUCCI 2020), adaptando la metodología general al campo particular de la reconstrucción arqueológica. En ambos casos se entiende la construcción del modelo sobre todo como un proceso cognitivo y un entorno interactivo donde se sintetizan la investigación, la conservación y la difusión.

Se puede establecer que, de forma general, un modelo representa algo en el mundo de forma simplificada, de manera que nos permite razonar sobre el

modelo y luego aplicar las conclusiones a la realidad modelada. En su propia definición se encuentra implícito un interés previo que establece un objetivo para el modelo, de forma que su creación parte de una intención determinada (GONZÁLEZ-PÉREZ 2018). La finalidad del modelo, por tanto, condicionará su naturaleza y su propio proceso de construcción, el cual también vendrá determinado por la tecnología disponible. En este sentido, las herramientas digitales han producido un giro sustancial en la forma de entender, generar y acceder a la información para producir conocimiento, modificando los procesos tradicionales de gestión y comunicación.

El objetivo del presente trabajo ha sido elaborar un modelo digital del santuario extraurbano de *Tusculum*, tanto en su estado original como en algunas de las fases principales de su historia, que por lo tanto incluya los restos conservados, así como aquellos otros elementos que son fruto de una propuesta de reconstrucción del conjunto. Se trata de un trabajo experimental que trata de explorar las posibilidades de este tipo de modelos como repositorios de la información actual del conjunto. Pero además pretende servir para el análisis y generación de conocimiento a partir del propio edificio.

Conviene apuntar que la construcción del modelo se ha realizado con la documentación planimétrica disponible en la actualidad. Por esto, y por los objetivos marcados inicialmente, se ha optado por alto grado de simplificación respecto a los elementos conservados, en la línea de otros trabajos desarrollados en los que la precisión geométrica queda en un segundo plano, priorizando una aproximación global al conjunto a modelar (RUA, GIL 2014; CASTELLANO ROMÁN, PINTO PUERTO 2019a). Es oportuno, quizás, señalar aquí la distinción entre precisión geométrica y nivel de conocimiento, puesto una toma de datos dimensionales muy precisa no equivaldría de forma automática a un alto nivel de conocimiento contenido en el modelo. Así, podríamos disponer de una nube de puntos a partir de un escáner laser terrestre de todo el conjunto y, sin embargo, no tener mucha más información de fases, materiales, técnicas constructivas, etc. (CASTELLANO ROMÁN, PINTO PUERTO 2019b).

Se persigue, en esta primera etapa, construir un modelo que recoja el conocimiento disponible en este momento y que tenga un carácter abierto y flexible, de forma que futuras investigaciones puedan enriquecerlo, complementarlo o corregirlo. Esto último constituye una de las ventajas esenciales de los modelos digitales frente a las herramientas de documentación tradicional. Pero, además, los modelos BIM permiten asociar la geometría de los distintos elementos a determinadas reglas y relaciones de forma que al modificar la posición de los niveles en altura la geometría se adapta paramétricamente a la nueva posición (por ejemplo, un nivel situado en el pavimento no conocido puede ser situado a su cota real cuando se documente a través de una campaña de excavaciones, modificándose de forma automática aquellos elementos relacionados con este nivel). Otra de las ventajas es la posibilidad de configurar

múltiples vistas y consultas a partir de la información contenida, de manera que se puedan obtener imágenes representativas con vistas a la difusión.

#### 4. PROCESO DE TRABAJO

El punto de partida para la construcción del modelo ha sido la planimetría elaborada por el Dr. Francesco De Stefano, a partir de la planta y secciones del santuario publicadas con anterioridad (QUILICI, QUILICI GIGLI 1995). Además, se ha revisado y compilado toda la iconografía y planimetría conocida: primeras hipótesis de su estado original (CANINA 1841), los dibujos de campo de las últimas excavaciones llevadas a cabo en el santuario (DUPRÉ RAVENTÓS, RIBALDI 2004), así como otros levantamientos históricos de los restos conservados, entre los que destacan los que realizara Tony Garnier durante su estancia en Roma a principios del siglo XX (PINON, DUPRÉ RAVENTÓS 2002).

Antes de comenzar el modelado, se georreferenciaron los dibujos base, de acuerdo con el mismo sistema de coordenadas utilizado por el SIG de *Tusculum* que se encuentra en fase de desarrollo en la Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma (EEHAR-CSIC). A partir de la información disponible en 2D se comenzaron a modelar los diferentes elementos que componían el modelo tridimensional (muros, contrafuertes, bóvedas, suelos, escaleras, etc.), siendo posible la asignación de distintas propiedades a cada uno de ellos. Se estableció un sistema de referencia en base a una serie de niveles en altura, que marcaban el comienzo y fin de alguno de los elementos constructivos, las alineaciones de sus muros, y los diferentes espacios (Fig. 4). Para estos últimos se siguió la numeración ya establecida anteriormente (QUILICI, QUILICI GIGLI 1995). A partir de este sistema de referencia se asignó un identificador unívoco a cada uno de los diferentes componentes del modelo, tanto espacios como elementos constructivos.

El muro M04/A-O, que formaliza el límite por el SO de la plataforma del santuario en las primeras fases, fue el elegido para llevar a cabo un análisis más detallado. En este se aprecian las discontinuidades, cambios de material y técnicas constructivas que evidencian las distintas fases de ampliación de la terraza primitiva. La identificación de las estas se ha realizado a través de una lectura estratigráfica-constructiva de la cara visible del muro (Fig. 5).

Con objeto de completar la información planimétrica disponible se llevó a cabo una serie de levantamientos mediante fotogrametría digital convergente en las estancias 33 a la 39. A partir de estos se obtuvieron una serie de ortofotografías del alzado del muro, lo que permitió ubicar las discontinuidades y elementos singulares de la fábrica. A raíz del análisis arquitectónico y el estudio de las técnicas edilicias (PIZZO 2010), en relación con las transformaciones del conjunto, se ha podido reconocer la existencia de 5 fases que modifican las hipótesis conocidas en favor de una mayor actividad constructiva. Esta

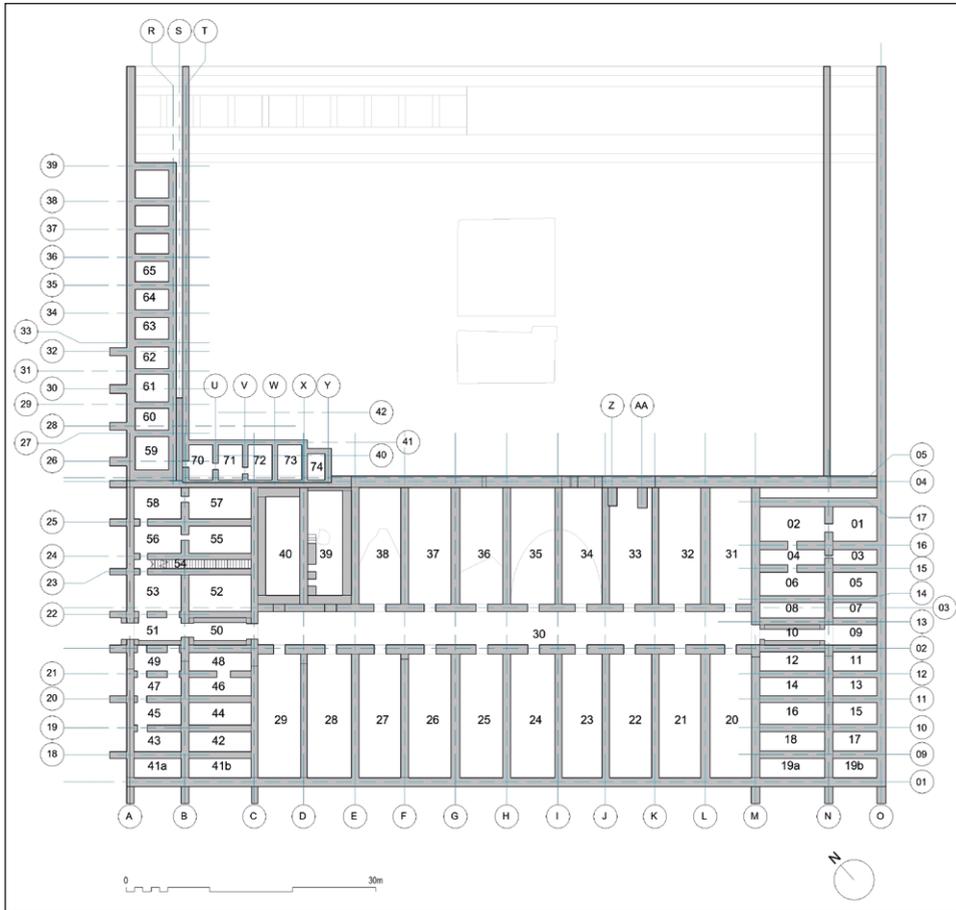


Fig. 4 – Planta del santuario. Sistema de referencia utilizado para los elementos constructivos y espacios.

cronología ha sido tenida en cuenta a la hora de construir el modelo, de forma que, además de representar el estado actual, se ha modelado el edificio en las dos últimas fases de su construcción y reforma (fase 4 y 5), de las cuales se dispone de más información (Fig. 6). El escaso número de elementos visibles de las etapas anteriores no permitirían hoy en día proponer una hipótesis consistente de reconstrucción. No obstante, esta división en fases de la historia del edificio podría modificarse agrupando algunas de ellas o introduciendo fases intermedias.

El modelo ha sido desarrollado mediante Autodesk Revit 2020, a partir de un proceso de simplificación y abstracción de la realidad construida,

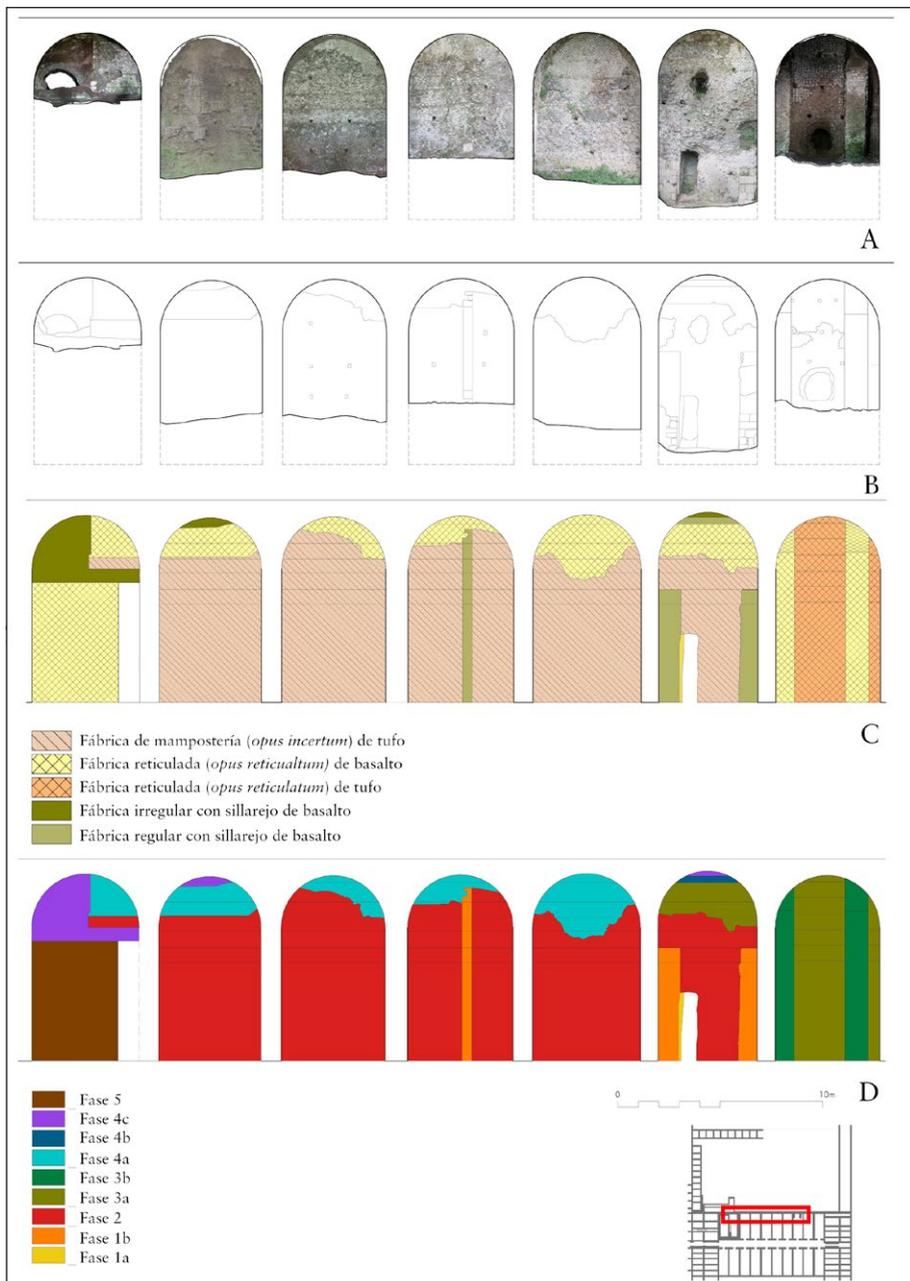


Fig. 5 – Análisis del alzado del muro M04/A-O: a) orto-fotografías; b) discontinuidades en la fábrica; c) identificación de técnicas constructivas; d) identificación de fases cronológicas.

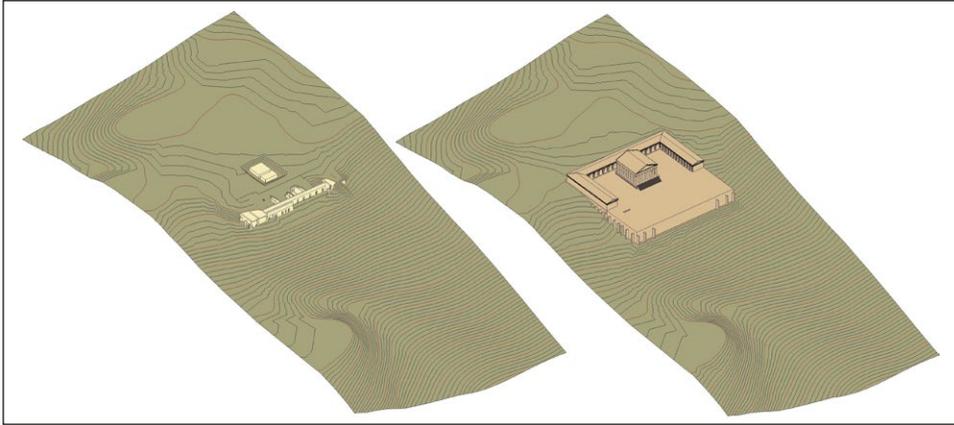


Fig. 6 – Vistas axonómicas del santuario en su estado actual (izquierda) y en la fase 5 (derecha).

ELEMENTOS	ENTIDADES REVIT	PROPIEDADES	TIPO PARAMETRO	EJEMPLO	OBSERVACIONES
ESPACIOS	Habitación	<b>Accesible en la actualidad</b>	SI / NO	SI / NO	
		<b>Nomenclatura</b>	Texto	E01; E02; E03...	Según Quilici+Quilici (1995)
		<b>Uso</b>	Texto	Ninfeo; ...	
		<b>Observaciones</b>	Texto líneas múltiples		
<hr/>					
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	Suelos Muros Contrafuertes Bóvedas Arcos Techos Escaleras Cimentaciones Piezas (*) Escaleras Columna Cubierta Entablamento	<b>Nomenclatura</b>	Texto	M04/E-F; C20/A; B33....	
		<b>Ubicación</b>	Texto	Templo / Plataforma / Ninfeo	
		<b>Fase constructiva (*)</b>	FASE	FASE 1: (150-100 a.C.)	Estructuras iniciales
			Construcción	Fase 1a	Tramo de muro perpendicular
			Uso	Fase 1b	Dos contrafuertes
			Derribo )	FASE 2: (100-50 a.C.)	Primera plataforma
				FASE 3: (< 54 d.C.)	Ninfeo y ampliación
				Fase 3a	Ampliación de terraza
				Fase 3b	Contrafuertes de refuerzo
				FASE 4: (>54 d.C.)	Sostrucciones
				Fase 4a	Ampliación en altura principal
				Fase 4b	Ampliación
				Fase 4c	Ampliación y sostrucciones
		FASE 5: (??)	Modificaciones cisterna y refuerzo de muros		
...	...	<b>Cronología (*)</b>	Texto	100 a.C.	
		<b>Tipo técnica constructiva (*)</b>	Texto	Opus reticulatum ...	Codificación técnicas constructivas
		<b>Subtipo técnica constructiva (*)</b>	Texto	Piezas tufo 5x5 cm mortero gr	Dimensiones de elementos individuales, tipo de mortero...
		<b>Grado de fiabilidad (*)</b>	Texto	Existente Alta Media Baja	Existente Documentado (fotografías, planimetría) Hipótesis (simetría, continuidad) Hipótesis (referentes)
		<b>Observaciones (*)</b>	Texto líneas múltiples		

Fig. 7 – Tabla resumen de las propiedades asociadas a los elementos constructivos y espacios del modelo.

estableciendo una clasificación básica en base a la funcionalidad de los elementos constructivos. Como otras herramientas BIM, el programa permite insertar un gran número de elementos predefinidos procedentes de diferentes bibliotecas; sin embargo, este tipo de elementos suelen estar concebidos para la edificación de nueva planta. Salvo algunas experiencias que tratan de suplir estas carencias en la arquitectura histórica (AUBIN 2013; BAIK *et al.* 2014), se evidencian todavía las limitaciones a la hora de aplicar las “familias” por defecto que ofrecen las aplicaciones BIM a la arquitectura histórica, caracterizada por la falta de regularidad geométrica o estandarización, y donde

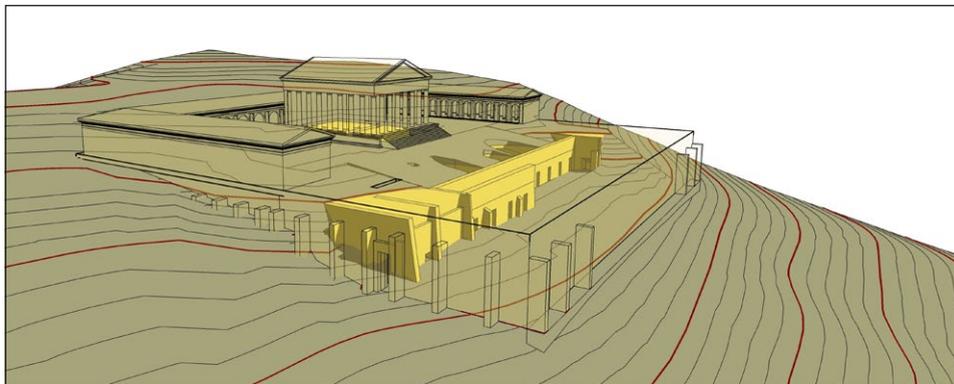


Fig. 8 – Perspectiva donde se superpone el estado actual y la hipótesis de reconstrucción de la fase 5.

prima la singularidad de cada elemento constructivo. El uso de elementos paramétricos se enfrenta, en este sentido, a diversas dificultades al tratar de modelar convenientemente geometrías irregulares, más aún cuando, como ocurre normalmente en el campo de la arqueología, el paso del tiempo da como resultado fragmentos de los elementos originales (SCIANNA *et al.* 2015; SCIANNA 2020).

En este caso, dada la sencillez de los elementos considerados se ha optado por modelar de forma individualizada cada uno de ellos mediante componentes “modelados *in situ*”. A estos elementos se les asignó una de las categorías, o entidades, en las que el programa clasifica los elementos, y en base a estas se les incorporó una serie de parámetros personalizados, tanto a los elementos constructivos como a los espacios (Fig. 7). Dentro de las distintas propiedades de los elementos, una fundamental es la asignación de una fase de construcción, o creación, y otra de derribo, o desaparición, lo que permite reflejar el carácter diacrónico del edificio. Otra de las posibilidades que ofrece Revit es modelar tanto elementos completos como hacer una subdivisión de estos en “piezas”, pudiendo asignar a estas propiedades y valores que pueden ser diferentes de los del elemento completo original. En las distintas vistas se puede configurar la visualización del modelo en elementos completos, piezas, o ambos a la vez. En el modelo del santuario esta funcionalidad ha sido empleada en dos sentidos complementarios. Por una parte, se ha utilizado para distinguir, dentro de un mismo elemento, aquellas partes se han conservado y aquellas que han desaparecido (Fig. 8). Por otro lado, ha permitido en el muro analizado con mayor detalle distinguir distintas unidades en base a sus técnicas constructivas y cronología.

En un futuro, además de los elementos físicos y espaciales modelados sería interesante explorar la posibilidad de modelar elementos resultado de

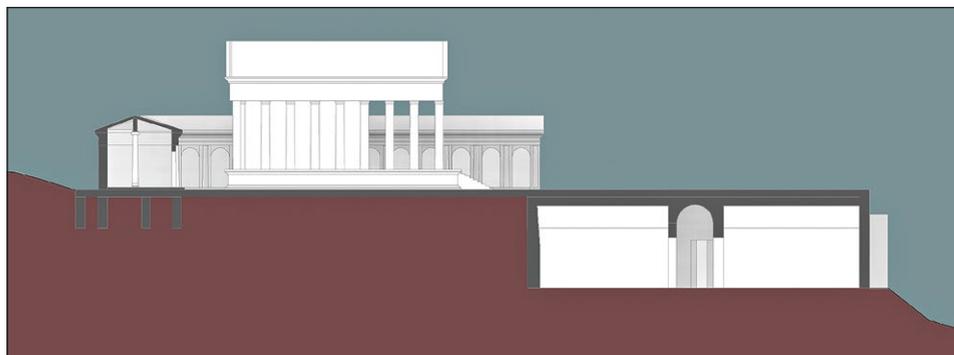


Fig. 9 – Sección longitudinal del santuario generada a partir del modelo tridimensional.

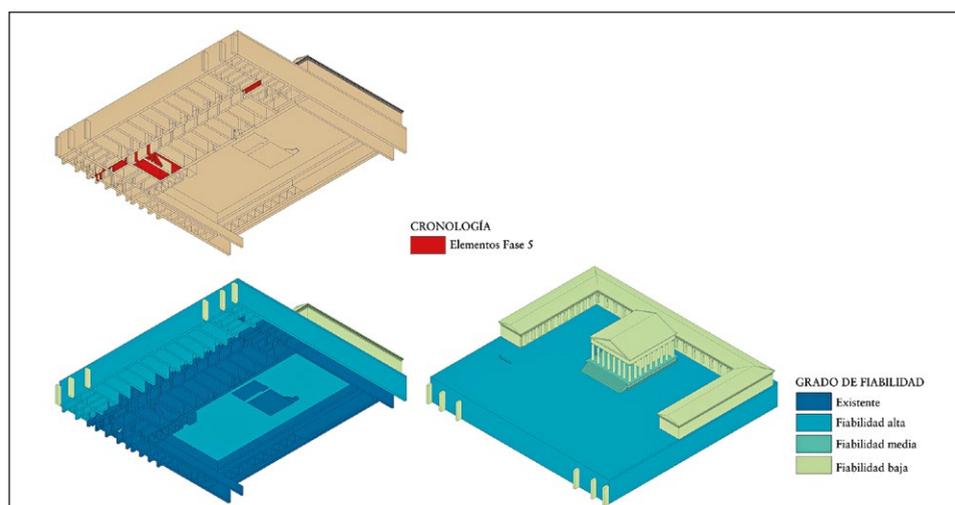


Fig. 10 – Representación axonométrica inferior del modelo: elementos constructivos pertenecientes a la fase 5 / grado de fiabilidad.

un análisis, por ejemplo, patológico, donde se puedan ubicar en el modelo lesiones de distintas características, asignando diferentes atributos de gravedad (ANGULO FORNOS 2012).

## 5. RESULTADOS

A partir del modelo tridimensional, se pueden obtener, mediante vistas fácilmente configurables distintas proyecciones diédricas convencionales

– plantas, secciones y alzados – así como axonometrías y perspectivas (Fig. 9). La versatilidad de este tipo de herramientas en la personalización de estas vistas permite obtener diversas consultas gráficas interrogando al modelo según las propiedades otorgadas a los distintos elementos. En este sentido se puede resaltar la ventaja que constituye el poder visualizar el modelo en cualquiera de las fases evolutivas consideradas y siempre teniendo la certeza de que será dimensionalmente consistente en todas las vistas. De esta forma se pueden obtener imágenes que describan la diferente cronología de la construcción, con un claro potencial comunicativo, o individualizar determinados elementos según los valores de algunas de sus propiedades (Fig. 10).

Para caracterizar el grado de fiabilidad de aquellos componentes que no se conservan y que por lo tanto corresponden a una hipótesis gráfica de un estado pasado del edificio se ha incluido una propiedad en base a la información disponible. En este sentido, además de los elementos conservados, se han modelado otros que se han podido documentar mediante planimetría histórica o fotografías, se basan en relaciones de funcionalidad, contigüidad o simetría, o se han planteado a partir de otros referentes tipológicos. No todos los elementos restituidos se basan en un mismo nivel de conocimiento, por lo que parece pertinente documentar, siempre que sea posible, los distintos niveles de certeza del proceso de restitución gráfica.

## 6. CONCLUSIONES

La experiencia desarrollada parte de la premisa de que los modelos digitales pueden suponer un lugar de convergencia de los distintos campos de conocimiento que inciden en el Patrimonio Cultural arquitectónico y arqueológico, pudiendo servir de apoyo para la toma de decisiones en relación con su conocimiento, gestión y difusión. Es por esto que los objetivos que se propongan, así como los recursos disponibles en cada caso van a determinar las estrategias en la construcción del modelo. En este sentido, parece imprescindible que la lectura diacrónica del edificio esté presente desde el primer momento, haciendo necesario un análisis profundo de forma previa y paralela a la construcción del modelo.

El modelo del santuario de *Tusculum* se ha planteado como la primera etapa de un trabajo colaborativo entre distintas disciplinas abierto a futuras modificaciones, transformaciones e incluso conexiones con otros modelos de escala territorial como los sistemas de información geográfica (SIG). En definitiva, se plantea en este caso un modelo que acompañe a los avances en el conocimiento del edificio, de forma que los resultados de futuras campañas de excavación, o tomas de datos para su documentación puedan ir alimentando el resultado aquí presentado.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto I+D+i del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España “TUTSOSMOD. Tutela Sostenible del Patrimonio Cultural a través de Modelos Digitales BIM y SIG. Contribución al conocimiento e innovación social” (HAR2016-78113-R) y del proyecto *Tusculum* de la Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma (EEHAR-CSIC). Nos gustaría agradecer por su ayuda en este trabajo a Francesco De Stefano y a José Carlos Alemán Izquierdo.

JOSÉ MARÍA GUERRERO VEGA

Universidad de Sevilla

jmgv@us.es

ANTONIO PIZZO

Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma (EEHAR-CSIC)

antonio.pizzo@eehar.csic.es

### BIBLIOGRAFIA

- ANGULO FORNOS R. 2012, *Construcción de la base gráfica para un sistema de información y gestión del patrimonio arquitectónico: Casa de Hylas*, «Arqueología de la Arquitectura», 9, 11-25.
- ASHBY T. 1910, *The Classical Topography of the Roman Campagna. III (The Via Latina), Section II*, «Papers of the British School at Rome», 5, 214-425.
- ASHBY T. 1927, *The Roman Campagna in Classical Times*, London, Ernest Benn.
- AUBIN P.F. 2013, *Renaissance Revit: Creating Classical Architecture with Modern Software*, Oak Lawn, G3B Press.
- BAIK A., ALITANY A., BOEHM J., ROBSON S. 2014, *Jeddah Historical Building Information Modelling “JHBIM” - Object Library*, «ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5, 41-47.
- BORDA M. 1943, *Monumenti archeologici tuscolani nel Castello di Agliè*, Roma, Libreria dello Stato.
- BOSCO A. et al. 2018, *A virtual reconstruction of the Sun Temple of Niuserra: From scans to ABIM*, in M. MATSUMOTO, E. ULEBERG (eds.), *CAA2016: Oceans of Data. Proceedings of the 44<sup>th</sup> Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Oslo 2016)*, Oxford, Archaeopress, 377-388.
- BRUNO N., RONCELLA R. 2018, *A restoration oriented HBIM system for cultural heritage documentation: The case study of Parma Cathedral*, «ISPRS, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2, 171-178.
- CANINA L. 1841, *Descrizione dell'antico Tusculo*, Roma.
- CASTELLANO ROMÁN M., PINTO PUERTO F. 2019a, *HBIM oriented towards the master plan of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)*, «ISPRS, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W15, 285-290.
- CASTELLANO ROMÁN M., PINTO PUERTO F. 2019b, *Dimensions and levels of knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 14, e00110.

- CERA V. 2017, *Knowledge and valorization of historical sites through low-cost, gaming sensors and H-BIM models. The case study of Litternum*, in GARAGNANI, GAUCCI 2017, 497-506 (<https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.40>).
- COARELLI F. 1981, *Dintorni di Roma*, Roma, Laterza.
- DE STEFANO F., PIZZO A. 2020, *Nuove osservazioni sul tempio del santuario extraurbano di Tusculum*, «Journal of Roman Archaeology», 33, 73-92.
- DORE C., MURPHY M. 2017, *Current state of the art historic building information modelling*, «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives», 42, 2W5, 185-192.
- DUPRÉ RAVENTÓS X., RIBALDI R. 2004, *Il santuario extraurbano di Tusculum: a proposito dell'intervento di scavo del 1997*, in Religio. *Santuari ed ex voto nel Lazio meridionale, Atti della giornata di studi (Terracina 2020)*, Terracina, Comune di Terracina, 213-223.
- EASTMAN C., TEICHOLZ P., SACKS R., LISTON K. 2011, *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2ª ed., Hoboken, John Wiley & Sons.
- GARAGNANI S. 2017, *Archaeological Building Information Modeling: Beyond scalable representation of architecture and archaeology*, in GARAGNANI, GAUCCI 2017, 141-149 (<https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.09>).
- GARAGNANI S., GAUCCI A. 2017, *Knowledge, Analysis and Innovative Methods for the Study and the Dissemination of Ancient Urban Areas, Proceedings of the KAINUA 2017 International Conference in Honour of Professor Giuseppe Sassatelli's 70<sup>th</sup> Birthday (Bologna 2017)*, «Archeologia e Calcolatori», 28.2.
- GARAGNANI S., GAUCCI A. 2020, *The ArchaeoBIM method and the role of digital models in archaeology*, in A. CARVALE, P. MOSCATI (eds.), *Logic and Computing. The Underlying Basis of Digital Archaeology. Proceedings of the MetroArchaeo 2019 Special Session, 2019 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (Florence 2019)*, «Archeologia e Calcolatori», 31.2, 181-188 (<https://doi.org/10.19282/ac.31.2.2020.17>).
- GARAGNANI S., GAUCCI A., GOVI E. 2016, *ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto*, «Archeologia e Calcolatori», 27, 251-270 (<https://doi.org/10.19282/AC.27.2016.13>).
- GHINI G. 2002, *Il santuario extraurbano di Tusculum*, in G. CAPELLI, S. PASQUALI (eds.), *L. Canina e la riscoperta di un'antica città*, Roma, Campisano, 195-202.
- GONZÁLEZ-PÉREZ C. 2018, *Information Modelling for Archaeology and Anthropology: Software Engineering Principles for Cultural Heritage*, Cham, Springer.
- GROSSI GONDI F. 1904, *Di due ville imperiali nel Tuscolano*, «Bullettino della Commissione Archeologica di Roma», 32, 111-146.
- GROSSI GONDI F. 1908, *Il Tuscolano nell'età classica*, Roma, Loescher.
- LICHERI A. 2016, *Prospettive sull'utilizzo del Building Information Modelling (BIM) in archeologia*, in P. BASSO, A. CARVALE, P. GROSSI (eds.), *ARCHEOFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica. Atti del IX Workshop (Verona 2014)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 8, 197-202 ([http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl\\_8/25\\_Licheri.pdf](http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_8/25_Licheri.pdf)).
- LOGOTHETIS S., DELINASIIOU A., STYLIANIDIS E. 2015, *Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review*, «ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5/W3, 5W3, 177-183.
- MCCRACKEN G.E. 1934, *A History of Ancient Tusculum*, Princeton, Princeton University.
- MCCRACKEN G.E. 1939, *A History of Ancient Tusculum*, Washington D.C., American Documentation Institute.

- ORENI D., BRUMANA R., DELLA TORRE S., BANFI F., BARAZZETTI L., PREVITALI M. 2014, *Survey turned into HBIM: The restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*, «ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2, 5, 267-273.
- PINON P., DUPRÉ RAVENTÓS X. 2002, *Tusculum, la città antica*, in *Italia antiqua. Envois degli architetti francesi (1811-1950), Italia e area mediterranea*, Catalogo della mostra (Parigi, Roma 2002), Paris, École Nationale Supérieure des Beaux-Arts, 154-176.
- PIZZO A. 2010, *Propuesta para la documentación y clasificación de las técnicas constructivas romanas*, «Arqueologia de la Arquitectura», 7, 277-286.
- QUILICI L., QUILICI GIGLI S. 1991, *Tusculum ed il parco archeologico*, Roma, XI Comunità Montana del Lazio “Castelli romani e prenestini”.
- QUILICI L., QUILICI GIGLI S. 1995, *Un grande santuario fuori della porta occidentale di Tusculum*, in S. QUILICI GIGLI (ed.), *Archeologia laziale XII: dodicesimo incontro di studio del Comitato per l'Archeologia laziale*, Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 509-534.
- RUA H., GIL A. 2014, *Automation in heritage. Parametric and associative design strategies to model inaccessible monuments: The case-study of Eighteenth-century Lisbon Aguas Livres Aqueduct*, «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 1, 3-4, 82-91.
- SALCEDO F. 2000, “Tiberio” eroizzato, in X. DUPRÉ RAVENTÓS (ed.), *Scavi archeologici di Tusculum. Rapporti preliminari delle campagne 1994-1999*, Roma, XI Comunità montana del Lazio Castelli romani e prenestini, EEHAR, 516-517.
- SCIANNA A., GAGLIO G.F., LA GUARDIA M. 2020, *HBIM data management in historical and archaeological buildings*, «Archeologia e Calcolatori», 31.1, 231-252 (<https://doi.org/10.19282/ac.31.1.2020.11>).
- SCIANNA A., GRISTINA S., PALIAGA S. 2014, *Experimental BIM applications in archaeology: A work-flow*, «Lecture Notes in Computer Science», 8740, 490-498.
- SCIANNA A., SERLORENZI M., GRISTINA S., FILIPPI M., PALIAGA 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 *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 ([http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl\\_7/22\\_Scianna\\_et\\_al.pdf](http://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_7/22_Scianna_et_al.pdf)).
- SIMEONE D., CURSI S., TOLDO I., CARRARA G. 2009, *B(H)IM - Built Heritage Information Modelling. Extending BIM approach to historical and archaeological heritage representation*, «eCAADe», 1, August, 613-622.
- TOMASSETTI G. 1926, *La Campagna Romana. Antica, medievale e moderna. IV, Via Latina*, Roma, Loescher.

## ABSTRACT

Building Information Models (BIM) are presented as a tool with interesting possibilities in the fields of knowledge, management and dissemination of architectural and archaeological Cultural Heritage. This study describes the work process and the results of the development of such a digital model for the extra-urban sanctuary of the city of *Tusculum*, one of the best-preserved buildings of the site, yet less known and studied. Within the framework of a new phase of research on the archaeological site, the stratigraphic and constructive analysis of the wall that delimited the original terrace of the complex has been carried out. This has allowed to determine a chronological sequence and to establish the bases for the modelling of both the current state and some of its evolution phases, thus enabling a proposal for restitution of some of the previous states of the complex. The aim was to build a model that synthesizes the current knowledge and that has open and flexible characteristics, so that future research can enhance, complement or correct it.