

Information ontology for historical analysis: survey and BIM model of the San Trovaso Church in Venice

The use of BIM for historic buildings has as its purpose the management and conservation of the historic heritage; this is possible only through an initial phase of historical analysis and digital survey. The BIM, conceived for the design of new buildings, has the limit of semantics, which is inadequate to flexibly manage the amount of multidisciplinary knowledge of a historic building. With the enrichment of semantics, there is an improvement in the management and sharing of information.

The BIM process is always supported by careful investigation and historical analysis; subsequently, the survey phase, using SCAN to BIM technology, returns a point cloud, thus obtaining an increase in the physical accuracy of the model.

This study proposes the early phases of a methodology based on the joint creation of an ontology, that respects the characteristics of the building, and a BIM model to enrich the available heritage

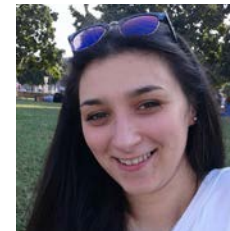
semantics. Found on this synergy, a more accurate representation of the real configuration can be obtained, improving the management of any conservative interventions and historical speculations. The subject of experimentation was the case study of the San Trovaso Church in Venice.

After historical analysis and photogrammetric survey, the BIM model is created, based on the point cloud, using parametric objects and the ontology is defined in a rigorous and pertinent way. The result of this study led to the creation of a BIM model where, thanks to the ontology, the related information can be associated with various building components. The process is flexible and dynamic; moreover, since it can be shared, it can be used by various professionals, both for research and restoration purposes.



Rachele Angela Bernardello

After a master's degree in Building Engineering and Architecture, is currently a PhD student in Sciences of Civil, Environmental, and Architectural Engineering at the University of Padova. Her research interests are in BIM and Information exchange related both to Infrastructures and Buildings, focusing on digital workflows through delivered international standards. Her research also deals with Cultural Heritage Management and Communication.



Melissa Montecchio

Melissa Montecchio graduated in Building Engineering-Architecture at the University of Padova with a thesis on the study of ontology in BIM modeling applied specifically to the Church of San Trovaso in Venice. She is interested in the conservation of historic buildings and conducts activities with SCAN to BIM and architectural design mainly in existing buildings.

Keywords:
BIM; ontology; semantic; San Trovaso; cultural heritage

1. A BIM-BASED PROCESS FOR THE CULTURAL HERITAGE STUDY

The knowledge as well as the conservation and protection of the historical and architectural heritage, have more effective and valid results on a deep understanding of the building to work with and with the correct management of its information structure. The BIM (*Building Information Modeling*) approach, which acts as an environment for collecting and coordinating information related to the building, is an innovative accomplished methodology to achieve this purpose. Developed for building design, BIM authoring software can have an interior organization and classification system based on this assumption. This gap for the historic building can be filled either by shaping the software to define the complex geometries of pre-twentieth-century buildings, by enriching their semantics and by defining information ontologies relevant to manage the overall data model and support queries and speculation. Recently, some studies have highlighted how on-

tology, associated with the BIM model, allows an improvement of the model itself from a semantic point of view and better management of multidisciplinary data of the building.

The purpose of this work is to show the first two phases of a workflow, that allows bringing the historical building representation closer to a real configuration through a specific ontology definition coherent with the characteristics of the facility and related to the BIM model. The process can rigorously and inductively coordinate multidisciplinary data and can improve the management of aspects related to asset protection and historical architectural knowledge.

The potential of this approach is tested innovatively in the case study of the San Trovaso Church in Venice (Fig. 1). The Venetian church was founded at the beginning of the 11th century, and its individuality lies in the two identical façades to the south and east of the building complex to which it belongs. The church has undergone several transformations, and, towards the 13th century, it took on a rich and majestic appearance. In 1583,

however, the ancient church was destroyed and since its reconstruction, the present appearance has not changed. The long history and the remarkable transformations make it an interesting case study for its conformation and the uncertain architectural authorship attribution.

The methodology applied in the semantically enriched BIM modeling of historic buildings consists of the following phases:

1. Data acquisition
 - 1.1 Documentary research and historical analysis,
 - 1.2 Database organisation of the entire process,
 - 1.3 Digital survey and point cloud elaboration.
2. Data semantic
 - 2.1 BIM model based on the point cloud and the 2D documents founded during the historical research,

Fig. 1 - San Trovaso Church: side facade towards Rio di San Trovaso, Venice, 2020

Fig. 2 - San Trovaso Church: interior view towards the chancel, Venice, 2020



- 2.2 Creation of the specific ontology through the modeling of knowledge domains.
3. Data analysis
 - 3.1 Ontology implementation defined in the BIM model through specific platforms and interfaces,
 - 3.2. Activation of simulations, for example, of a configurative type, based on the BIM platform and its ontology.

In this article, the phases of data acquisition and semantization are described from read up to the creation of ontologies on specific platforms.

2. SCAN TO BIM PROCESSES FOR COMPLEX SEMANTIC GEOMETRIC REPRESENTATION

The use of BIM in the design of a new building makes it possible to obtain a dynamic semantic model, containing the information associated with the building itself which is updated throughout its life cycle. The benefits obtained have led AEC professionals to adopt this approach also for historic buildings for many different purposes. Since the first experiences, potentials, and criticalities have been highlighted. It is a very attentive and multi-faceted work on cultural heritage, which is an articulated

system of features, relationships, and processes, with a past life indicating the current structure. The result is a single organism, which cannot be standardized, and this means that existing software is not completely capable of receiving, describing, and transmitting the large amount of information related to the building.

BIM modeling applied to cultural heritage is based on careful and conscientious historical investigation and analysis, essential for a comprehensive knowledge of the building and crucial for subsequent modeling. Furthermore, the production of the existing BIM model is based on two integrated surveys: an existing 2D documentation and a digital survey. The first type is often historical or has been carried out after interventions on the site; in case of lack of as-built documentation, a digital survey is added to reflect the current status of the asset (Garagnani & Manfredini, 2013). By processing the data obtained from the digital survey, point clouds or meshes are obtained, which form the basis for subsequent modeling (Maurice Murphy et al., 2009). Therefore, it is crucial to define for each artifact, taking into account its peculiarities, which is the appropriate survey to enable the BIM modeling. (Andrea Giordano et al., 2015). The technology development of data integration, derived from digital architectural surveys, in BIM, is explored in various researches on the use of reality-based BIM approach as a key factor to overcome the problems related to the representation of the historical artifact (Simeone et al., 2019). The model uses for historical knowledge and conservation often require the most realistic reference possible with a high degree of geometric information. Modeling with abstract parametric objects sometimes implies an oversimplification of the historical asset, leading to the loss of a lot of information and an inaccurate representation of reality if appropriate precautions are not taken (A. Giordano et al., 2018).

Other applications related to the historical heritage, such as the analysis and simulations of structural behavior, the economic evaluation of the project, and the final res-



Fig. 3 - Exterior point cloud: camera positioning (Agisoft Metashape Professional software)

toration have highlighted the limitations in both the modeling and the information management of the artifact (Oreni et al., 2014). In this context, reference is made to the methodology used to create complete technical drawings starting from photogrammetric or laser scanner surveys of historic structures, generating a library of parametric objects. However, their use for the modeling of historic buildings clashes with their specific peculiarities. (Murphy, MCGovern, and Pavia 2013) e (Murphy et al., 2017)

These research efforts have made a great improvement in terms of physical accuracy and geometric understanding, but problems remain in the representation and management of non-geometric information and knowledge offered by unrecognised surfaces.

Without a proper semantic representation and complete management of the global knowledge about the artifact, the conservation process does not act as an integrated system of activities aimed at collecting and sharing related information and performing the necessary interventions. Several researches, even only theoretical, have shown how this gap of BIM itself negatively affects the conservation of the historical heritage; only the semantic enrichment of the BIM modeling can increase the quality and level of information not related to the physical components, by including direct and indirect knowledge about the building in a single modeling environment (Pili, 2019).

In order to activate a use of the model such as that of historical-architectural analysis, a high level of information need is necessarily required after defining purposes, the information exchange taking place and the actors involved. (EN 17412-1:2020, 2020). So, all these issues have occurred in the structuring of the BIM model of the church of San Trovaso.



Fig. 4 - Point cloud of the exterior. San Trovaso church.

Fig. 5 - Point cloud of the interior. San Trovaso church.

3. A LITERATURE REVIEW OF THE ONTOLOGY USAGE

The concept of ontology has been widely received in the field of information science, especially in artificial intelligence, computational linguistics, and database theory, before the recent experience of BIM integration. Later, ontology has also been used in various fields such as medicine, finance, jurisdiction, that of geographic information systems, and digital libraries. [Biagetti, 2010] [Guarino, 1998]

The meaning of the term ontology is derived from the Greek words *ontos* and *logos*, which means 'the study of being'. Beyond the philosophical aspect, ontology represents, in the IT field, 'a formal and explicit specification of a shared conceptualization' defined with 'et of representational primitives with which to model a domain of knowledge or discourse' [T. R. Gruber, 1995]. Primitive representations are

generally classes (or sets), attributes (or properties) and relations or relationships between classes) [T. Gruber, 2009].

According to Gruber, an ontology is a set of five elements: Classes, Entities (concepts) of the domain; Instances, objects existing in the domain; Functions and Relationships, which connect classes; and Axioms, which restrict the meanings and use of classes, instances, functions, and relationships [Gomez-Perez et al., 1999].

The fundamental role that ontologies have assumed in the development of the Semantic Web reflects the boundary-breaking need for information access, which also occurs in the broader theme of historical assets management: the ability to link documents to each other and to information and data (metadata), giving a precise meaning to data, to facilitate query and automatic interpretation by a search engine are more effective [Pari, 2017] [Biagetti 2010, 10].

Considering the importance of ontologies in the IT domain, it is important to define languages that can represent the information they contain, allowing their exchange and subsequent integration with BIM model schema.

Several languages have emerged over time; the most recent among them is OWL (*Ontology Web Language*), developed by the *World Wide Web Consortium* of the W3C (*Web Ontology Working Group*) and published in 2004 [Smith et al., 2004].

OWL allows *Individuals* with common characteristics to be grouped into *Classes*, which make them *Instances* of. These can be organized into hierarchies using the relationship *Class-Subclass*. There are also two classes: the first, more general, is called *Thing*, and contains all others; the second, called *Nothing*, corresponds to the empty class.

In OWL, the *Properties* are used to relate the individuals of the different classes (*Object Properties*) or the individuals and attributes, that is data values (*Data Properties*). Moreover, in this case, it is possible to establish property hierarchies and further characteristics by the concept of *Subclass*. OWL allows placing constraints on property values to define new classes [Smith et al., 2004].

In 2009, OWL 2 was proposed to facilitate the development and exchange of Web ontologies, to increase machine readability of their contents. OWL 2 features axioms and annotations, as well as a higher expressive power than OWL [McGuinness & Harmelen, 2009].

In addition to OWL, other ontological languages have been developed, including XOL (*XML-based Ontology Language*), to exchange ontologies in the US bioinformatics sector; SHOE (*Simple HTML Ontology Extension*), developed as an HTML extension to retrieve and collect the information contained in the Web in a more precise way than an HTML document; OML (*Ontology Markup Language*), developed as an "XML serialization of SHOE"; CycL, formal language based on predicate logic; KIF (*Knowledge Interchange Format*), designed for knowledge exchange between different computer systems and also an ontology exchange format [Canfora et al., 2004].



Fig. 6 - BIM model and photogrammetric point cloud overlapping. San Trovaso church.



Currently, there are many ontologies applicable in different sectors. These include WordNet, developed for the English language, SUMO (*Suggested Upper Merged Ontology*), used in the field of linguistics and reasoning, *OpenCyc*, which uses CycL (Biagetti, 2010) as an ontological language and *DOLCE* (*Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering*), applied in various fields including the medical one (Gaio et al., 2010).

Furthermore, ontologies have also proved effective in the field of cultural heritage management, especially in heritage cataloging. In this regard, it is important to mention CIDOC *Conceptual Reference Model* (CRM), an ontology aimed to enable and encourage the integration, management and information exchange related to cultural heritage between museums, archives, libraries and specialized databases, to provide a formal and specific language for the documentation of the cultural heritage (*CIDOC CRM - Conceptual Reference Mode*, n.d.).

Various studies and projects were applied to demonstrate that associating semantic networks, information ontologies, and BIM leads to an improvement in the collection, management, and accessibility of the historic building (Acierno et al., 2017)(Fiorani, 2017)(Simeone, Cursi, and Acierno 2019). Starting from the historical analysis and the actual state of the building, an ontology, partially based on the CIDOC-CRM standard, and a BIM model of the building were created at the same time. A linking program (*BIM Semantic Bridge*) was then devised between the two models by creating correspondences. This semantically enriched information model allows a better management of building knowledge and is intended as a support for the entire conservation process.

The system MONDIS endorses an organisation for understanding of diagnostic and intervention problems. It allows to input and search entries concerning object description, structural evolution, location characteristics and risk, components,

Fig. 7 - BIM model in the urban context: view from Rio di San Trovaso

Fig. 8 - BIM model: internal view towards the side chapels and the chancel

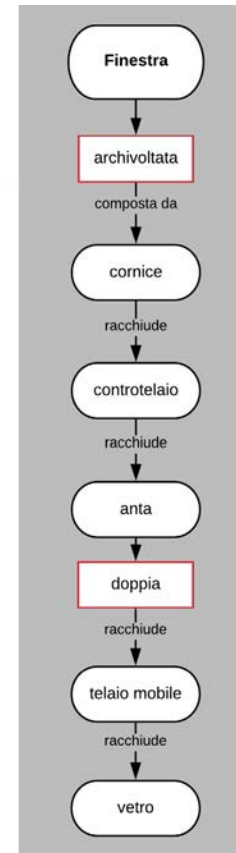
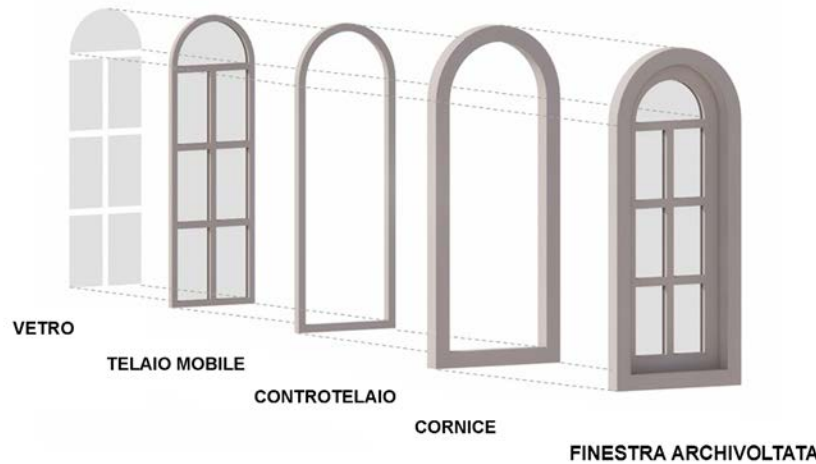


Fig. 9 - Example of a decomposed complex element in its sub-classes in BIM model and ontology schema. Arched window.

material properties, surveys and measurements, damage typology, damage triggering events, and possible interventions [Cacciotti et al., 2014]. In [Garozzo et al., 2017] CulTO *Cultural heritage Tool based on Ontology* is proposed, a software based ontology for modeling the domain of historical religious buildings. CulTO stands as a support for the classification and conservation of photographs and documents related to this

building typology and leads itself as an integration tool for BIM modeling. In the case of [Previtali et al., 2020], the focus was on the management of acquired information and models related to vault systems. By generating two different ontologies, a database is created that is able to integrate data and information from heterogeneous sources (manual survey, laser scanner, historical documentation, BIM model, etc.).

From the literature review, significant correlation between the structure of a BIM model and ontology have already emerged, which became even more evident in the second phase of the study, the semantization of the church of San Trovaso according to both approaches.

4. THE CASE STUDY OF THE SAN TROVASO CHURCH

The case study of the church San Trovaso was the ideal opportunity to explore the relationship and analogies between the BIM process and the ontology characterization, aimed at the conservation of cultural heritage and above all, its analysis, mainly from a historical-architectural point of view. [Fig. 2] [1]

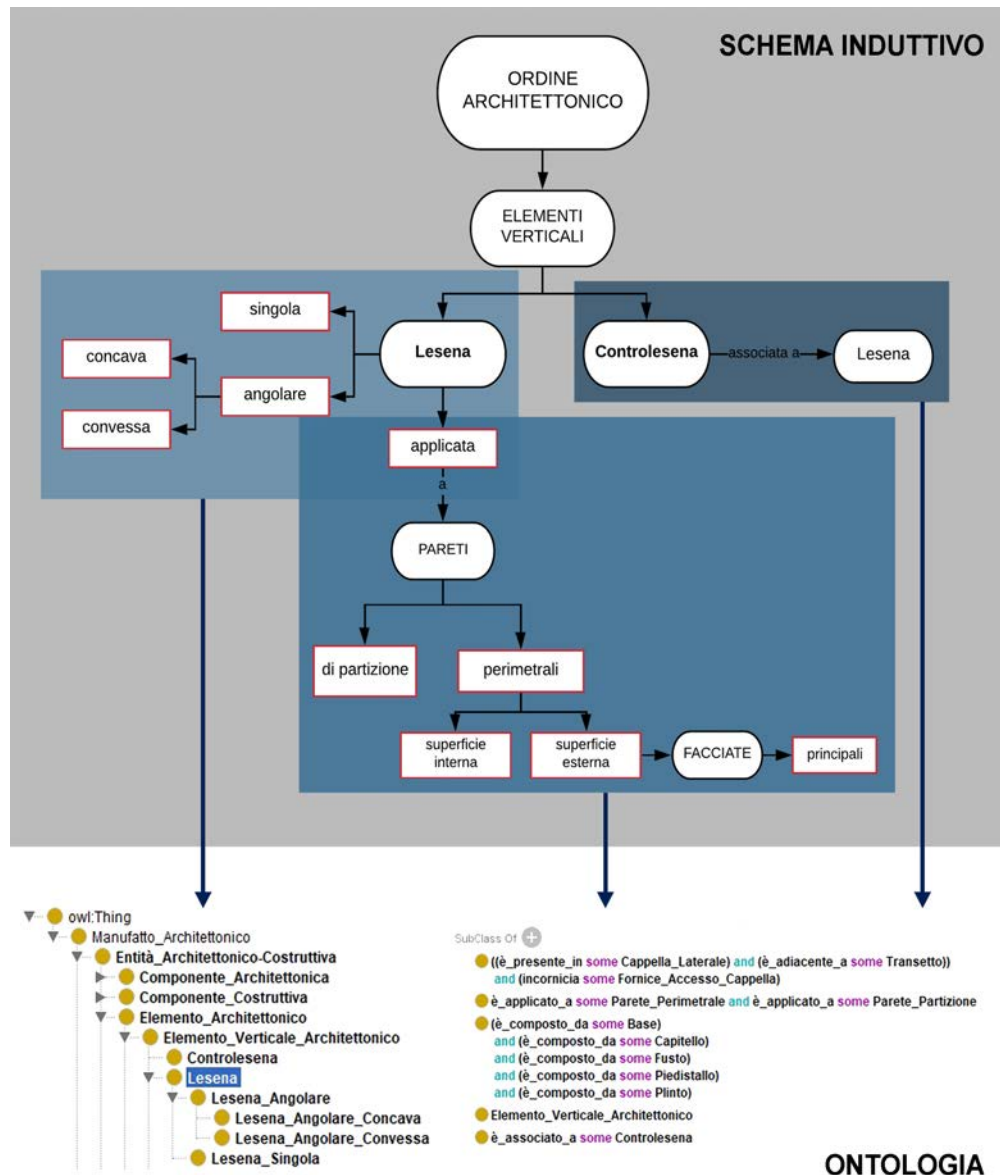
For the initial knowledge of the building, as described in the aforementioned methodology, a historical research and a subsequent critical analysis were carried out. The results obtained state that the existing documents are few and fragmentary. The most singular fact is the complete lack of evidence regarding the authorship of the last reconstruction project, also attributed to Andrea Palladio without validation.

The limited 2D documentation was integrated with a photogrammetric survey associated with a direct survey, to provide the necessary dimensions to scale and orient the point cloud resulting from the photomodeling process. This method was chosen because it was the easiest and fastest during the lock-down period to complete in timely manner but also because capturing the realism of the scene was key to the goal.

The procedure was as follows:

1. design of the survey plan and calibration of the measuring equipment used,
2. photographic recording and surveying,
3. processing of the data obtained using special software. [Fig. 3]

In the exterior, each main façade was identified and the residential building between the two was also taken over to link the two parts. The interior was divided into five portions: one for each arm of the transept and the side chapels, one for the central nave and chapels, one for the chancel, and one for the cross.



Given the architectural complexity of the building, the survey was divided into several sessions, in environmental conditions as similar as possible, so that during the processing phase the different parts were homogeneous in visual representation. Based on two different clouds, one for the interior and one for the exterior, and considering the ontology classification, the BIM modeling was created in two recognizable modeling phases, gradually improving the geometric complexity and the church knowledge. (Fig. 4 - Fig. 5 - Fig. 6)

In the first one, the main volume of the building was created, inserting and adjusting the objects belonging to the envelope and the main partitions of the church. The spaces and their relationships to the spatial ontology definition and the macro-elements were identified and understood (Fig. 7). In the second phase, on the other hand, a more specific and accurate modeling of specific architectural and decorative elements was developed, to allow an analysis of the individual decorative features and authors in the BIM model that could settle the church authorship. Given their specificity and non-standardization, many dedicated objects have been created (e.g. altars, pulpit, pilasters), with advanced geometric complexity and metadata that make it possible to preserve the relationship between the parts and with the whole model (Fig. 8).

During the modeling activities, problems related to the semantization and categorization of specific parametric objects arose for example, the entablatures, vaults, moldings, etc. This issue occurs at any time during BIM modeling with authoring software focused on the new design, and affects both the geometry representation and the database query that the construction of the model defines. The precautions and background good practices, of the descriptive geometry, a specific nomenclature that explains the meaning of each class of elements, and the use of explanatory subcategories related to the first level of organization, allow to

Fig. 10 - Architectural element parast 'Lesena': comparison between inductive scheme and ontology

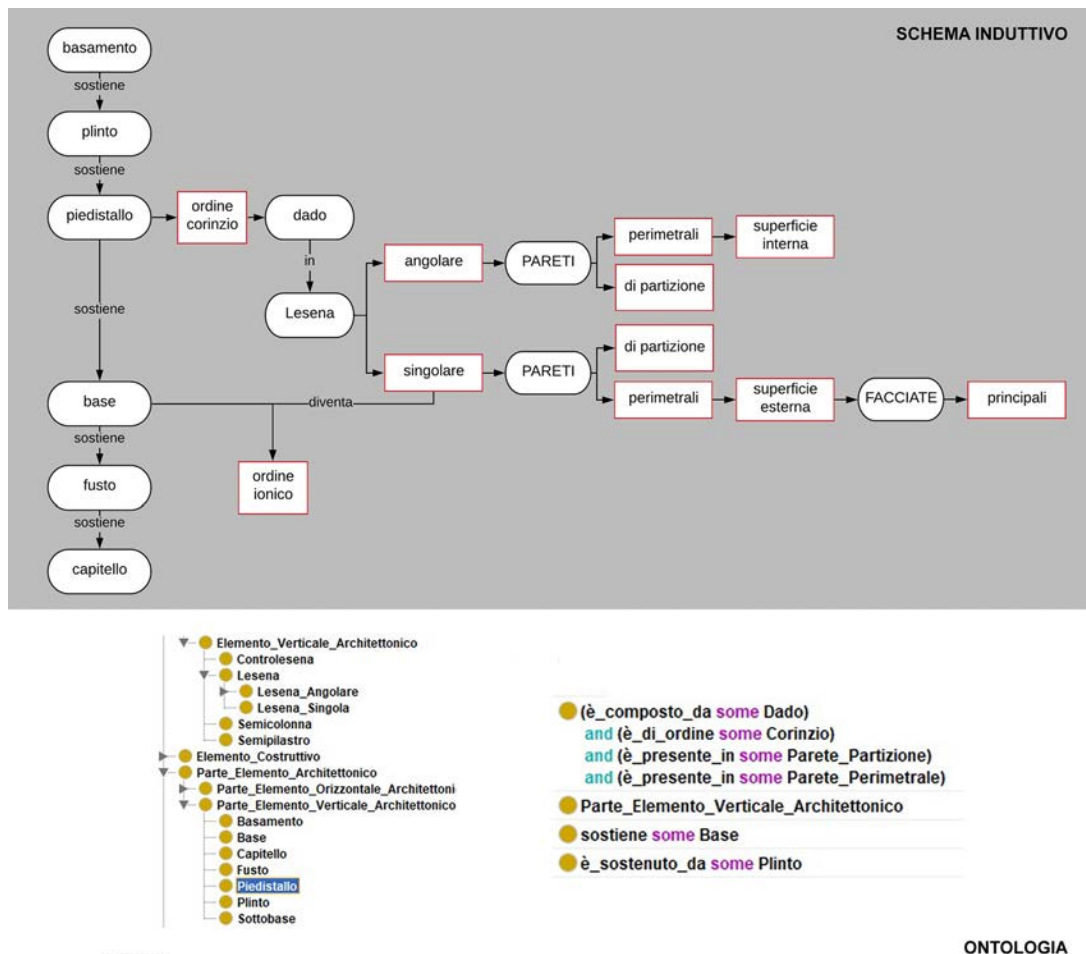


Fig. 11 - pedistal – *pedistallo* –: comparison between the inductive schemes and ontology

establish a solid foundations for the semantic definition developed in the third phase [Fig. 9]. It is then essential to have a common basis for defining the ontology and the BIM model in a common process integrated at the root. To achieve an

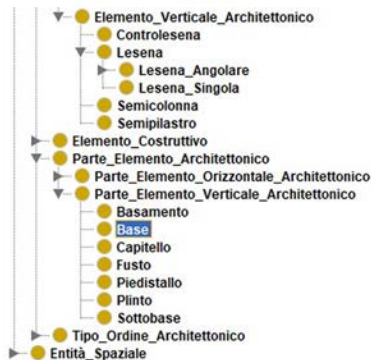
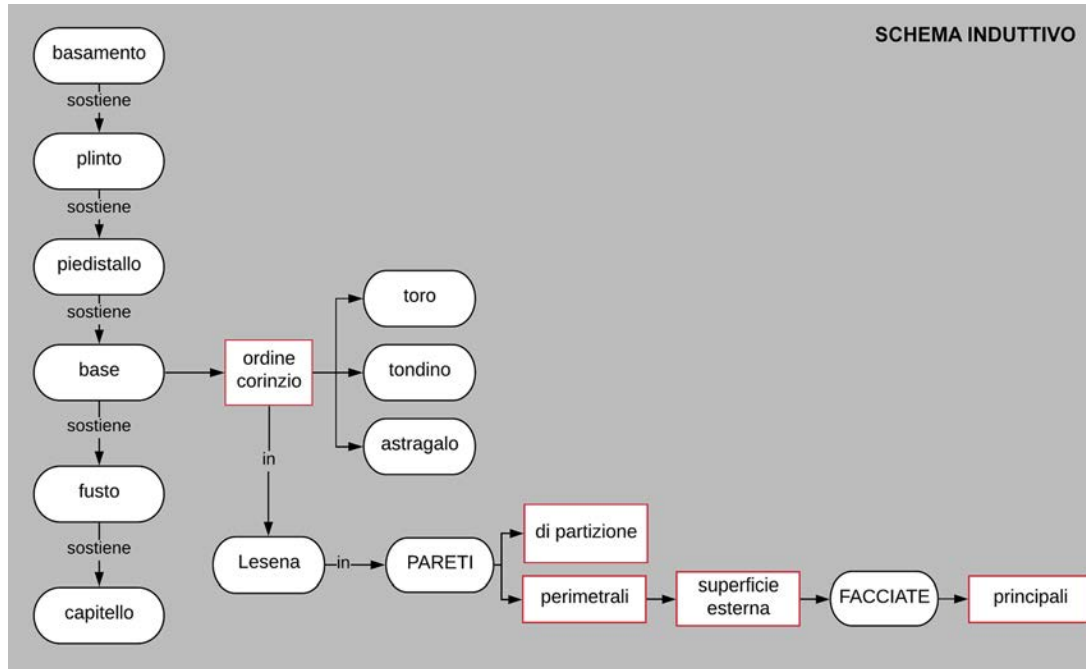
exhaustive and coherent ontology, two types of semantic schemas were created, in collaboration with the architectural historian, derived from the inductive method. Moreover to attain a correctly expressed hierarchy, of terms that specifies as

output an ontology of the church San Trovaso, the features, concepts, and relations that are not strictly embodied in the model BIM, but are essential for the global understanding of a cultural heritage, are described.

In the first type of schema, as in BIM modeling, after identifying the basic constructive elements of the building (walls, foundations, etc.) and the existing relationships between them, t a functional subdivision of the interior was made, distinguishing for each unit (nave, transept, etc.) the properties and relationships. The second scheme is based on the decomposition of each architectural component, based on the classical order, explaining their peculiarities and relationships that exist with the spatial units of the church. Three sub-schemes correspond to this typology: the first analyses the different existing orders and how the interrelated elements, vertical and horizontal, are characterized and related to each other; the second describes the arch as an architectural element, and illustrates its components, properties and relationships; finally, in the third, various types of standing openings are identified.

It proceeded with to define the ontology using Protégé software based on the preparatory diagrams. As a domain, the church was defined in terms of spaces and objects, then the building was described in terms of father-son relationships, relationships between elements, and relationships between elements and attributes.

All concepts were organized in classes, the most general one being the *architectural asset - Manufatto_Architettonico* – and is placed at the top of the hierarchy and corresponds to the real building. The more specific internal classes correspond to the different architectural, constructive, and spatial elements, grouped into the, respectively classes – *Entità_Architettonico-Costruttiva* – and – *Entità_Spaziale* –. Within the first, divided into specific subclasses, there are the constructive architectural and structural elements, their components, and the architectural order which they belong to. The second class contains the functional spaces – *Elemento_Spaziale* – and their components – *Componente_Spaziale* –.



● (((comporre some Lesena)
and (è applicato_a some Parete))
and (è di ordine some Corinzio)
and (è presente_in some Parete)) or ((è composto_da some Astragalo)
and (è composto_da some Tondino)
and (è composto_da some Toro))

● Parte_Elemento_Verticale_Architettonico
● sostiene some Fusto
● è sostenuto_da some Piedistallo

ONTOLOGIA

For each class, *Object Properties* have been defined (e.g. *it is composed of, support*), it means the relationships between the classes and therefore their instances, and *Data Properties*, the relationships between the classes and values of admissible data types (attributes). For both properties, the type to which they belong is specified (functional, inverse, etc.). to establish restrictions, that is, the limitations of the properties, further classes have been formed (e.g. *'is_supported_by' some 'Floor'*). As an example, the ontological description of the architectural element Pilaster – Lesena – is proposed (Fig. 10).

This pilaster belongs to the class Lesena, subclass of a vertical architectural element – *Elemento_Verticale_Architettonico* –, which in turn is subclass of architectural element – *Elemento_Architettonico* –, all subclasses of architectural construction entity – *Entità_Architettonico-Costruttiva*.

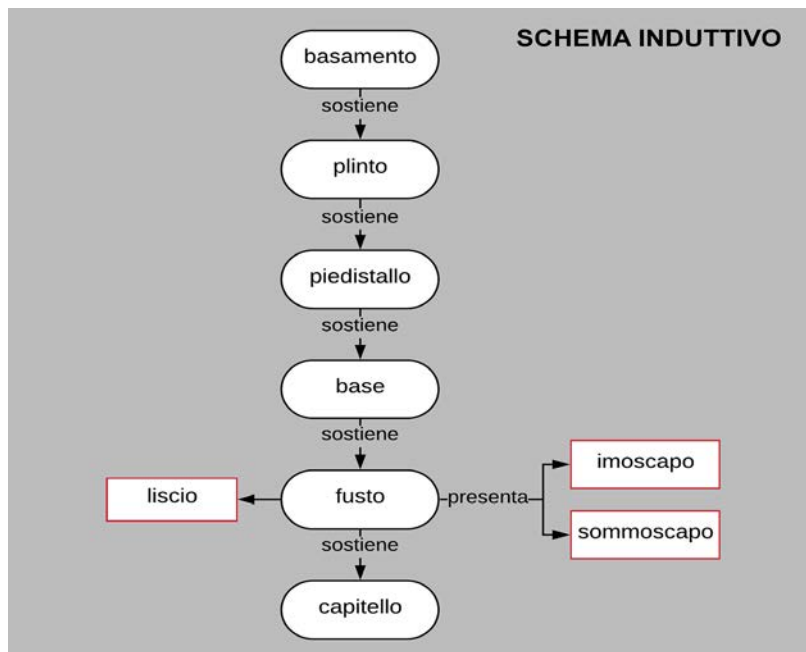
In the church there are two different types of pilasters, corner and single, which correspond to specific subclasses. Considering the high level of information of this element required by model use, very complex restrictions have been imposed, consisting of multiple *Object Properties* related to each other through boolean operators.

The pilaster element – *Lesena* – is broken down into several subclasses depending on the parts (plinth, pedestal, etc.) and components (nut, rod, etc.), based on the Corinthian order it belongs to. (Fig. 11 - Fig. 12 - Fig. 13)

5. COINCIDENT PROCESSES FOR THE DEFINITION OF BIM MODEL AND ONTOLOGY STRUCTURE

The parallel process between BIM and ontological modeling highlight the strong similarities between the two semantic systems. Both refer to similar abstraction processes, first the schematization of physical, spatial, and functional elements into a category (class) - type (subclass) - instance. Furthermore, as in a BIM environment, the buildings are broken down into an organized set of entities and relations, corresponding to the technological components of the building and their relationships, including spatial, functional, ge-

Fig. 12 - Base – base –: comparison between inductive schemes and ontology



ent meaning of the property and type concepts. In a BIM process, a property can be an attribute, or a property, or a unit of information. These properties may be link to the class it belongs to, to the type or to the single instance, a process of higher-level inheritance. The instances belonging to a type may have different values for the properties, but the representative set of properties is the same. In ontological structures, on the other hand, a property is the relationship that connects two different classes to each other; for example, the concept: *Base supports shaft*, *supports* is the property, corresponding to the predicate of the logical proposition. In essence, a property already implies a relationship.

6. CONCLUSIONS

The result of this work was a BIM model of the building consistent with the point cloud and the information obtained in the research and historical analysis phase. This BIM modelling was supported by using an external platform for the organisation of documents, a database of information found on the church San Trovaso. Furthermore, thanks to the specific ontology, build in collaboration with architectural historians, a hierarchical classification of the elements, spaces and theoretical features that make up the building has been implemented. In this way, BIM parameters and spatial and functional relationships, derived from the ontology, can constitute a basis for decision-making that enables the historical-architectural analysis and the consequent hypotheses, conservation and management of the building.

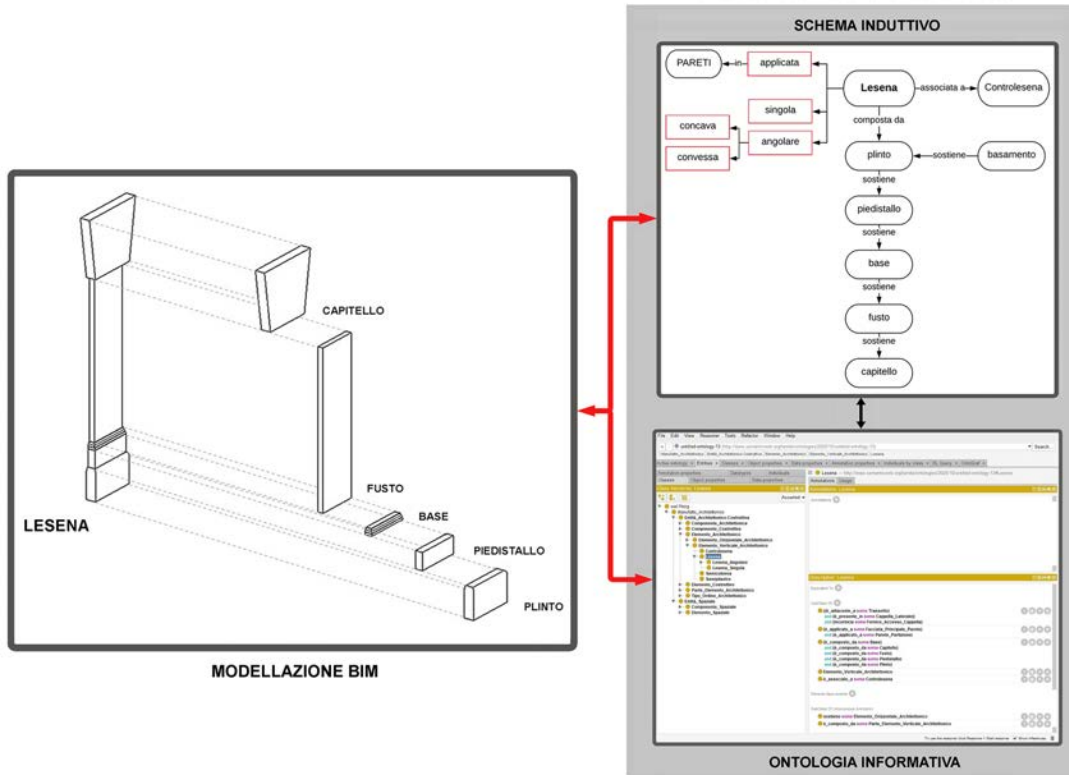


Fig. 13 - Shaft – Fusto –: comparison between inductive schemes and ontology

ometric, and technological, so that the ontological schemas are designed by nodes, concepts, and arcs (the relationships between two nodes). In the BIM model, the relationships are defined by active user actions, for example, inserting an object into a space, an explicit spatial relationship, in other cases these relationships cannot be fully controlled while in the ontology definition the

all rules are written and asserted. Therefore, it is reasonable to incorporate these formal logics into a more comprehensive approach, where the information of the BIM model is combined with the concepts and relationships of the ontology, extending the knowledge domain and increasing the semantic level of the representation [Fig. 14]. However, some issues appeared due to a differ-

ARRICCHIMENTO SEMANTICO



Furthermore, considering the repetitive nature of certain abstract aspects of religious buildings, the ontology in its singularity represents an original model for the realization of other more specific ontologies, embedded in the same functional context of the historical heritage. This work can constitute a hypothetical example that can be replicated for other historic buildings in Venice and beyond, contributing to another aspect that has been mentioned several times, that of planning the conservation of the national historic architectural heritage.

Fig. 14 - Analogies between BIM and Ontology

and features expressed in the ontology in the BIM model, in order to improve the description of the church San Trovaso from a semantic point of view. This platform with the graphical informative database and the ontology, which represents a scientific basis suitable for the validation historical reasoning, can allow the study of the historical transformation of the building or the identification of its paternity, as well as the planning of eventual investigations and conservative interventions. The work

has shown the possibility of defining a new approach of collaboration between two different disciplines: representation and the history of architecture, working on a information exchange platform that can be designed and populated in synergy. The process was in fact possible thanks to an integrated work between different competence holders, where the intrinsically different data that each must use for the same product must be codified and related according to the same rules and on the same platform.

NOTE

[1] The case study of the San Trovaso church is one of the projects developed in the LIM.lab laboratory – Department of civil architectural and environmental engineering ICEA – by a synergic research group that has involved experts of two different disciplines: science of representation and history of architecture. For this project, a special acknowledgment to Prof. Gianmario Guidarelli who made it possible the study of the church, and that supported and work on the development of ontology in an effective and synergistic collaboration.

REFERENCES

Acierno, M., Cursi, S., Simeone, D., & Fiorani, D. (2017). Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process. *Journal of Cultural Heritage*, 24, 124–133. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2016.09.010>

Biagetti, M. T. (2010). Le ontologie come strumenti per l'organizzazione della conoscenza in rete. *AIDA Informazioni*, 1/2(1/2), 9–31. <https://doi.org/10.1400/212457>

Cacciotti, R., Valach, J., Kuneš, P., Čerňanský, M., Blaško, M., & Kremen, P. (2014). Introduction to an Ontology-Driven Documentation System of Damages to Cultural Heritage. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 3(2), 255–269. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.3.2.255>

Canfora, G., Di Fatta, D., & Pilato, G. (2004). Ontologie e Linguaggi Ontologici per il Web Semantico. 1–64.

CIDOC CRM - Conceptual Reference Mode. (n.d.). <http://www.cidoc-crm.org/>

EN 17412-1:2020. (2020). *Building Information Modelling — Level of Information Need*.

Fiorani, D. (2017). La modellazione della conoscenza nel restauro: sviluppo per il BHIMM. Problematiche generali e il caso-studio di San Saba in Roma. *Built Heritage Information Modelling/Management BHIMM*, Fiorani 2014, 7–12. <https://www.ingegno-web.it/6976-knowledge-modelling-in-conservation-a-development-for-bhimm>

Gaio, S., Borgo, S., Masolo, C., Oltramari, A., & Guarino, N. (2010).

Un'introduzione all'ontologia DOLCE. 107–125.

Garagnani, S., & Manfredini, A. M. (2013). Parametric Accuracy: Building Information Modeling Process Applied To the Cultural Heritage Preservation. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W1(February), 87–92. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-5-w1-87-2013>

Garozzo, R., Murabito, F., Santagati, C., Pino, C., & Spampinato, C. (2017). Culto: An ontology-based annotation tool for data curation in cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W5), 267–274. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-267-2017>

Giordano, A., Bernardello, R., Borin, P., Friso, I., Monteleone, C., & Panarotto, F. (2018). Le opportunità fornite dai nuovi strumenti digitali (The opportunities of the new digital tools) *Narrare le città e i suoi cambiamenti attraverso la rappresentazione BIM-CAD. Paesaggio Urbano*.

Giordano, Andrea, Borin, P., & Cundari, M. R. (2015). Which survey for which digital model: critical analysis and interconnections. In *XIII International Forum. Le vie dei Mercanti* (pp. 1051--1058). La scuola di Pitagora editrice.

Gomez-Perez, A., View, L. D., Support, L., View, N. O., & Gomez-Perez, A. (1999). *Ontological Engineering: A state of the Art. Expert Update*, 2(January 1999).

Gruber, T. (2009). Ontology. In L. LIU & M. T. ÖZSU (Eds.), *Encyclo-*

pedia of Database Systems (pp. 1963–1965). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_1318

Gruber, T. R. (1995). Toward Principles for the Design of Ontologies. In *International Journal of Human-Computer Studies* (Vol. 43, Issues 5–6, pp. 907–928). <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1071581985710816>

Guarino, N. (1998). Formal Ontology and Information Systems. *Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the 1st International Conference*, 46(June), 3–15. <https://doi.org/10.1.1.29.1776>

Mcguinness, D., & Harmelen, F. (2009). *OWL Web Ontology Language Overview W3C Recommendation. OWL Web Ontology Language Overview W3C Recommendation*

Murphy, M., Corns, A., Cahill, J., Eliashvili, K., Chenau, A., Pybus, C., Shaw, R., Devlin, G., Deevy, A., & Truong-Hong, L. (2017). Developing historic building information modelling guidelines and procedures for architectural heritage in Ireland. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W5), 539–546. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-539-2017>

Murphy, Maurice, MCGovern, E., & Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27(4), 311–327. <https://doi.org/10.1108/02630800910985108>
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. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-267-2014>

Pari, A. (2017). Modellazione e realizzazione di un'ontologia formale per la rappresentazione di Informazioni relative ai beni culturali nel Web Semantico.

Pili, A. (2019). BIM process, ontologies and interchange platform for cultural architectural heritage management: State of art and development perspectives. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2/W11), 969–973. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-969-2019>

Previtali, M., Brumana, R., Stanga, C., & Banfi, F. (2020). An ontology-based representation of vaulted system for HBIM. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/app10041377>

Simeone, D., Cursi, S., & Acierno, M. (2019). BIM semantic-enrichment for built heritage representation. *Automation in Construction*, 97(November 2018), 122–137. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.004>

Smith, M., Welty, C., & Mcguinness, D. (2004). *OWL Web Ontology Language Guide*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15970-1_5

Ontologia per l'analisi storica: rilievo e modellazione BIM della Chiesa di San Trovaso a Venezia.

1. PROCESSO BIM-BASED PER L'ANALISI DEL PATRIMONIO CULTURALE

La conoscenza nonché la conservazione e tutela del patrimonio storico architettonico fondano la loro efficacia e la validità dei loro risultati in una profonda comprensione dell'edificio oggetto di intervento e su una corretta gestione di questa struttura informativa.

L'approccio BIM (*Building Information Modeling*), che si pone come ambiente di raccolta, coordinamento e analisi delle informazioni inerenti all'edificio, è una metodologia compiuta ed innovativa per attuare questo processo di intervento. Sviluppato per la progettazione di nuove costruzioni, software BIM-authoring hanno un'organizzazione e un sistema di classificazione basati su questo presupposto; tale ingombrante lacuna per asset esistenti si può colmare da un lato pla-

smando i software nel definire le geometrie complesse proprie di edifici pre-Novecento, dall'altro arricchendone la semantica definendo ontologie informative pertinenti per gestire l'intero modello di dati, e supportare interrogazioni e ipotesi.

Di recente alcuni studi hanno evidenziato come l'ontologia, associata al modello BIM, permetta un arricchimento del modello stesso dal punto di vista semantico e una migliore gestione dei dati multidisciplinari che riguardano l'edificio. Lo scopo di questo lavoro è quello di mostrare le prime due fasi di un flusso di lavoro, che dimostra come, attraverso una specifica definizione di ontologia, si possa raggiungere avvicinando la rappresentazione dell'edificio storico ad una configurazione reale coerente con le caratteristiche della struttura e relativa il modello BIM, il processo può coordinare in modo rigoroso e induttivo dati multidisciplinari

è e può migliorare nella gestione degli aspetti relativi alla tutela del patrimonio dei beni e delle conoscenze storico-architettoniche.

Le potenzialità di tale approccio sono state sperimentate in modo innovativo nel caso studio della chiesa di San Trovaso a Venezia (Fig. 1). Chiesa veneziana fondata agli inizi del XI secolo, è particolare per via delle due facciate uguali a sud e a est dell'aggregato edilizio di cui fa parte. La chiesa subì diverse ricostruzioni che la portarono, verso il Duecento, ad assumere un aspetto ricco e maestoso. Nel 1583, però, l'antica chiesa andò completamente distrutta e dopo la sua ricostruzione assunse l'aspetto attuale. La lunga storia e le trasformazioni viste la rendono un caso interessante per la sua conformazione e per l'attribuzione della paternità architettonica di cui non si ha certezza.

La metodologia impiegata nella modellazione BIM dell'edificio storico e il suo arricchimento semantico si compone delle seguenti fasi:

1. Acquisizione dei dati
 - 1.1 Ricerca documentale e analisi storica;
 - 1.2 Organizzazione di un database documentale dell'intero processo
 - 1.3 Rilievo digitale ed elaborazione della nuvola di punti;
2. Semantizzazione dei dati
 - 2.1 Creazione del modello BIM, basato sulla nuvola di punti e su eventuali documenti 2D ottenuti durante la ricerca;
 - 2.2 Creazione della specifica ontologia tramite la modellazione dei domini di conoscenza;
3. Analisi dei dati
 - 3.1 Implementazione dell'ontologia definita nel modello BIM tramite piattaforme e interfacce specifiche
 - 3.2 Attivazione di simulazioni ad esempio di tipo configurativo basate sulla piattaforma BIM e la relativa ontologia.

Nel presente articolo vengono sottoposte lettura le fasi di acquisizione e di semantizzazione dei dati fino quindi alla creazione di ontologie su pre-disposte piattaforme

2. PROCESSI SCAN TO BIM PER LA RAPPRESENTAZIONE GEOMETRICA SEMANTICA COMPLESSA

L'impiego del BIM nella progettazione di nuove costruzioni permette di ricavare un modello informativo dinamico, implementabile con tutte le informazioni relative all'intera vita utile dell'edificio. I molti vantaggi ottenuti hanno spinto i professionisti a adottare tale approccio anche agli edifici storici con finalità conservative. Fin dalle prime sperimentazioni sono emerse potenzialità e criticità che questa operazione comporta. Intervenire sul patrimonio storico è assai delicato e complesso: un edificio storico è un sistema articolato di specificità, relazioni e processi, che ha una vita passata che ne determina la struttura presente. Il risultato è un organismo unico, non standardizzabile e ciò fa sì che i software esistenti non siano completamente in grado di recepire, descrivere

e trasmettere la grande quantità di informazioni legate all'edificio.

La modellazione BIM applicata agli edifici storici si fonda su un'attenta e scrupolosa indagine e analisi storica, essenziali per la conoscenza globale del manufatto e imprescindibili per la successiva modellazione.

Inoltre, la produzione del modello BIM dell'esistente si basa su due rilievi integrati: una documentazione esistente 2D e un rilievo digitale. La prima tipologia spesso è storica o eseguita successivamente per interventi avvenuti sull'oggetto stesso; nel caso di una mancanza di documenti *as built* viene sopperita o completata da processi di rilievo digitale che restituiscono lo stato di fatto dell'opera (Garagnani & Manferdini, 2013). Elaborando i dati ricavati dal rilievo si ottengono nuvole di punti o mesh, base per la successiva modellazione (Maurice Murphy et al., 2009). Risulta chiave quindi definire per ciascun manufatto, delineate le sue peculiarità, quale sia il rilievo adatto per abilitare poi la modellazione BIM (Andrea Giordano et al., 2015). Lo sviluppo di tecnologie di integrazione nel BIM dei dati derivanti dal rilievo architettonico digitale ha orientato varie ricerche sull'uso dell'approccio *BIM reality-based* come fattore chiave per il superamento dei problemi legati alla rappresentazione del manufatto storico (Simeone et al., 2019). Molto spesso usi del modello per la conoscenza storica e la conservazione necessitano di un riferimento il più realistico possibile, delineando un livello di informazioni geometriche alto.

Modellare tramite elementi parametrici astratti implica a volte un'eccessiva semplificazione del manufatto storico, con conseguente perdita di una quantità di informazioni e un'inesatta rappresentazione della realtà se non si adottano le adeguate accortezze (A. Giordano et al., 2018).

Altri usi connessi ai beni storici come l'analisi e le simulazioni del comportamento strutturale, valutazione economica del progetto e restauro finale hanno evidenziato limiti sia in termini di modellazione che di gestione delle informazioni del manufatto (Oreni et al., 2014).

Circa questo si segnala la metodologia per la creazione di disegni tecnici completi partendo da ri-

lievi fotogrammetrici o laser scanner di strutture storiche, dove si è generato una libreria di oggetti parametrici. Tuttavia, il loro uso per la modellazione di edifici storici si scontra con le peculiarità che li caratterizza. (Murphy, MCGovern, and Pavia 2013) e (Murphy et al., 2017)

Questi sforzi di ricerca hanno offerto un grande miglioramento in termini di accuratezza fisica e comprensione geometrica dell'edificio, ma persistono problemi di rappresentazione e gestione delle informazioni non geometriche e di conoscenza offerta dalle superfici non rilevate.

Senza una corretta rappresentazione semantica e una gestione completa della conoscenza globale del manufatto, il processo di conservazione non agisce come un sistema integrato di attività volte a raccogliere e condividere le informazioni relative ad esso e agli interventi necessari. Diverse ricerche, anche puramente teoriche hanno dimostrato come questa lacuna, insita nel BIM stesso, vada ad inficiare negativamente sulla conservazione del patrimonio storico; solo l'arricchimento semantico della modellazione BIM può incrementare la qualità e il livello delle informazioni non legate a componenti fisiche, includendo in un unico ambiente di modellazione conoscenza diretta e indiretta dell'edificio (Pili, 2019).

Al fine di attivare un uso del modello come quello di analisi storico-architettonica, dopo aver definito gli scopi che questo comporta, gli scambi informativi che avvengono e gli attori coinvolti, necessariamente si richiede un Livello di Fabbisogno Informativo alto. (EN 17412-1:2020, 2020) Tutte queste problematiche sono quindi necessariamente affrontate nella strutturazione del modello BIM della chiesa di San Trovaso.

3. UNA LITERATURE REVIEW SULLE APPLICAZIONI DELL'ONTOLOGIA

Il concetto di ontologia, prima delle recenti esperienze di applicazione nel BIM, ha trovato ampio riscontro nell'ambito delle scienze dell'informazione, in particolare modo nell'intelligenza artificiale, nella linguistica computazionale e nella teoria dei database. In seguito, l'ontologia è stata

usata anche diversi settori come la medicina, la finanza, la giurisdizione, in quello dei sistemi di informazione geografica e delle biblioteche digitali (Biagetti, 2010) (Guarino, 1998).

Il significato del termine ontologia deriva dalle parole greche *ontos* e *logos*, ovvero 'la parola dell'essere'. Oltre l'aspetto filosofico, l'ontologia rappresenta, in ambito informatico, 'una specificazione formale ed esplicita di una concettualizzazione condivisa' definita con "un insieme di rappresentazioni primitive con cui modellare un dominio di conoscenza del discorso (T. R. Gruber, 1995). Le rappresentazioni primitive sono generalmente classi (o insiemi), attributi (o proprietà) e relazioni o relazioni fra classi) (T. Gruber, 2009). Secondo Gruber, un'ontologia è un insieme di cinque elementi: classi, entità (concetti) del dominio; istanze, oggetti presenti attualmente nel dominio; funzioni e relazioni, che collegano fra loro le classi; e assiomi, che restringono i significati e l'uso di classi, istanze, funzioni e relazioni (Gomez-Perez et al., 1999).

Il ruolo fondamentale che le ontologie hanno assunto nello sviluppo del Web Semantico rispecchia la necessità di superare i limiti di accesso alle informazioni che emergono anche nelle tematiche più ampie di gestione dei beni storici: la possibilità di collegare i documenti tra loro e a informazioni e dati (metadati), attribuendo un preciso significato ai dati, cosicché l'interrogazione e l'interpretazione automatica da parte di un motore di ricerca siano più efficaci (Pari, 2017) (Biagetti 2010, 10).

Data l'importanza delle ontologie nel campo dell'informatica è importante definire linguaggi in grado di rappresentare le informazioni contenute in esse, permettendone così lo scambio e la futura loro integrazione con sistemi informativi BIM.

Col tempo ne sono stati realizzati diversi; tra questi il più recente è OWL (*Ontology Web Language*), sviluppato dal *Web Ontology Working Group* del W3C (*World Wide Web Consortium*) e pubblicato nel 2004 (Smith et al., 2004).

OWL offre la possibilità di raggruppare gli individui (*Individuals*) aventi caratteristiche comuni in classi (*Classes*), di cui essi costituiscono le istanze (*Instances*). Queste si possono organizzare

in gerarchie utilizzando la relazione classe/sottoclasse. Sono previste, inoltre, due particolari classi: la prima, più generica, è detta *Thing*, e contiene tutte le altre; la seconda, detta *Nothing*, corrisponde alla classe vuota.

In OWL le proprietà (*Properties*) si utilizzano per relazionare fra loro gli individui delle varie classi (*Object Properties*) oppure gli individui e gli attributi, cioè valori di dati (*Data Properties*). Anche in questo caso è possibile stabilire delle gerarchie di proprietà, tramite il concetto di sottoclasse, e diverse caratteristiche. OWL, inoltre, consente di porre delle restrizioni ai valori delle proprietà, in modo da definire nuove classi (Smith et al., 2004). Nel 2009 è stato proposto OWL 2 al fine di facilitare lo sviluppo delle ontologie e la loro condivisione tramite il Web, aumentando la comprensibilità dei loro contenuti alle macchine. OWL 2 si caratterizza per la presenza di assiomi e annotazioni e per la maggiore espressività rispetto ad OWL (McGuinness & Harmelen, 2009).

Oltre ad OWL sono stati sviluppati altri linguaggi ontologici tra cui XOL (*XML-based Ontology Language*), per scambiare ontologie nel settore della bioinformatica statunitense; SHOE (*Simple HTML Ontology Extension*), sviluppato come estensione di HTML al fine di recuperare e raccogliere le informazioni contenute nel Web in maniera più precisa rispetto ad un documento HTML; OML (*Ontology Markup Language*), sviluppato come "serializzazione XML di SHOE"; CycL, linguaggio formale basato sulla logica dei predicati; KIF (*Knowledge Interchange Format*), progettato per lo scambio di conoscenza fra sistemi informatici distinti e utilizzato anche come formato per lo scambio di ontologie (Canfora et al., 2004).

Attualmente esistono numerose ontologie, applicabili in diversi settori. Tra queste si citano: WordNet, sviluppata per la lingua inglese, SUMO (*Suggested Upper Merged Ontology*), utilizzata nel campo della linguistica e del ragionamento, *OpenCyc*, che utilizza come linguaggio ontologico CycL (Biagetti, 2010) e *DOLCE* (*Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering*), applicata in vari ambiti tra cui quello medico (Gao et al., 2010).

Ultimamente le ontologie si sono rivelate sempre più importanti anche nel campo della gestione dei beni culturali, soprattutto nella catalogazione del patrimonio. A tal proposito è importante citare il CIDOC *Conceptual Reference Model* (CRM), ontologia finalizzata ad abilitare e incoraggiare integrazione, gestione e scambio di informazioni relative ai beni culturali tra musei, archivi, biblioteche e data-base specializzati, fornendo un linguaggio formale e specifico per la documentazione del patrimonio culturale (*CIDOC CRM - Conceptual Reference Mode*, n.d.).

Vari studi e progetti hanno cercato di dimostrare concretamente che associare reti semantiche, ontologie informative e BIM comporta un miglioramento anche nella raccolta, gestione e accessibilità della documentazione dell'edificio storico (Acierno et al., 2017)(Fiorani, 2017)(Simeone, Corsi, and Acierno 2019). Partendo dall'analisi storica e dello stato di fatto dell'edificio, sono state realizzate contemporaneamente un'ontologia, basata parzialmente sullo standard CIDOC-CRM, e un modello BIM del manufatto. In seguito è stato ideato un programma "ponte" (BIM Semantic Bridge) tra le due modellazioni creando delle corrispondenze fra queste. Tale modello informativo arricchito semanticamente permette di ottenere una migliore gestione della conoscenza dell'edificio e si propone come supporto per l'intero processo di conservazione.

Il sistema MONDIS sostiene un'organizzazione per la comprensione dei problemi diagnostici e di intervento. Permette di inserire e ricercare voci riguardanti la descrizione dell'oggetto, l'evoluzione strutturale, le caratteristiche di localizzazione e rischio, i componenti, le proprietà dei materiali, i rilievi e le misurazioni, la tipologia dei danni, gli eventi scatenanti del danno e gli eventuali interventi (Cacciotti et al., 2014).

In (Garozzo et al., 2017) è proposto *CuLTO*, *Cultural heritage Tool based on Ontology*, basato su un'ontologia per la modellazione del dominio degli edifici storici religiosi. *CuLTO* si pone come supporto alla classificazione e conservazione di fotografie e documenti relativi a questa categoria di edifici, prestandosi come strumento di integrazione per la loro modellazione BIM.

Nel caso di (Previtali et al., 2020) l'attenzione si è concretata sulla gestione di informazioni e modelli acquisiti legati ai sistemi voltati. Costruendo due diverse ontologie, si è creato un database capace di combinare assieme dati e informazioni derivanti da fonti eterogenee (rilievo diretto, laser scanner, documentazione storica, modello BIM, ecc.), che può essere integrato poi con nuove informazioni. Già dall'indagine effettuata sulla letteratura presente sono emersi notevoli relazioni tra la struttura di un modello BIM e l'ontologia, i quali sono emersi ancora più chiaramente nella seconda fase dello studio ovvero la semantizzazione della chiesa di San Trovaso secondo entrambi gli approcci.

4. IL CASO STUDIO DELLA CHIESA DI SAN TROVASO

La chiesa di San Trovaso è stata l'occasione ideale per sperimentare la relazione e le analogie tra il processo BIM e la definizione di un'ontologia, volte alla conservazione del bene culturale e all'analisi dello stesso, in particolare da un punto di vista storico-architettonico. (Fig. 2) [1]

Per la conoscenza iniziale dell'edificio, come delineato prima in termini metodologici, è stata svolta una ricerca documentale e una successiva analisi storico-critica. I risultati ottenuti permettono di affermare che le notizie esistenti sono poche e frammentarie. Il fatto più singolare è l'assenza totale di prove certe relative alla paternità dell'ultimo progetto di ricostruzione, attribuito anche ad Andrea Palladio, ma di cui non vi è conferma.

La limitata documentazione 2D è stata integrata con un rilievo fotogrammetrico associato ad un rilievo diretto, ricavando le misure necessarie per scalare e orientare la nuvola di punti derivante dal processo di fotomodellazione. È stata scelto questo metodo poiché il più agevole e rapido durante il periodo di lock-down per completare nei tempi stabiliti il lavoro. Inoltre, considerato lo scopo, catturare il realismo della scena era fondamentale.

La procedura si è articolata come segue:

1. progettazione del piano di rilievo e calibrazione della strumentazione utilizzata;
2. ripresa fotografica e presa di misure;

3. elaborazione dei dati ottenuti tramite apposito software. (Fig. 3)

All'esterno è stata individuata per ogni facciata principale una porzione; inoltre, in vista della successiva fase di elaborazione, per ogni facciata si è ripreso anche l'edificio residenziale posto fra le due. All'interno, invece, la chiesa è stata scomposta in cinque porzioni: una per ogni braccio del transetto e relative cappelle laterali, una per la navata centrale e cappelle, una per la zona del presbiterio ed infine una per la zona della crociera. Vista la complessità architettonica dell'edificio si è suddiviso il rilievo in più sessioni, impostandolo in condizioni ambientali il più possibile simili, cosicché in fase di elaborazione le varie porzioni risultassero omogenee dal punto di vista della resa visiva.

Dopo aver ottenuto due nuvole distinte, una per la parte interna e una per quella esterna, e basandosi anche sulla documentazione 2D si è proceduto alla modellazione BIM della chiesa secondo due distinte fasi di modellazione. (Fig. 4 - Fig. 5- Fig. 6) Nella prima si è realizzata la volumetria generale dell'edificio, inserendo e personalizzando gli oggetti appartenenti all'involucro e alle partizioni principali della chiesa, andando ad individuare e a comprendere gli spazi e le loro relazioni per la definizione della ontologia spaziale e dei macroelementi (Fig. 7). Nella seconda, invece, si è attuata una modellazione più specifica e accurata dei singoli elementi architettonici e decorativi, per permettere un'analisi nel modello BIM delle singole peculiarità decorative e delle maestranze artigianali che potrebbero dirimere la paternità della chiesa stessa. Vista la loro specificità e non standardizzazione, sono stati creati numerosi oggetti dedicati (es. altari, pulpito, lesene), con complessità geometrica avanzata e meta-dati che permettono di mantenere la relazione delle parti tra loro e con l'insieme (Fig. 8).

Durante la modellazione si sono riscontrati problemi legati alla semantizzazione e categorizzazione degli oggetti parametrici specifici dell'edificio, ad esempio le trabeazioni, le volte, le modanature, ecc.. Questo aspetto sempre presente nell'ambito di una modellazione BIM con software di autho-

ring destinati principalmente alla nuova progettazione, riguarda sia la rappresentazione della geometria che l'interrogazione del database stesso che la costruzione del modello va a definire. Gli accorgimenti sviluppati con l'esperienza, le regole acquisite dalla geometria descrittiva, una nomenclatura specifica che esplicitasse il significato di ciascuna classe di elementi e l'uso delle sottocategorie maggiormente esplicative in riferimento al primo livello di organizzazione hanno permesso la costruzione di solide basi per la definizione semantica della terza fase (Fig. 9).

A questo proposito poi è stato fondamentale avere una base comune nella definizione dell'ontologia e del modello BIM in un processo integrato con radici comuni. Per realizzare un'ontologia esaustiva e coerente sono state realizzate due tipologie di schemi base, definiti in collaborazione con lo storico dell'architettura e derivanti dal metodo induttivo. Al fine di ottenere una corretta gerarchizzazione dei concetti espressi, ricavando come output una specifica ontologia relativa alla chiesa di San Trovaso, sono descritte le caratteristiche i concetti e le relazioni che non sono strettamente incorporati nel ,modello BIM ma che sono fondamentali per la conoscenza globale di un edificio storico. Nella prima tipologia di schema, al pari della prima fase di modellazione BIM, dopo aver individuato gli elementi costruttivi base dell'edificio (pareti, fondazioni, ecc.) e le relazioni esistenti fra questi, si è proceduto ad una suddivisione funzionale dello spazio interno, distinguendone le entità (navata, transetto, ecc.) e le proprietà e relazioni di ognuna. La seconda tipologia si basa sulla scomposizione in componenti dei singoli elementi architettonici, in riferimento al proprio ordine, esplicitandone peculiarità e relazioni instauratesi con le entità spaziali della chiesa. A tale tipologia corrispondono ulteriori tre sottoschemi: nel primo si analizzano i vari ordini presenti e come i suoi elementi, suddivisi in verticali e orizzontali, si caratterizzano e relazionano; nel secondo si descrive l'arco come elemento architettonico, illustrandone componenti, proprietà e relazioni; nel terzo, infine, si identificano i vari tipi di aperture presenti.

In riferimento agli schemi preparatori, si proceduto poi con la modellazione dell'ontologia mediante l'uso del software Protégé.

Dopo averne stabilito il dominio, ossia la chiesa in termini di spazi e oggetti, l'edificio è stato descritto sulla base di relazioni padre - figlio, relazioni tra elementi e relazioni tra elementi e attributi.

Tutti i concetti sono stati raggruppati ordinatamente all'interno di una serie di classi, di cui quella più generica *'Manufatto_Architettonico'* è posta in cima alla gerarchia e corrisponde all'edificio reale. Le classi interne, più specifiche, corrispondono ai diversi elementi architettonici, costruttivi - *Entità_Architettonico-Costruttiva* - e spaziali - *Entità_Spaziale* -. All'interno della prima, suddivisi in specifiche sottoclassi, si hanno gli elementi costruttivi, architettonici e strutturali, le loro componenti e l'ordine architettonico a cui appartengono. Nella seconda classe si trovano gli spazi funzionali - *Elemento_Spaziale* - e le loro componenti - *Componente_Spaziale* -.

Per ogni classe sono state definite *Object Properties* (es. è composto da, sostiene), ossia delle relazioni fra le varie classi equindi le loro istanze, e *Data Properties*, cioè delle relazioni tra le classi e valori di tipi di dati ammissibili (attributi). Per entrambe le proprietà è stato specificato il tipo a cui esse appartengono (funzionale, inversa, ecc.). Stabilendo poi delle restrizioni, ovvero i vincoli sulle proprietà, si sono create ulteriori classi (es. è sostenuto da *some* Pavimento).

A titolo esemplificativo è proposta la descrizione ontologica dell'elemento architettonico lesena (Fig. 10). Tale elemento appartiene alla classe *Lesena*, sottoclasse di *Elemento_Verticale_Architettonico*, a sua volta sottoclasse di *Elemento_Architettonico*, tutte sottoclassi di *Entità_Architettonico-Costruttiva*.

Nella chiesa sono presenti due diversi tipi di lesene, le angolari e le singole, che corrispondono a specifiche sottoclassi. Considerato l'alto livello informativo di tale elemento richiesto dall'uso del modello, sono state imposte delle restrizioni molto articolate, formate da più *Object Properties* relazionate tra loro tramite operatori booleani.

L'elemento *Lesena* è scomposto in varie sottoclassi a seconda delle parti (plinto, piedistallo,

ecc.) e dei componenti (dado, tondino, ecc.), in base all'ordine corinzio di appartenenza. (Fig. 11- Fig. 12 -Fig. 13)

5. PROCESSI COINCIDENTI PER LA DEFINIZIONE DI MODELLI BIM E STRUTTURAZIONE DELL'ONTOLOGIA

Il processo parallelo tra la modellazione BIM e quella ontologica ha fatto emergere forti analogie tra i due sistemi semantici. Entrambi fanno riferimento a processi di astrazione simili, innanzitutto la schematizzazione di tutti elementi fisici, spaziali e funzionali in categoria (classe) - tipo (sottoclasse)- istanza.

Inoltre, come in un ambiente BIM gli edifici sono scomposti in un insieme organizzato di entità e relazioni, corrispondenti alle componenti tecnologiche del manufatto e alle loro relazioni, tra cui quelle spaziali, funzionali, geometriche e tecnologiche, così gli schemi ontologici sono formati da nodi, i concetti, e archi, ovvero le relazioni tra due nodi.

Molto spesso nel modello BIM ciò che definisce le relazioni è frutto di azioni attive dell'utente, ad esempio l'inserimento di un oggetto in uno spazio, relazione spaziale esplicita, altre volte invece queste relazioni non possono essere completamente governate mentre nella definizione di un'ontologia tutte le regole sono scritte e stabilite. È ragionevole, perciò, pensare di poter incorporare queste logiche formali all'interno di un insieme più ampio, dove le informazioni del modello BIM si combinano ai concetti e alle relazioni dell'ontologia, estendendo i domini di conoscenza modellati e aumentando il livello semantico della rappresentazione (Fig. 14).

Sono emerse, però, delle criticità dovute ad un diverso modo di interpretare i concetti di proprietà e tipo. Nel BIM una proprietà è un attributo, ovvero unità di informazione minima di ogni entità oppure una proprietà ovvero una unità di informazione. Queste proprietà possono essere legate alla classe di appartenenza, al tipo o alla singola istanza in un processo necessariamente di ereditarietà rispetto al livello superiore. Le istanze che appartengono a un tipo possono avere valori diversi per

le proprietà, ma l'insieme rappresentativo delle proprietà per ciascuna di esse è il medesimo. Nella modellazione ontologica, invece, la proprietà è la relazione che lega due classi diverse fra loro; ad esempio, il concetto: *'Base sostiene Fusto'*, *'sostiene'* è la proprietà, che corrisponde al predicato della proposizione logica. In sostanza una proprietà sottintende già una relazione.

Altro aspetto è l'impossibilità di attribuire alle classi dei valori di tipi di dati nella modellazione ontologica dove gli attributi possono essere associati solo alle singole istanze contenute all'interno delle classi. Nella modellazione ontologica è necessario creare delle sottoclassi ancora più specifiche, quando in un sistema BIM corrispondono al valore che un determinato parametro assume.

6. CONCLUSIONI

Il risultato di questo lavoro è stato un modello BIM dell'edificio coerente con la nuvola di punti e con le informazioni ottenute nella fase di ricerca e analisi storica, che grazie al supporto di una piattaforma esterna organizzatrice dei documenti, è un database delle informazioni reperite sulla Chiesa di San Trovaso. Inoltre, grazie alla specifica ontologia, costruita con gli storici dell'architettura, si è attuata una classificazione gerarchica di elementi, spazi e caratteristiche immateriali componenti l'edificio. In questo modo, parametri BIM e relazioni spaziali e funzionali, desunte dall'ontologia, costituiscono una base decisionale che abilita l'analisi storico-architettonica e le conseguenti ipotesi, la conservazione e la gestione dell'edificio.

Come preannunciato questo lavoro esplora le prime due fasi del processo di integrazione di modelli BIM e ontologici, ovvero la loro iniziale definizione e i punti di contatto tra le due definizioni. La struttura dei due approcci ha molteplici punti comuni e le diversità sono integrabili e superabili. Ulteriore sviluppo di questo lavoro è l'inserimento e il collegamento dei concetti, delle relazioni e delle peculiarità astratte espresse nell'ontologia all'interno del modello BIM, al fine di abilitare una descrizione della chiesa di San Trovaso da un punto di vista semantico Questa piattaforma

completa con il database grafico-informativo e l'ontologia, che costituisce una base scientifica atta a validare i ragionamenti storici, permette lo studio della trasformazione storica dell'edificio o l'individuazione della sua paternità, nonché la pianificazione di eventuali indagini e interventi conservativi. Il lavoro ha dimostrato come è possibile definire una nuova modalità di collaborazione tra due discipline differenti: la rappresentazione e la storia dell'architettura, mediante la creazione di una piattaforma di scambio informativo progettata e arricchita di contenuti in sinergia. Il processo infatti è stato possibile grazie ad un lavoro integrato tra diversi portatori di competenze, dove i dati intrinsecamente differenti che ciascuno deve utilizzare per lo stesso manufatto devono essere codificati e relazionati secondo le medesime regole e sulla medesima piattaforma.

Considerata, inoltre, la natura ripetitiva di taluni aspetti astratti degli edifici religiosi, l'ontologia nella sua singolarità rappresenta un modello originale per la realizzazione di altre ontologie più specifiche, inquadrare nel medesimo ambito funzionale del patrimonio storico. In particolare, questo lavoro può costituire un ipotetico esempio replicabile per altri edifici storici di Venezia e non solo, contribuendo così ad un altro aspetto più volte citato ovvero quello della pianificazione della conservazione del patrimonio storico architettonico nazionale.

NOTE

[1] Il caso studio della chiesa di San Trovaso è uno dei progetti sviluppati nel laboratorio LIM.lab - Dipartimento di ingegneria civile edile e ambientale ICEA - da un gruppo di ricerca sinergico che ha coinvolto esperti di due diverse discipline: scienza della rappresentazione e storia della architettura. Per questo progetto, un ringraziamento speciale al Prof. Gianmario Guidarelli che ha reso possibile lo studio della chiesa, e che ha sostenuto e collaborato allo sviluppo dell'ontologia in una collaborazione efficace e sinergica.