

## DESDE LA REPRESENTACIÓN HASTA EL MODELO DIGITAL HBIM DE UN EDIFICIO HISTÓRICO

## FROM THE REPRESENTATION TO THE DIGITAL HBIM MODEL OF A HISTORIC BUILDING

*Gianna Bertacchi*; orcid 0000-0003-4807-6162  
ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

*Francisco Juan-Vidal*; orcid 0000-0002-1582-5545  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

*Luca Cipriani*; orcid 0000-0002-9966-9171  
ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

doi: [10.4995/ega.2023.18606](https://doi.org/10.4995/ega.2023.18606)





Esta contribución forma parte de un panorama de investigaciones y estudios relacionados con la aplicación de sistemas BIM (*Building Information Modeling*) para la documentación, restauración y gestión del Patrimonio Cultural. El artículo investiga los problemas encontrados y las soluciones adoptadas en el proceso de transformación de los datos adquiridos mediante levantamiento digital en un modelo HBIM de un pequeño panteón situado en el cementerio de Castelló de la Plana (España). La metodología de representación de un Bien Cultural mediante un modelo BIM no presenta un flujo de trabajo único y compartido, ya que depende principalmente de las características del objeto de estudio y de los propósitos de dicho modelo, además del nivel de desarrollo requerido (LOD). En el caso que nos ocupa, el objetivo final es crear un modelo BIM que represente correctamente el edificio, pero que sea sobre todo una herramienta capaz de satisfacer las necesidades de los profesionales que participan en el proyecto de restauración.

El informe analiza la complejidad de representar un edificio histórico en un entorno BIM (*Building Information Modelling*), describiendo el proceso de transposición de real a digital de la capilla neogótica de Ramón Peres y Rovira (Fig. 1). El estudio se incluye en un trabajo más amplio de documentación y recogida de datos digitales mediante escáner láser terrestre y fotogrametría, que ha

La unión de las necesidades de documentación y representación con las de restauración ha llevado a la adopción de flujos de trabajo específicos para la transposición del edificio a un modelo BIM, cada uno de ellos relativo a diferentes categorías de elementos (como la cerca de hierro, el suelo, las decoraciones). En esta contribución se explora en profundidad el proceso de creación de las cubiertas, caso específico que ejemplifica los principales problemas encontrados en el proceso de creación de un modelo HBIM.

**PALABRAS CLAVE: DOCUMENTACIÓN DIGITAL, HBIM, MODELOS 3D, SISTEMAS DE INFORMACIÓN, PANTEÓN**

*This contribution is part of a field of research and studies related to the application of BIM (Building Information Modeling) systems for the documentation, restoration and management of Cultural Heritage. The article tackles the problems encountered and the solutions adopted in the process of transforming the data acquired through digital survey into an HBIM model of a small pantheon located*

llevado a la creación de un gemelo digital del pequeño edificio para un uso polivalente de los datos recogidos. Las operaciones de adquisición se llevaron a cabo entre 2020 y 2021 (Bertacchi et al., 2020) y tuvieron como objetivo principal el procesamiento de los datos para la creación de un modelo 3D “máster” (modelo de malla con alto número de polígonos y calidad de la textura apta para

*in the cemetery of Castellón de la Plana (Spain). The methodology for the representation of a cultural asset by means of a BIM model does not present a unique and shared workflow, as it depends mainly on the characteristics of the case study and the purposes of the model, as well as the level of development required (LOD). In the case at hand, the goal is to create a BIM model that correctly represents the building, but which is above all a tool capable of meeting the needs of the professionals involved in the restoration project. The combination of the needs of documentation and representation with those of restoration has led to the adoption of specific workflows for the transposition of the building into a BIM model, each relating to different categories of elements (such as the iron fence, the floor, the decorations). This contribution explores in depth the process of creating the roofs, a specific case that exemplifies the main problems encountered in the process of creating an HBIM model.*

**KEYWORDS: DIGITAL DOCUMENTATION, HBIM, 3D MODELLING, INFORMATION SYSTEMS, CHAPEL**

The report analyses the complexity of representing a historic building in a BIM (Building Information Modelling) environment, describing the process of transposition from real to digital of the neogothic chapel of Ramón Peres y Rovira (Fig. 1). The study is included in a broader work of digital documentation and data gathering using terrestrial laser scanning and photogrammetry, which has led to the creation of a digital twin of the small building for a multipurpose use of the collected data. The survey campaigns were carried



out between 2020 and 2021 (Bertacchi et al., 2020) and had as main objective the processing of the data for the creation of a 3D “master” model (mesh model with high number of polygons and texture quality suitable for the extrapolation of technical drawings at a scale of 1:10). Subsequently, some particular aspects of the data processing were investigated, such as the creation of a BIM information system for archiving and restoration (Bertacchi et al., 2021), the preparation of the data for further use (Figs. 2 and 3), both for restoration and for dissemination (Bertacchi, 2022, pp. 94-99, annex 2).

Among the various materials used in the construction of the chapel, ceramics play a fundamental role (Fig. 4). In fact, the area in which the chapel is located is characterised by a centuries-old production of ceramics for construction and decoration, which continues to play an important role in the economy of the Castellón de la Plana area. The small building has a Latin cross plan, covered by pointed-arch barrel vaults, crowned by a central conical false dome. The building is surrounded by a fine wrought-iron fence. The scarce historical information (collected in Bertacchi et al., 2020) provides only an indicative construction period (probably after 1866), but nothing about its designer or the factories that produced the ceramic elements. The architectural style, in line with other neogothic constructions characteristic of cemeteries in the same area (Fig. 5), is distinguished by the use of ceramics instead of the commonly used stone elements, either with a decorative function (as in the cornice) or with a structural or complementary function to the structure (such as the capitals and roof tiles).

The choice of digital documentation and the BIM model is due to the need to create an archive of data relating to the chapel, with a view to future restoration and the creation of a library of BIM elements common to similar buildings. In addition, given the presence of serial elements, the need arose for a digital tool that would offer the possibility of cataloguing each piece individually, allowing the insertion and/or retrieval of related data. For the creation of such a database, the BIM environment was chosen, to manage all the information related to the current and post-restoration state of each element and of the

1. El panteón de Ramón Peres y Rovira en el cementerio de Castelló de la Plana (España)  
2. Plantas del edificio  
3. Sección transversal y elevación frontal, sección longitudinal y elevación lateral

1. The chapel of Ramón Peres y Rovira in the cemetery of Castelló de la Plana (Spain)  
2. Plans of the building  
3. Cross-section and front elevation, longitudinal section and side elevation

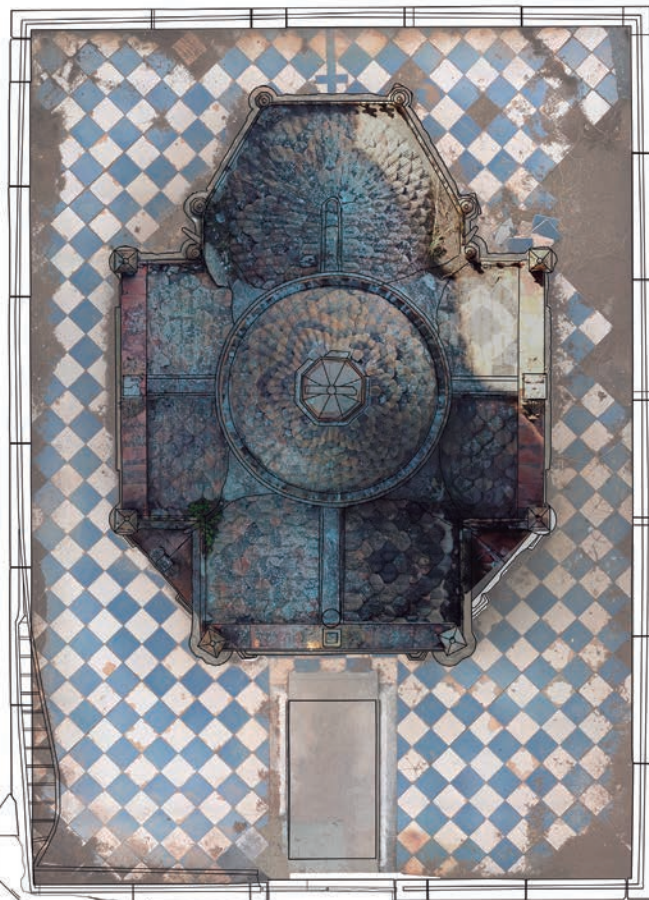


1

la extrapolación de fichas técnicas a una escala de 1:10). Posteriormente, se investigaron algunos aspectos particulares del tratamiento de los datos recogidos, como la creación de un sistema de información BIM para el archivo y la restauración (Bertacchi et al., 2021), la preparación de los datos para su uso posterior (Figs. 2 y 3), tanto para la restauración como para la divulgación (Bertacchi, 2022, pp. 94-99, anexo 2).

Entre los diversos materiales utilizados en la construcción de la

capilla, la cerámica juega un papel fundamental (Fig. 4). De hecho, la zona en la que se encuentra se caracteriza por una producción centenaria de cerámica para la construcción y la decoración, que sigue desempeñando un papel importante en la economía de la zona de Castelló de la Plana. El pequeño edificio tiene una planta de cruz latina, cubierta por bóvedas de cañón de arco apuntado, coronadas por una falsa cúpula cónica central. El edificio está rodeado por un fino



2



3



4



6



5



4. La presencia de diferentes materiales en el edificio (cerámica, hierro, piedra, cerámica vidriada, yeso) comporta una colaboración entre disciplinas diferentes durante el proceso de restauración. El estado de conservación de las tejas no permite apreciar completamente el patrón geométrico original obtenido con la alternancia de tejas claras y oscuras

5. Los elementos arquitectónicos del panteón tienen el mismo estilo de otras capillas, pero en estas el uso de la piedra prevalece. Arriba a la izquierda, una cubierta similar a la del panteón en el mismo cementerio de Castellón. En las otras fotografías, capillas del cementerio de Poblenou en Barcelona

6. Modelo de malla *high-poly* con textura de la decoración

4. The presence of different materials in the building (ceramic, iron, stone, glazed ceramic, plaster) implies a collaboration between different disciplines during the restoration process. The state of conservation of the tiles does not make it possible to appreciate the original geometric pattern obtained by alternating light and dark tiles

5. The architectural elements of the chapel are in the same style as other chapels, but in these the use of stone prevails. Above left, a roof like that of the chapel in the same cemetery in Castellón. In the other photographs, chapels in the Poblenou cemetery in Barcelona

6. High-poly textured mesh model of a decorative element

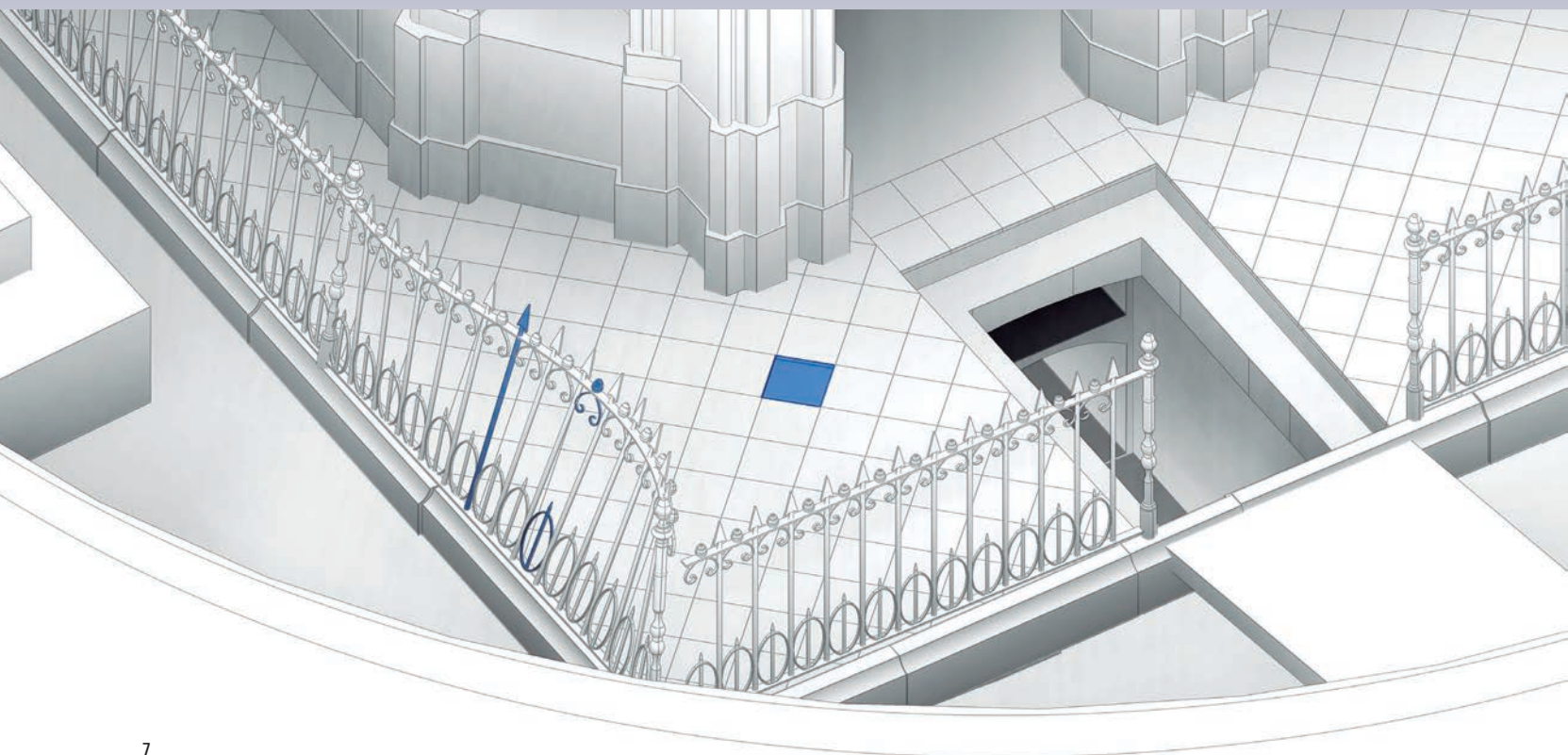
recinto de hierro forjado. La escasa información histórica (recogida en Bertacchi et al., 2020) sólo proporciona un período de construcción indicativo (seguramente después de 1866), pero nada sobre su diseñador o las empresas que produjeron los elementos cerámicos. El estilo arquitectónico, en consonancia con otras construcciones neogóticas características de los cementerios de la misma zona (Fig. 5), se distingue por el uso de la cerámica en lugar de los elementos de piedra comúnmente utilizados, ya sea con una función decorativa (como en la cornisa) o con una función estructural o complementaria a la estructura (como los capiteles y las tejas).

La elección de la documentación digital y del modelo BIM obedece a la necesidad de crear un archivo de datos relativos a la capilla, con vistas a una futura restauración y a la creación de una biblioteca de

elementos BIM comunes a edificios similares. Además, dada la presencia de elementos en serie, surgió la necesidad de una herramienta digital que ofreciera la posibilidad de catalogar cada pieza individualmente, permitiendo la inserción y/o recuperación de datos relacionados. Para la creación de dicha base de datos se eligió el entorno BIM, con el fin de poder gestionar toda la información relacionada con el estado actual y posterior a la restauración de cada elemento y del edificio en su conjunto. Un modelo BIM es, de hecho, un sistema de información que también tiene entre sus funciones la de ser una base de datos para introducir o vincular datos heterogéneos. En el caso que nos ocupa, era muy importante mantener el vínculo entre cada elemento y los demás modelos 3D, que se procesaron a partir de los mismos datos brutos, pero con características diferentes (Fig. 6). Estos son los modelos *master*: derivan de un primer tratamiento de los datos, que mantiene un alto nivel de detalle, tanto en términos de número de polígonos como de calidad de la textura. Cada modelo máster tiene el mismo sistema de referenciación del modelo BIM y está vinculado al correspondiente elemento BIM por un URL local contenido en las informaciones, que compone el archivo digital. Además, existen modelos 3D optimizados (es decir, con un número reducido de polígonos) cuyo detalle de superficie se restablece en la fase de renderizado mediante mapas específicos (texturas, normales), o incluso modelos de elementos en serie, preparados para la impresión 3D y la creación de moldes, gracias a los cuales sería posible reproducir fácilmente y con fidelidad los elementos que faltan.

building as a whole. A BIM model is, in fact, an information system that also has among its functions that of being a database for entering or linking heterogeneous data. In this case, it was very important to maintain the link between each element and the other 3D models, which were processed from the same raw data, but with different characteristics (Fig. 6). These are the master models: they derive from a first data processing, which maintains a high level of detail, both in terms of number of polygons and texture quality. Each master model has the same referencing system as the BIM model and is linked to the corresponding BIM element by a local URL contained in the information, which makes up the digital archive. In addition, there are optimised 3D models (i.e. with a reduced number of polygons) whose surface detail is restored in the rendering phase by means of specific maps (textures, normals), or even models of serial elements, prepared for 3D printing and the creation of moulds, thanks to which it would be possible to easily and faithfully reproduce the missing elements.

It follows that the elements of the BIM model should be considered as parts of an information system, which can be expanded and updated over time. Therefore, each of the individual cases required a different approach, both in terms of the geometrical shaping of the element, its layout and, above all, the specific functions to be fulfilled by each BIM element. In a previous contribution (Bertacchi et al., 2021) the methodologies used for the creation of certain building elements, such as the floor, the fence railing and some decorative elements, were analysed (Fig. 7). In this contribution, the process of transposing digital data to BIM elements is analysed in relation to roofs, a complex and interesting case due to its own conformation and characteristics. Leaf-shaped tiles present several formats (three have been identified, differing in shape and size), a different material composition (light-paste and dark-paste ceramics) and an arrangement in staggered rows to form geometric patterns. This determines their complexity, both from the modelling point of view and the digital function (the role that the 3D element plays within the BIM environment). The procedure used is part of a broad academic experimentation on the application of BIM systems to built heritage, Historic BIM or



7

HBIM. Indeed, it takes advantage of the benefits of BIM information systems in terms of information management. However, while digital documentation by terrestrial laser scanning and photogrammetry is already a widespread practice among professionals and widely proven for built heritage, the BIM methodology for a non-specialised user generates difficulties in its application to existing buildings, related to the 3D modelling and use of the models created, as it was born for the AEC industry (Architecture Engineering Construction).

The data processing methods for BIM model creation differ according to the modelling mode and the function of the elements created:

- i. direct modelling in the BIM environment: based on the collected data, the element is created directly with BIM modelling software, also making use of unstructured data imported directly into the software, such as point clouds (Scan-to-BIM);
- ii. indirect modelling: the element is modelled using 3D modelling software and then imported into the BIM environment as a generic model.

The indirect methodology (ii) is the most commonly used to recreate complex shapes, because it allows the user to use software made for 3D modelling, without resorting, for example, to specific BIM software tools such as Dynamo© by Autodesk Revit©. This creates

De ello se deduce que los elementos del modelo BIM deben considerarse partes de un sistema de información, ampliable y actualizable con el tiempo. Por tanto, cada uno de los casos individuales requería un enfoque diferente, tanto en lo que respecta a la conformación geométrica del elemento como a su disposición y, sobre todo, a las funciones específicas que debía cumplir cada elemento BIM. En una contribución anterior (Bertacchi et al., 2021) se analizaron las metodologías utilizadas para la creación de ciertos elementos del edificio, como el suelo, la barandilla de la cerca y algunos elementos decorativos (Fig. 7). En esta contribución, se analiza el proceso de transposición de datos digitales a elementos BIM en relación con las cubiertas, caso complejo e interesante por su propia conformación y características. Las tejas en forma de hoja presentan varios formatos (se han identificado tres, que difieren en forma y tamaño), una composición matérica diferente

(cerámica de pasta clara y de pasta oscura) y una disposición en filas escalonadas para formar patrones geométricos. Esto determina su complejidad, tanto desde el punto de vista de la modelización como de la función digital (el papel que el elemento 3D desempeña dentro del entorno BIM).

El procedimiento utilizado se inscribe en un amplio panorama de experimentación académica sobre la aplicación de los sistemas BIM al patrimonio construido, el *Historic BIM* o HBIM. De hecho, se aprovechan las ventajas de los sistemas de información BIM en cuanto a la gestión de la información de sistemas complejos. Sin embargo, mientras que la documentación digital mediante escáner láser terrestre y fotogrametría es ya una práctica extendida entre los profesionales y ampliamente probada para el patrimonio construido, el BIM, al nacer para la industria AEC (*Architecture Engineering Construction*), para el usuario no especializado en su aplicación a los edificios existen-



## 7. La cerca y el suelo en el modelo BIM, con unos elementos seleccionados

## 7. The fence and the floor in the BIM model, with selected elements

tes genera dificultades relacionadas con el modelado y el uso de los modelos creados.

Los métodos de procesamiento de datos para la creación del modelo BIM difieren según el modo de modelado y la función de los elementos creados:

- i. modelado directo en el entorno BIM: a partir de los datos recogidos, el elemento se crea directamente con un software de modelado BIM, haciendo también uso de datos no estructurados importados directamente al software, como nubes de puntos (*Scan-to-BIM*);
- ii. modelado indirecto: el elemento se modela mediante un software de modelización tridimensional y posteriormente se importa al entorno BIM como modelo genérico.

Para recrear formas complejas la metodología indirecta (ii) es la que viene utilizada más a menudo, porque permite al usuario utilizar softwares hechos para la modelización 3D, sin recurrir, por ejemplo, a herramientas específicas de software BIM como Dynamo<sup>®</sup> por Autodesk Revit<sup>®</sup>. Esto crea problemas posteriores a la hora de asignar las funciones correctas a los elementos, lo que hace que el modelo sea una representación más exacta de la realidad, pero que carezca de sus funciones de sistema de información.

El enfoque de modelización directa, por ejemplo, en Autodesk Revit<sup>®</sup>, permite crear elementos correctamente situados en la correspondiente familia, sin utilizar el template “modelo genérico”. Sin embargo, la transposición de elementos que caracterizan la arquitectura histórica lleva a un compro-

miso general en su representación, necesariamente simplificado según el nivel de desarrollo requerido (LOD), tanto en su complejidad formal como en la reproducción de sus imperfecciones, irregularidades o deterioros, cuestión relevante en el ámbito del Patrimonio Arquitectónico.

Se pueden encontrar referencias más específicas a la metodología utilizada en el caso de estudio en las contribuciones que tratan de la modelización granular, entendida como un caso particular de modelización de un edificio desde lo general hasta la conformación de sus elementos más diminutos (Attico et al., 2019; Banfi, 2020). Otras referencias describen metodologías de transposición de elementos complejos en modelos HBIM, utilizando plugin específicos y Dynamo<sup>®</sup> por Autodesk Revit<sup>®</sup> (Garagnani et al., 2021), relacionadas a su uso en la restauración (Lo Turco et al., 2017) y como sistemas de información (Agustín y Quintilla, 2019).

Si la modelización directa (i) provoca una simplificación formal del elemento, la indirecta (ii) simplifica y a veces anula la función de sistema de información del modelo BIM. Las direcciones de investigación que median estos dos aspectos de la transposición de los datos brutos al modelo BIM son las más interesantes desde el punto de vista de la investigación, ya que proporcionan una herramienta válida en manos de los usuarios implicados en la documentación e intervención sobre el Bien Cultural (modeladores BIM sin experiencia específica en el modelado de elementos complejos), sin renunciar necesariamente al carácter de representación formal detallada (Yang et al., 2020).

subsequent problems in assigning the correct functions to the elements: the model is a more accurate representation of reality but lacks specific information system functions.

The direct modelling approach, for example in Autodesk Revit<sup>®</sup>, makes it possible to create elements correctly placed in the corresponding family, without using the “generic model” template. However, the transposition of elements that characterise historical architecture leads to a general compromise in its representation, necessarily simplified according to the required Level of Development (LOD), both in its formal complexity and in the reproduction of its imperfections, irregularities or deterioration, a relevant issue in the field of Architectural Heritage.

More specific references to the methodology used in the case study can be found in contributions dealing with granular modelling, understood as a particular case of modelling a building from the general to its most minute elements (Attico et al., 2019; Banfi, 2020). Other references describe methodologies of transposing complex elements into HBIM models, using specific plugins and Dynamo<sup>®</sup> by Autodesk Revit<sup>®</sup> (Garagnani et al., 2021), related to their use in restoration (Lo Turco et al., 2017) and as information systems (Agustín and Quintilla, 2019).

If direct modelling (i) leads to a formal simplification of the element, indirect modelling (ii) simplifies and sometimes overrides the information system function of the BIM model. The research directions that mediate these two aspects of the transposition of raw data into the BIM model are the most interesting from a research point of view, as they provide a valid tool in the hands of the users involved in the documentation and intervention on the cultural asset (BIM modellers without specific experience in modelling complex elements), without necessarily renouncing the character of detailed formal representation (Yang et al., 2020).

## Why choose a BIM information system for historic architecture

Among the many results that can be obtained from the processing of the gathered data, the creation of a BIM model involves a considerable effort in terms of system design





and modelling time of the elements, especially in the case of complex architectures. In this particular case, it was decided to use BIM for the creation of the digital archive for the management of the restoration work. In fact, the main objective is to create an information system based on the data collected with the digital documentation, which nevertheless responds to the precise needs of the professionals involved in the documentation and restoration operations.

The model aims to balance the different needs that have arisen:

- i. Documentation: correspondence between the BIM model and the geometrical and material conditions;
- ii. Cataloguing: the creation of an archive in which each individual item has its own digital identity, containing information on typology, status and intervention;
- iii. Formal correctness of the BIM model: correct transposition of the elements composing the building into elements of BIM families with corresponding functions;
- iv. Use of the model: responding to the practical needs of the professionals involved in the restoration project on a case-by-case basis.

The case of the roof is emblematic as it contains all these aspects: the BIM model must in fact represent the actual layout of the tiles (i), each tile must be an element in itself containing information on the shape, material, state of conservation and, at a second phase, restoration works (ii), the tiles must be BIM elements attributable to the formal characteristics of a roofing system (iii) and the elements of the BIM model must be easily selectable, automatically catalogued and it must be possible to enter or retrieve useful information for restoration work (iv). Thus, for example, when entering the BIM environment it is necessary to be able to select a single tile in a precise position, to easily consult its characteristics and to be able to enter new data, or to know how many black ceramic tiles of a precise size are missing and therefore need to be replaced. The proposed procedure, based on the synthesis of the characteristics of the object and the objectives set, can then be applied to the other elements that make up the construction, with the necessary modifications related to each specific case.

## Objetivos de la elección de un sistema de información BIM para arquitecturas históricas

Entre los muchos resultados que pueden obtenerse del tratamiento de los datos adquiridos, la creación de un modelo BIM supone un esfuerzo considerable en términos de tiempo de diseño del sistema y de modelado de los elementos, especialmente en el caso de arquitecturas complejas. En este caso concreto, se optó por utilizar el BIM para la creación del archivo digital orientado a la gestión de las tareas de restauración. De hecho, el objetivo principal es crear un sistema de información basado en los datos recogidos con la documentación digital, que sin embargo responda a necesidades precisas de intervención, planteadas por los profesionales implicados en las operaciones de documentación y restauración.

El modelo pretende equilibrar las distintas necesidades que han surgido:

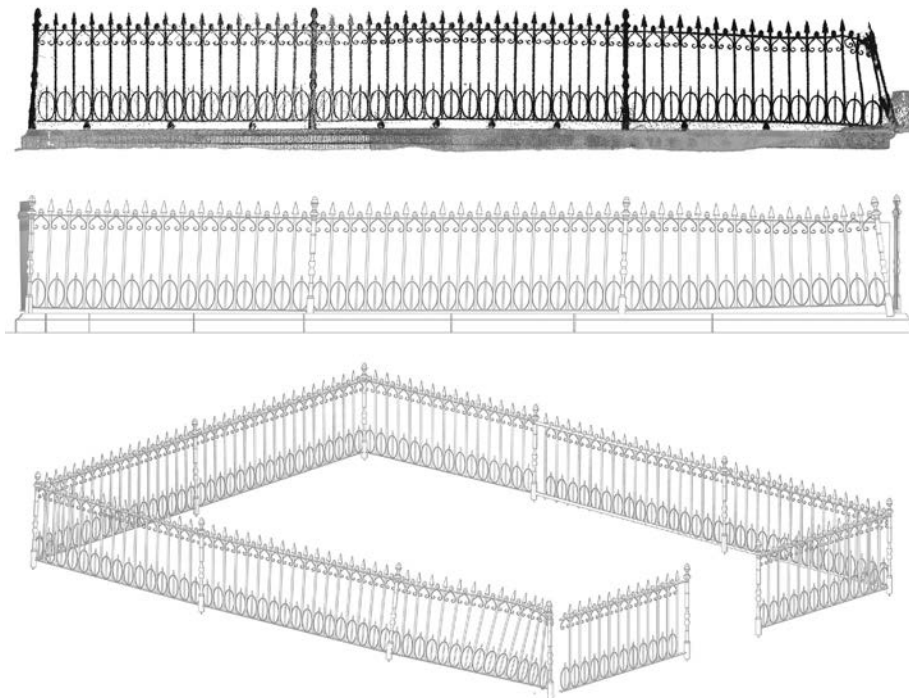
- i. Documentación: correspondencia entre el modelo BIM y las condiciones geométricas y materiales reales;
- ii. Catalogación: creación de un archivo en el que cada elemento individual tiene su propia identidad digital, que contiene información sobre la tipología, el estado y la intervención.
- iii. Corrección formal del modelo BIM: transposición correcta de los elementos que componen el edificio en elementos de familias BIM con funciones correspondientes;
- iv. Utilización del modelo: responder a las necesidades prácticas de los profesionales implicados

en el proyecto de restauración en función de cada caso.

El caso de la cubierta es emblemático, ya que contiene todos estos aspectos: el modelo BIM debe representar de hecho la disposición real de las tejas (i), cada teja debe ser un elemento en sí mismo que contenga información sobre la forma, el material, el estado de conservación y, en una segunda etapa, las intervenciones de restauración (ii), las tejas deben ser elementos BIM trazables a las características formales de una capa de cubierta (iii) y los elementos del modelo BIM deben ser fácilmente seleccionables, catalogados automáticamente y debe ser posible introducir o derivar información útil para los trabajos de restauración (iv). Así, por ejemplo, al entrar en el entorno BIM es necesario poder seleccionar una sola teja en una posición precisa, consultar fácilmente sus características y poder introducir nuevos datos, o saber cuántas tejas cerámicas de pasta negra de un preciso tamaño faltan y, por tanto, hay que reponer. El procedimiento propuesto, basado en la síntesis de las características propias del objeto y de los objetivos fijados, puede aplicarse después a los demás elementos que componen la construcción, con las modificaciones necesarias relacionadas con cada caso concreto.

## Metodología

Para cumplir los objetivos propuestos, se probaron y evaluaron varias posibilidades de transposición de las tejas en elementos tridimensionales. El nivel de desarrollo pres-tablecido corresponde al LOD500, también denominado “modelo *as built*” en las nuevas construcciones,



8

es decir el modelado de los elementos constructivos más diminutos, como las tejas, basándose también en las indicaciones propuestas en Armisén Fernández et al., 2018, p. 17 y en Banfi, 2017, sobre los *Grade of Generation*, GOG 9 y 10 (generación del modelo 3D a partir de curvas NURBS extraídas de nubes de puntos o modelos de malla). Nos centramos en el modelado constructivo-formal (dimensión 3D), dejando para estudios posteriores los flujos para la gestión BIM de los tiempos, las fases (4D) y los costes (5D) de las obras de restauración.

Más allá del software específico utilizado (Autodesk Revit®), el modelo se configuró para ser lo más fiel posible a la realidad, respetando las funcionalidades de los modelos BIM.

Se evaluaron diferentes metodologías, asumiendo flujos de trabajo específicos, como, por ejemplo, para la realización de la reja metálica que rodea la capilla. En aquel caso, las barandillas se obtuvieron mediante la creación de “superficies”, que luego se subdividieron en cuadrículas sobre las que se

colocaron los distintos elementos que las componen. Cada elemento forma parte de la familia de barandillas, pero ha sido creado como un componente adaptable, que por tanto se adecúa a la forma de cada superficie. Las superficies se obtuvieron a partir de la nube de puntos de referencia obtenida por el escáner láser terrestre. El resultado refleja la situación en el momento de la adquisición de los datos y permite seleccionar cada instancia, de modo que se pueden introducir datos específicos sobre el estado de conservación y extraer automáticamente un catálogo de los elementos (Fig. 8) (Bertacchi et al., 2021).

Para la cubierta se hizo un primer intento mediante la disposición automática de elementos adaptativos sobre patrones predefinidos. Las tejas se crearon como componentes adaptativos y luego se dispusieron automáticamente en cuadrículas que reflejaban la situación real. Sin embargo, este flujo de trabajo no permite distinguir los elementos, lo que era esencial para representar el tejado. De hecho, las tejas sólo podían diferenciarse por material y estado de conservación

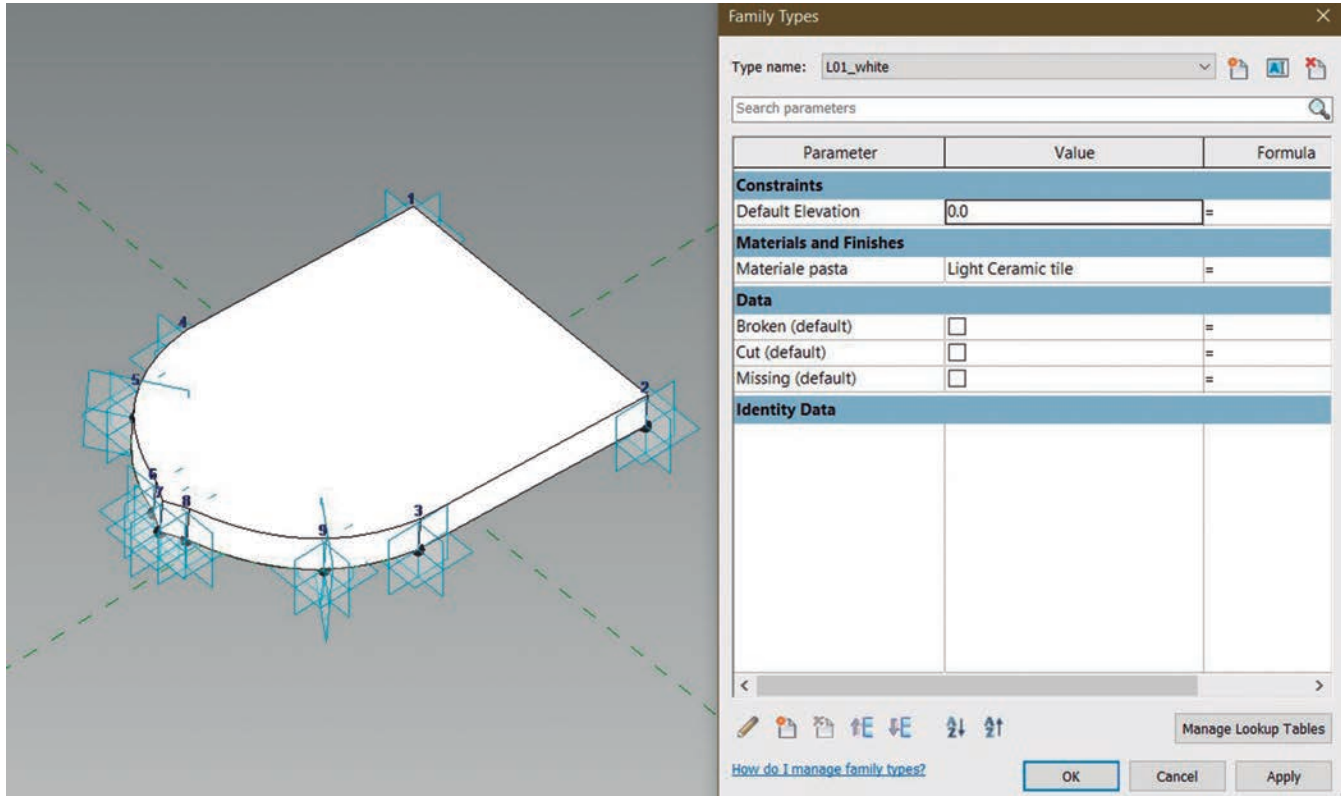
## Methodology

To meet the proposed objectives, various possibilities for the transposition of roof tiles into three-dimensional elements were tested and evaluated. The pre-set Level of Development corresponds to LOD500, also called “model as built” in new constructions, i.e. the modelling of the smallest constructive elements, such as roof tiles, also based on the indications proposed in Armisén Fernández et al., 2018, p. 17 and in Banfi, 2017, on the Grade of Generation, GOG 9 and 10 (generation of the 3D model from NURBS curves extracted from point clouds or mesh models). We focused on the constructive-formal modelling (3D dimension), leaving for later studies the flows for the BIM management of times, phases (4D) and costs (5D) of restoration works.

Beyond the specific software used (Autodesk Revit®), the model was configured to be as faithful as possible to reality, respecting the functionalities of the BIM models. Different methodologies were evaluated, assuming specific workflows, as, for example, for the realisation of the metal railing surrounding the chapel. In that case, the railings were obtained by creating “surfaces”, which were then subdivided into grids on which the various elements that make them up were placed. Each element is part of the railing family, but has been created as an adaptable component, which therefore adapts to the shape of each surface. The surfaces were obtained from the reference point cloud obtained by the terrestrial laser scanner. The result reflects the situation at the time of data acquisition and allows the selection of each instance, so that specific data on the state of conservation can be entered and a catalogue of the elements can be automatically extracted (Fig. 8) (Bertacchi et al., 2021).

For the roof, a first attempt was made by automatically arranging adaptive elements on predefined patterns. The tiles were created as adaptive components and then automatically arranged in grids reflecting the real situation. However, this workflow does not allow distinguishing the elements, which was essential to represent the roof. In fact, the tiles could only be differentiated by material and state of preservation through the limited function of “comments”.

As in the case of the railing, it was decided to create surfaces on which the different types of

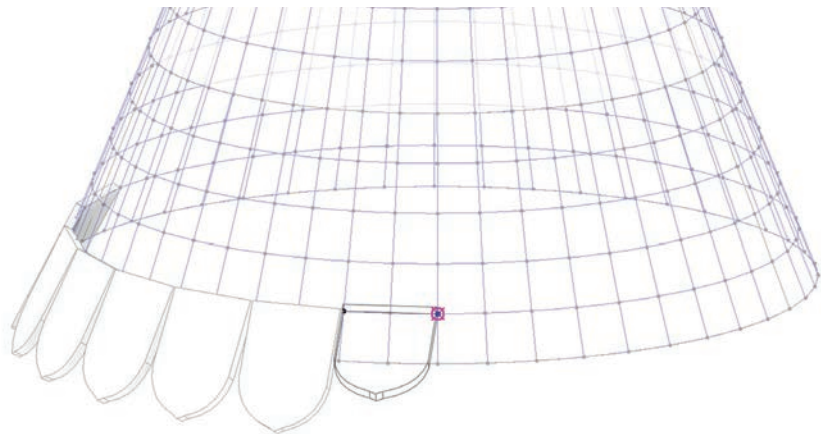


9

tiles could be arranged manually. In this way, although the model creation time is longer, the function of the digital elements is consistent with the actual function (roofing system formed by elements in a certain arrangement and with certain characteristics).

The process was carried out in two stages. Initially, the roof structure was created by extruding and modelling the section profiles, using the point cloud as a reference. The typology of the roof was edited to correspond to the physical conformation of the chapel: the average thickness of 20 cm consists of four layers, an inner layer of plaster, the structural part consists of a brick vault, the mortar layer and the tiles. The structure thus recreated allows the requirements of the restoration to be met from the point of view of volume and material calculations.

The next step concerns only the creation of the roof with the functions set out in the objectives, i.e. to be able to select each tile individually to query or add specific information and to have an accurate calculation of the number of elements. Thus, a family of generic adaptive models was created, the types of which varied in size and material (Fig. 9). Next, the surfaces that would house the tiles were recreated, each divided into a grid of horizontal and vertical lines to reflect the actual layout of the elements. Finally, the elements were arranged on the surfaces (Fig. 10), taking as a reference



10

a través de la función limitada de los “comentarios”.

Al igual que en el caso de la barandilla, se decidió crear superficies en las que se pudieran disponer manualmente los distintos tipos de tejas. De este modo, aunque el tiempo de creación del modelo es mayor, la función de los elementos digitales es coherente con la función real (cubierta formada por la unión de elementos en una disposición determinada y con unas características determinadas).

El proceso se llevó a cabo en dos etapas. Inicialmente, la estructura de la cubierta se creó mediante la extrusión y el modelado de los perfiles de la sección, utilizando la nube de puntos como referencia. La tipología de la cubierta se editó para que correspondiera a la conformación física de la capilla: el espesor medio de 20 cm consta de cuatro capas, una capa interior de yeso, la parte estructural consiste en una bóveda tabicada, la capa de mortero y las tejas. La estructura



- 9. Una tipología de tejas con sus parámetros que permite introducir con facilidad informaciones sobre el estado de conservación de cada elemento
- 10. Disposición de las tejas sobre la superficie exterior de la cúpula central
- 11. El resultado final comparado con una fotografía de 1905

- 9. A typology of roof tiles with the parameters that allows easy input of information on the state of conservation of each element
- 10. Arrangement of the tiles on the outer surface of the central dome
- 11. The final result compared to a photograph of 1905

así recreada permite cumplir los requisitos de la restauración desde el punto de vista del cálculo de volúmenes y materiales.

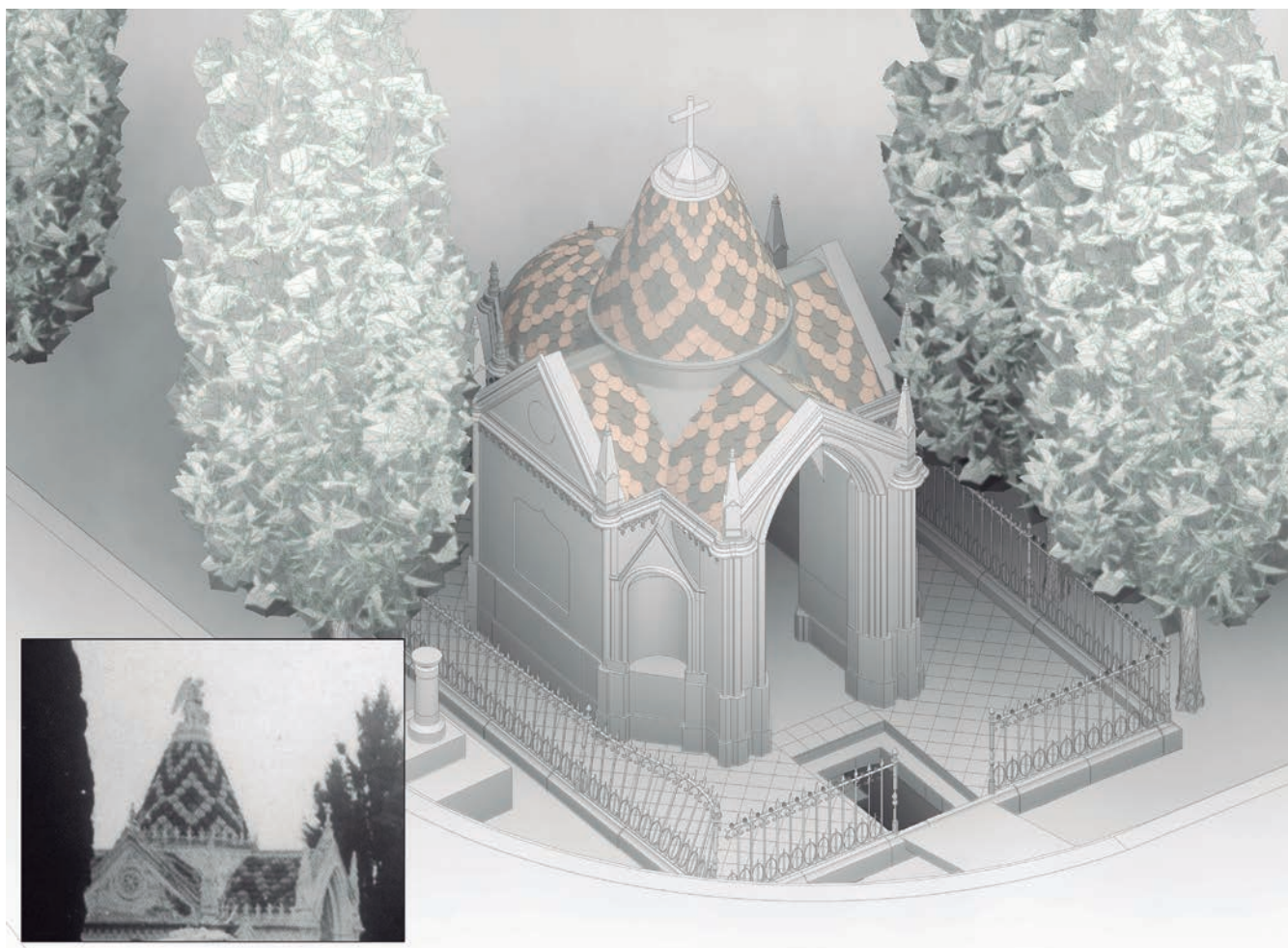
El siguiente paso se refiere únicamente a la creación del tejado con las funciones planteadas en los objetivos, es decir, poder seleccionar cada teja individualmente para consultar o añadir información específica y tener un cálculo preciso de los elementos. Así, se creó una familia de modelos adaptativos genéricos, cuyos tipos variaban en tamaño y material (Fig. 9). A continuación, se recrearon las superficies que albergarían las tejas, cada una

de ellas dividida en una cuadrícula de líneas horizontales y verticales para reflejar la disposición real de los elementos. Por último, se dispusieron los elementos en las superficies (Fig. 10), tomando como referencia los modelos fotogramétricos 3D para respetar los patrones geométricos formados por la disposición de las tejas de pasta clara y oscura, visibles en una foto de 1905 (Fig. 11). A continuación, se seleccionó cada elemento con el fin de incluir información sobre su estado de conservación, en particular las tejas rotas o faltantes. Al permitir la selección de cada elemento, el

the 3D photogrammetric models to respect the geometric patterns formed by the arrangement of the light and dark paste tiles, visible in a 1905 photo (Fig. 11). Each element was then selected in order to include information on its state of conservation, in particular broken or missing tiles. By allowing the selection of each element, the model enables dynamic data entry and interrogation by users, fulfilling the objectives of the research work (Fig. 12).

### Conclusions

The representation through a BIM model of a historic building involves a considerable amount of time due to data processing. However, BIM models have the great advantage of being information systems designed to collect heterogeneous data and, at



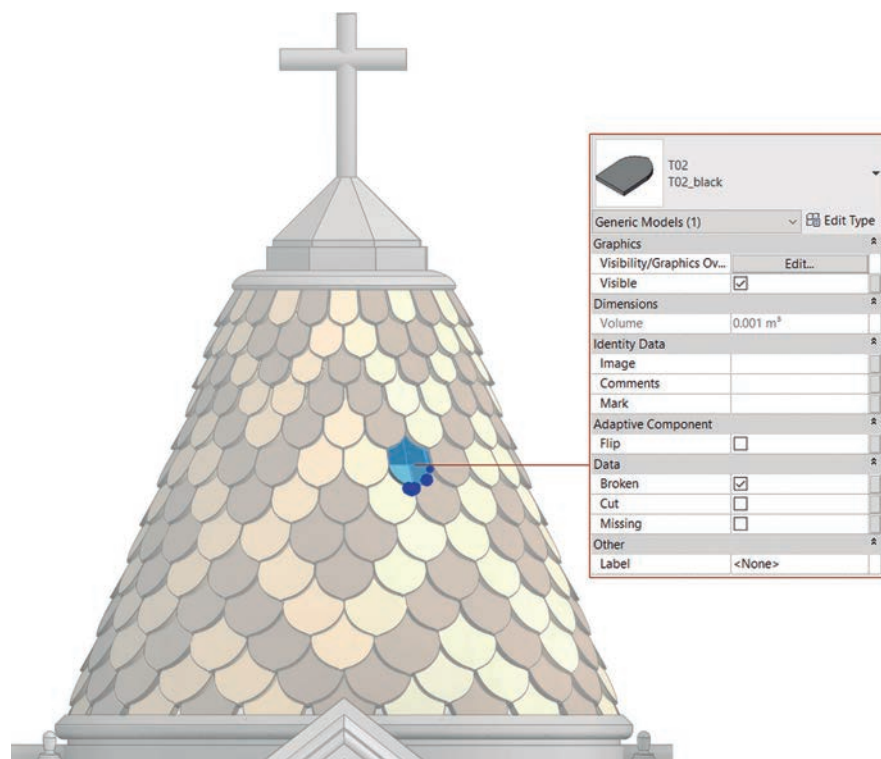
## 12. Selección de un elemento “Teja” para la modifica interactiva de su estado de conservación

### 12. Selection of a “Tile” element for interactive modification of its state of preservation

the same time, offer valuable tools to support intervention and management operations. The possibility of inserting and linking external data to the BIM elements transforms the model into a dynamic digital archive, containing both documentation and intervention, scheduled maintenance or management data, i.e. relating to all phases affecting the specific cultural asset over time. The BIM model is presented as a container of raw, semi-finished and processed data, each of which can be used for different purposes (documentation, dissemination, prototyping, etc.).

On the other hand, as regards the usability factor of these systems by professionals, the use of BIM has been spreading widely in the professional world, although it is generally limited to new constructions. The use of widespread software and digital architectures among professionals thus becomes the bridge between academic research and the professional world, avoiding the costly creation of ad hoc information systems for each specific case. These two aspects of the BIM model of a cultural asset (digital archiving function and tool for the professionals involved) are the two factors to be evaluated before the creation of the BIM system. As mentioned above, the data processing is a time-consuming phase and must therefore result in a model that is able to fully meet the objectives. The evaluation of the objectives also determines the degree of detail and development required and therefore the choice for a correct digital transposition, establishing a LOD in such a way that neither the functionality of the 3D models nor the formal representation of the Cultural Heritage is compromised.

Further developments should focus on linking the different types of data, the products derived from digital documentation and the BIM model, as it alone cannot, in the current state of research, satisfy all operations related to the restoration and management of Cultural Heritage. Indeed, high detailed models are essential for uses in which the precision of the geometry or the representation of the surface are the basis for diagnostic, restoration, interpretation and dissemination. Therefore, HBIM models cannot be in themselves the final object of the operations of digital representation of a cultural asset, but one of the possible methodological resources for the optimal processing of the gathered data. ■



12

modelo posibilita la entrada dinámica de datos y su interrogación por parte de los usuarios, cumpliendo los objetivos del trabajo de investigación (Fig. 12).

## Conclusiones

La representación a través de un modelo BIM de un edificio histórico implica una cantidad considerable de tiempo debido al procesamiento de datos. Sin embargo, los modelos BIM tienen la gran ventaja de ser sistemas de información diseñados para recoger datos heterogéneos y, al mismo tiempo, ofrecer valiosas herramientas de apoyo a las operaciones de intervención y gestión.

La posibilidad de insertar y vincular datos externos a los elementos BIM transforma el modelo en un archivo digital dinámico, que contiene tanto datos de documentación como de intervención, mantenimiento programado o gestión, es decir, relativos a todas las fases que afectan al Bien Cultural específico a lo largo del

tiempo. El modelo BIM se presenta como un contenedor de datos brutos, semiacabados y procesados, cada uno de los cuales puede utilizarse para diferentes fines (documentación, difusión, creación de prototipos, etc.).

Por otro lado, en cuanto al factor de usabilidad de estos sistemas por parte de los profesionales, el uso de BIM se ha ido extendiendo ampliamente en los despachos profesionales en las últimas décadas, aunque generalmente se limita a las nuevas construcciones. El uso de softwares y arquitecturas digitales generalizadas entre los profesionales se convierte así en el puente entre las investigaciones académicas y el mundo profesional, evitando la costosa creación de sistemas de información ad hoc para cada caso específico.

Estos dos aspectos del modelo BIM de un Bien Cultural (función de archivo digital y herramienta para los profesionales implicados) son los dos factores que deben evaluarse antes de la creación del sistema BIM. Como ya se ha dicho,



el tratamiento de los datos es una fase que requiere mucho tiempo y, por tanto, debe dar lugar a un modelo que sea capaz de cumplir plenamente los objetivos fijados. La evaluación de los objetivos también determina el grado de detalle y desarrollo necesario y, por tanto, la elección de la transposición digital correcta, estableciendo un LOD de modo que no se comprometan ni la funcionalidad de los modelos 3D, ni la representación formal de los Bienes Culturales.

Los desarrollos futuros deben centrarse en la vinculación de los diferentes tipos de datos, los productos derivados de la documentación digital y el modelo BIM, ya que por sí solo no puede, en el estado actual de la investigación, satisfacer todas las operaciones relacionadas con la restauración y la gestión del Patrimonio Cultural. En efecto, los modelos de alto nivel de detalle son esenciales para los usos en los que la precisión de la geometría o la representación matérica de la superficie son la base de las operaciones de diagnóstico, restauración, interpretación y difusión. Por tanto, los modelos HBIM no pueden ser en sí mismos el objeto final de las operaciones de representación digital de un Bien Cultural, sino uno de los posibles recursos metodológicos para el óptimo tratamiento de los datos adquiridos. ■

#### Referencias

- AGUSTÍN, L. y QUINTILLA, M., 2019. Virtual reconstruction in BIM technology and digital inventories of heritage. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W15, pp. 25-31. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-25-2019>
- ARMISÉN FERNÁNDEZ, A., AGUSTÍN, L.,...,SOTO, A., 2018. BIM aplicado al patrimonio cultural. España: Building SMART Spanish Chapter: Documento 14
- ATTICO, D., TURRINA, A., BANFI, F., GRIMOLDI, A., LANDI, A., CONDOLEO, P. and BRUMANA, R., 2019. The HBIM analysis of the geometry to understand the constructive technique: the use of the trompe volume in a brick vault. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W11, pp. 107-114. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-107-2019>
- BANFI, F., 2020. HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins. *Virtual Archaeology Review*, 11(23), pp. 16-33. <https://doi.org/10.4995/var.2020.12416>
- BANFI, F. 2017. BIM orientation: Grades of Generation and Information for different type of analysis and management process. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 57–64, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>
- BERTACCHI, G., 2022. Guidelines for the Management of Cultural Heritage Using 3D Models for the Insertion of Heterogeneous Data [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/182419>
- BERTACCHI, G., JUAN VIDAL, F. y CIPRIANI, L., 2021. HBIM for restoration work and monitoring of complex architectures: the family chapel of Ramón Peres y Rovira in Castellón de la Plana (Spain). *Proceedings of the joint international event 9th ARQUEOLÓGICA 2.0 & 3rd GEORES, Valencia (Spain). 26–28 April 2021*, pp. 29-38. <http://dx.doi.org/10.4995/arqueologica9.2021.12059>
- BERTACCHI, G., JUAN VIDAL, F., CIPRIANI, L. y MOLINA SÁNCHEZ, S., 2020. Levantamiento digital del Panteón de Ramón Peres y Rovira en el cementerio de Castellón de la Plana (Valencia, España). *ARCHÉ*, 2020, 13-14-15, pp. 171-180. <http://hdl.handle.net/10251/156576>
- GARAGNANI, S., GAUCCI, A., MOSCATI, P. y GAIANI, M., 2021. *ArchaeoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bologna, Bononia University Press.
- LO TURCO, M., MATTONE, M. y RINAUDO, F., 2017. Metric survey and BIM technologies to record decay conditions. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5/W1, pp. 261-268. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-261-2017>
- YANG, X., GRUSSENMEYER, P., KOEHL, M., MACHER, H., MURTIYOSO, A. y LANDES, T., 2020. “Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques”. *Journal of Cultural Heritage*, 46, pp. 350-360. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008>
- AGUSTÍN, L. and QUINTILLA, M., 2019. Virtual reconstruction in BIM technology and digital inventories of heritage. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W15, pp. 25-31. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-25-2019>
- ARMISÉN FERNÁNDEZ, A., AGUSTÍN, L.,...,SOTO, A., 2018. BIM aplicado al patrimonio cultural. España: Building SMART Spanish Chapter: Documento 14
- ATTICO, D., TURRINA, A., BANFI, F., GRIMOLDI, A., LANDI, A., CONDOLEO, P. and BRUMANA, R., 2019. The HBIM analysis of the geometry to understand the constructive technique: the use of the trompe volume in a brick vault. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W11, pp. 107-114. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-107-2019>
- BANFI, F., 2020. HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins. *Virtual Archaeology Review*, 11(23), pp. 16-33. <https://doi.org/10.4995/var.2020.12416>
- BANFI, F. 2017. BIM orientation: Grades of Generation and Information for different type of analysis and management process. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 57–64, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>
- BERTACCHI, G., 2022. Guidelines for the Management of Cultural Heritage Using 3D Models for the Insertion of Heterogeneous Data [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/182419>
- BERTACCHI, G., JUAN VIDAL, F. and CIPRIANI, L., 2021. HBIM for restoration work and monitoring of complex architectures: the family chapel of Ramón Peres y Rovira in Castellón de la Plana (Spain). *Proceedings of the joint international event 9th ARQUEOLÓGICA 2.0 & 3rd GEORES, Valencia (Spain). 26–28 April 2021*, pp. 29-38. <http://dx.doi.org/10.4995/arqueologica9.2021.12059>
- BERTACCHI, G., JUAN VIDAL, F., CIPRIANI, L. and MOLINA SÁNCHEZ, S., 2020. Levantamiento digital del Panteón de Ramón Peres y Rovira en el cementerio de Castellón de la Plana (Valencia, España). *ARCHÉ*, 2020, 13-14-15, pp. 171-180. <http://hdl.handle.net/10251/156576>
- GARAGNANI, S., GAUCCI, A., MOSCATI, P. and GAIANI, M., 2021. *ArchaeoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bologna, Bononia University Press.
- LO TURCO, M., MATTONE, M. and RINAUDO, F., 2017. Metric survey and BIM technologies to record decay conditions. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-5/W1, pp. 261-268. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-261-2017>
- YANG, X., GRUSSENMEYER, P., KOEHL, M., MACHER, H., MURTIYOSO, A. and LANDES, T., 2020. “Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques”. *Journal of Cultural Heritage*, 46, pp. 350-360. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008>