

BIM federated model for the regeneration of industrial archaeology buildings. The case study of the Tobacco Factory in Presenzano

This paper introduces a multidisciplinary research activity that connects the fields of drawing and structures, particularly focusing on an application in industrial archaeology. The study involved constructing the BIM model - based on geometric and structural survey data - of the Tobacco Factory in Presenzano decommissioned for over fifty years.

The aim of this paper is to build a BIM model that integrates geometric and dimensional information in the parametric modeler with data on the physical-mechanical characteristics of the materials and structures derived from experimental tests. The federated BIM model, which stands as an archive for the knowledge of a work and as a support tool for the project in all its phases, in the specific case of application to the field of industrial archaeology, is configured as a valuable aid to the simulation of the project. In particular, concerning the conditions in which the Tobacco

Factory in Presenzano is located with largely collapsed volumes, the BIM model allows to hypothesize scenarios of structural and functional reuse of the building, in the specific spatial context that hosts it, the features of which were stored, in an ad-hoc structured GIS project, according to the well-established digital cartographic representation technique. The Tobacco Factory and its context were modeled from architectural to geographic scale using BIM to GIS procedures.



Alessandra Avella
PhD, Associate Professor on Drawing. She teaches 'Architecture Surveying and Drawing' and 'Fashion Drawing'. Her research and publications fields are Geometry; architectural and fashion design drawing; multi-scalar surveying, GIS and H-BIM. Member of research project and author of monographs, essays, articles in specialized journal and proceedings of international and national Congresses.



Mariateresa Guadagnuolo
PhD, Associate Professor on Structural Engineering. She teaches 'Structural Design Laboratory', 'Structural Diagnostics'. Author of more than 90 papers on seismic behaviour of irregular structures, seismic analysis and damage of structures, seismic response of r/c structures under bidirectional seismic input, numerical and experimental behaviour of masonry structures, retrofit of masonry buildings.



Nicola Pisacane
PhD, Associate Professor on Drawing. He teaches 'Architecture Representation and Modeling', 'Building Information Modeling'. His research and publications fields are Geometry; architectural and design drawing; GIS and digital mapping, BIM. Member of research project and author of monographs, essays, articles in specialized journal and proceedings of international and national Congresses.

Keywords:
Parametric multidisciplinary modeling; BIM-GIS; seismic safety

INTRODUCTION

The Tobacco Factory in Presenzano is located in the hydrographic plain of the upper-middle Volturno, a historically significant environmental corridor bordered by the foothills of the two Matese massifs to the southeast, the Mainarde system to the southwest, and the Abruzzo National Park, between the Isernia-Caianello railway line and the Venafrana highway (Figg. 01-02).

The factory, designed by engineer Pietro Lucci in 1952 and decommissioned after about twenty years of activity, presents a plant liable to have a considerable impact on the territory due to the considerable volume of the buildings that constitute it. However, by virtue of its architectural and formal characteristics, it fits well into the surrounding landscape.

The plant is spatially and functionally organized in absolute adherence to the related processes of product processing, from processing in the lower bodies to drying in those of greater height, harmoniously integrating traditional type solutions - related to the availability of local materials and techniques - with the most advanced technological and innovative solution available at the time of realization of the Tobacco Factory.

The industrial building, formerly used for tobacco processing, is the product of technological advancement, the evolution and crisis of industrial production, economic events, and the profound and rapid transformations that have invested our society and territories in the last fifty years. The container, shrouded in the silence of abandonment, preserves the characters of the territory that hosts it and the stories of the men and women who have worked there: it is a trace of time that unites, seamlessly, present, past, and future.

Today, due to the abandonment in which the complex pours, the crumbling walls, the spontaneous vegetation in the yards that precede and follow it, the deterioration of the finishing and plant elements and the compromise of the structural elements make it fragile before the force of nature, which, advancing undisturbed, reappropriates the spaces and engulfs the industrial building, increa-

sing its vulnerability to the seismic event. In recent years, growing attention to the preservation of cultural heritage has contributed to the development of numerous theoretical and experimental studies on masonry buildings, few of which have focused on typical factory structures, of which there are considerable numbers throughout Italy.

Many of these buildings exhibit intrinsic seismic vulnerability, due to structural designs that are frequently unsuitable for seismic events and the characteristics of masonry, which exhibit markedly fragile behavior and low tensile strength. In fact, construction tradition and experience have led to the creation of structures characterized by technological solutions capable of withstanding, generally efficiently, vertical loads and meeting the functional (industrial) needs for which these buildings were originally constructed (single rooms with large floor plans and heights not typically found in masonry buildings).

These buildings also exhibit additional vulnerability, linked to the natural degradation of the materials, aggravated by poor maintenance and frequent decommissioning, as well as to various types of instability, the effects of which often compound over time if not properly addressed. Added to this are the effects of the transformations and interventions they have undergone, which, in the absence of appropriate operational methods, have



Fig.01 - The Presenzano Tobacco Factory and the hydrographic plain of the Volturno River (photo by the Authors).

Fig.02 - Tobacco Factory in Presenzano: south elevation and entrance from the Venafrana state road (photo by the Authors).



often produced negative consequences. In fact, for these structures there is a safety issue, it is therefore necessary to ensure that the structure has adequate seismic capacity both for public safety and for the maintenance of the asset, which generally has economic value. Furthermore, the need to preserve industrial sites is growing, which translates into ensuring their architectural, formal, and material integrity, through interventions that are, as far as possible, aimed at preserving the original structural role of the elements and that use materials compatible with those currently in place.

This type of buildings modeling is a topic of considerable interest for the scientific community because such constructions are irregular at different points in terms of the shape and material consistency of the blocks and are often also deteriorated by time and/or the attack of chemical substances.

Furthermore, modeling existing buildings requires a detailed preliminary multidisciplinary knowledge phase. The complexity of this topic is less well-known in the literature, as this process begins with historical research and moves through graphical (geometric) representation to arrive at structural modeling.

In the specific case study of the Tobacco Factory in Presenzano, the study made use of research conducted by some of the authors (Avella, Guadagnuolo, 2010), to date actualized using digital parametric modeling technologies from survey data. Recognizing the need for a multidisciplinary approach, the research methodology made use of internationally recognized BIM standards to construct a digital model shared between the disciplines of design and structures, integrating architectural and structural information.

Therefore, in line with the survey objectives related to the specific case study, the research defined the state of the art with reference to the digitization of industrial heritage already subject to scientific experiments that define international operating protocols aimed at defining survey methodologies for BIM modeling in different disciplines and for the application of standards

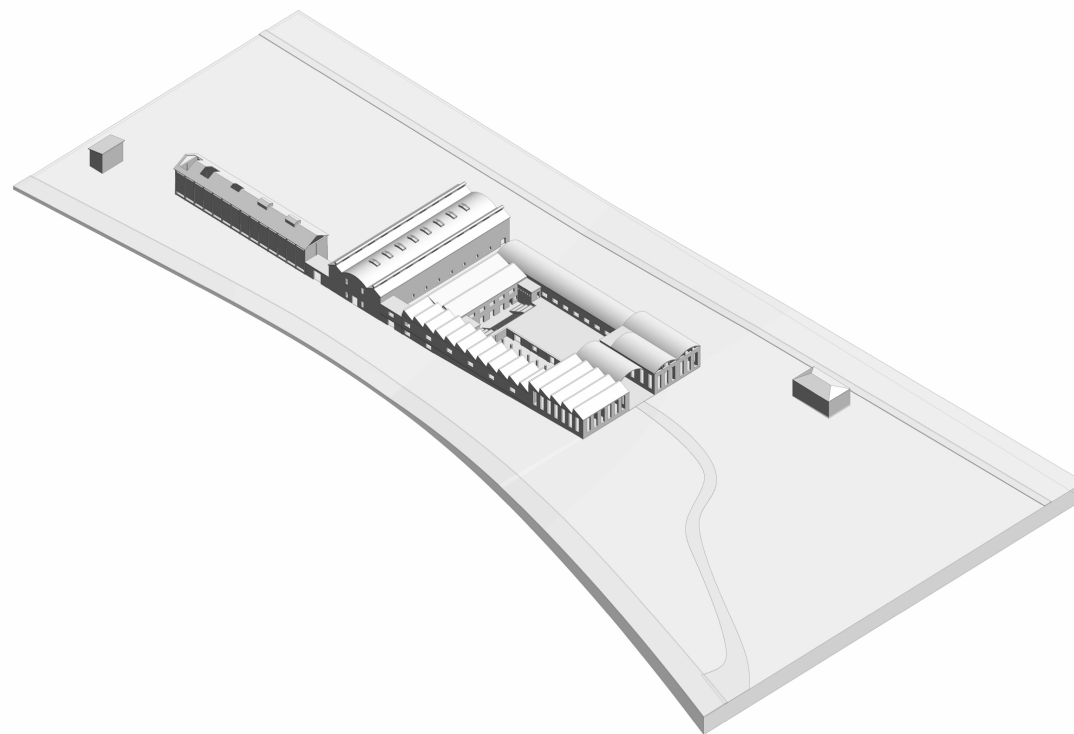


Fig.03 - Tobacco Factory in Presenzano: S-W Axonometric view of the factory and its spatial context extracted from the BIM model (model by the Authors).

for data interoperability among operators involved in the process of defining and constructing the model. In particular, some authors (Gürçanlı, Hartmann, 2024) present a critical analysis of federated modeling tools for both the architecture and structure of industrial buildings, with specific reference to risk scenarios and possible reuse interventions. The paper clearly describes the LOD of the model with explicit reference to interventions on industrial archaeology, with an application to gasometers. Other research (Bia-gini, Arslan, 2018) offers a significant examination of the relationship between buildings and urban regeneration through BIM strategies. The article provides interesting insights into the construction of a federated model between the architectural, structural, and plant engineering/

mechanical disciplines, both in the survey and diagnosis phase and in the design phase. The authors (Bertolini et al., 2014) use the BIM procedure to obtain a correct reading of the structural typology of the building and to identify possible design and construction principles, which are essential for the conservation project of the former Italcementi complex in Casale. Among the case studies presented, those relating to the 'Manifattura Tabacchi' in Arezzo and the former Italcementi complex in Casale offer an interesting comparison with the Tobacco Factory in Presenzano. Finally, the study of the Ex-Corradini industrial complex near Naples (Cotella, Galluccio, 2024) offers useful references for multi-scale integration between GIS and BIM, as well as 'code checking' and 'model checking' procedures for restoration work.

The first phase of the research carried out on the Tobacco Factory in Presenzano involved the construction of the geometric model from the digital survey dataset, making use of the protocols provided for the construction of a BIM model of an existing building.

The second phase to elevate the LOD of the BIM model integrated the aforementioned geometric model with parameters related to individual materials, not only in relation to graphical aspects but also in relation to physical characteristics.

The third phase involved the construction of the Tobacco Factory structural model, which, in analogy to other buildings of industrial archaeology, is characterized by large rooms, with high walls in which vertically extending openings locate slender septa, or in which there are large horizontal windows; sometimes, in more recent constructions, the continuity of the walls is interrupted by reinforced concrete curbs. In addition, arched systems, reinforced concrete large vaulted roofs, or metal or wooden trusses are often present, while intermediate decks are lacking.

This study also made use of the Autodesk Revit® platform because of its advantages for customizing and sharing parameters between architectural and structural disciplines.



Fig.04 - Tobacco Factory in Presenzano: plans at elevations 143.2 and 146.0 meters extracted from the BIM model showing the functional areas of the factory (model by the Authors).

THE BIM OF TOBACCO FACTORY IN PRESENZANO: FROM DISCRETE SURVEY DATA TO THE STE-REOMETRIC MODEL

The construction of the BIM model of the Tobacco Factory, following established procedures in a federated environment, integrated the geometric-dimensional survey data with those related to the physical-mechanical characteristics of the materials and structures acquired through in situ surveys and experimental tests. Given the deteriorated condition of the Tobacco Factory, which has been decommissioned for fifty years and is therefore devoid of any systems, MEP (mechanical, electrical, plumbing) information was not modeled.

Digital geometric survey activities were designed in relation to the LOD (level of development) that was intended to be achieved in parametric BIM modeling. In the specifics of this research, reference was made to the classification of LODs provided by the UNI 11337-3 standard, which stipulates for each digital object both the accuracy of each geometric attribute (LOG - level of geometry) and the nature, quantity, quality and stability of data and information (LOI - level of information) of the same object. In the definition of the LOD - consistent with the provisions of the aforementioned standard - the information goals necessary for the construction of the federated model, as well as the specific model uses, which could constitute time 0 for the definition of a 4D model for a simulation of the Tobacco Factory regeneration project (UNI, 2017; UNI, 2015).

The integrated digital survey of the disused factory was conducted with integrated real-based tools and methods (3D laser scanning, terrestrial and aerial photogrammetry, GNSS RTK topography). The georeferenced dataset flowed into the discrete model intended as a "digital twin" of the territorial reality at the date of the survey and at the real scale of the building, then translated into the parametric model in the BIM environment through procedures widely established in the field of reality-based 3D modeling of the built heritage (Nieto-Julián et al., 2025; Pepe et al., 2021)



Fig.05 - Tobacco Factory in Presenzano: raw product's acceptance and tobacco weighing room (photo by the Authors).

Fig.06 - Tobacco Factory in Presenzano: tobacco choice room (photo by the Authors).



Fig.07 - Tobacco Factory in Presenzano: drying room (photo by the Authors).

Fig.08 - Tobacco Factory in Presenzano: finished product storage room (photo by the Authors).

The main outcome of the integrated survey activities was the analysis of the spatial and morphological features of the industrial building in relation to the land orography and the overall context of the hydrographic plain of the upper-middle Volturno River.

Geometric modeling from the real scale of the "digital twin" to the architectural scale of the building was conducted through scan to BIM procedures (Banfi, 2017; Brumana et al. 2019), ensuring levels of geometric (LOG) and information datum (LOI) accuracy. These procedures guarantee the modeling with LOD C for the entire factory and deepening the granularity of the information datum up to LOD D for the part of building - intended for raw product acceptance and weighing located in the S-E - for which the experimentation related to the integration in the BIM model of the architectural and structural disciplines was carried out, till modeling the decorative details. The deepening of the BIM model to LOD C/D is what is required as information content by the UNI standard that provides for maintenance and management interventions of existing elements this level of detail and thus for parametric modeling from survey data.

The first phase was related to the processing of the Tobacco Factory geometric data in the BIM environment and - consistent with what was established by the operational protocols - included as a first activity the modeling of the land context extended to the area of the building footprint and to the portion of land included between the Venafrana road No. 85 to the west and the Isernia-Caianello railway line to the east and between the small building to the north and the access to the complex to the south. Information on the orography of that portion of the land, as well as that of the road and rail route, was taken from the Regional Technical Map, available in digital format (<https://sit2.regione.campania.it/node>).

The toposolid representative of the model of the portion of land was supplemented with the significant and absolute elevations inferred from the survey data and relating to floor levels of each interior room as well as of the exterior courtyards, as well as the levels of the inter-floors, where

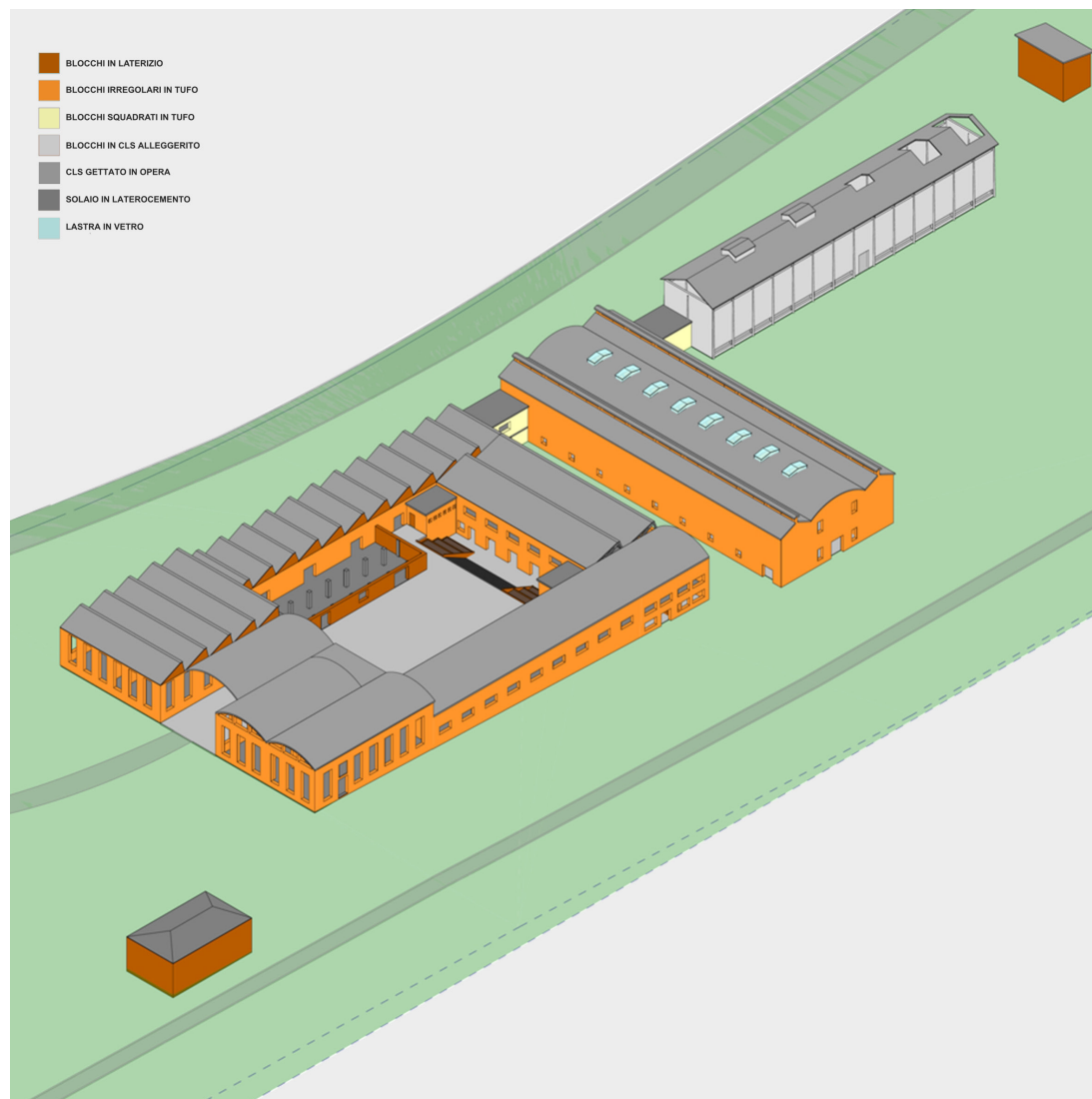


Fig.09 - Tobacco Factory in Presenzano: S-E Axonometric views of the factory with indication of materials and construction technologies stored in the BIM model (model by the Authors)..

present, and the levels of the roof structures. A reference level was anchored to each elevation. The levels, in accordance with a well-established approach in BIM methodology, constituted base and upper constraints for modeling the masonry partitions (of external closure and internal partitioning), as well as references for identifying horizontal-layered planes against which to constrain floors and roofs (Fig. 03).

For the purpose of modeling the entire complex and in relation to the masonry elements, comparing the survey data with those deduced from the 'in situ' investigations, these were classified and parameterized in relation to their overall thicknesses and of the main constituent material having sometimes also a structural function, similarly proceeded for the floors and the roofs. The modeling of the latter, given their varied geometric configuration, will be discussed in detail below.

Through the BIM model, the uses that the interior spaces had in the tobacco processing cycle from raw product acceptance to finished product storage were recorded according to a logical sequence of processing stages, and represented through the two significant horizontal sections at elevations 143.2 and 146.0 meters (Fig. 04).

Raw tobacco is transported to the factory by the Isernia-Caianello railroad network or the Venafrana no. 85 road that runs parallel to the building in a N-S direction. Once the processing is finished, the final product is loaded directly onto freight trains as evidenced by the absence of fencing along the rail line.

The BIM model returns the entire production flow through the following factory buildings that have spatial configurations and technological solutions consistent with the use for which they were intended and described below according to the sequence of processing stages.

The factory buildings dedicated to raw product and weighing and selection of the product and preparation of the frames for sewing the tobacco have a rectangular geometry with sides of 24.7 m and 21.3 m respectively and a height of 7.5 m. The walls have a thickness of 0.55 m. The masonry,

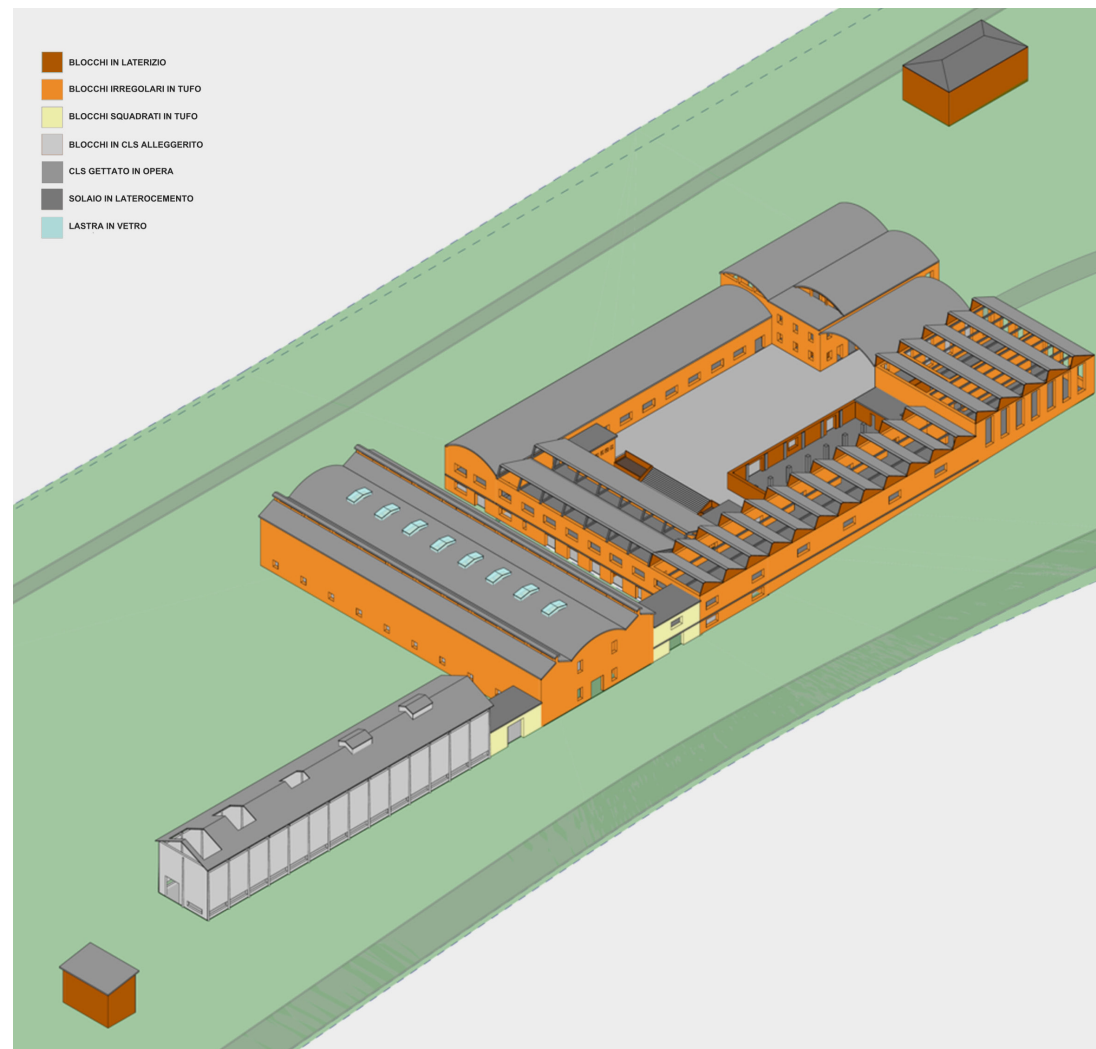


Fig.10 - Tobacco Factory in Presenzano: N-W Axonometric views of the factory with indication of materials and construction technologies stored in the BIM model (model by the Authors)..

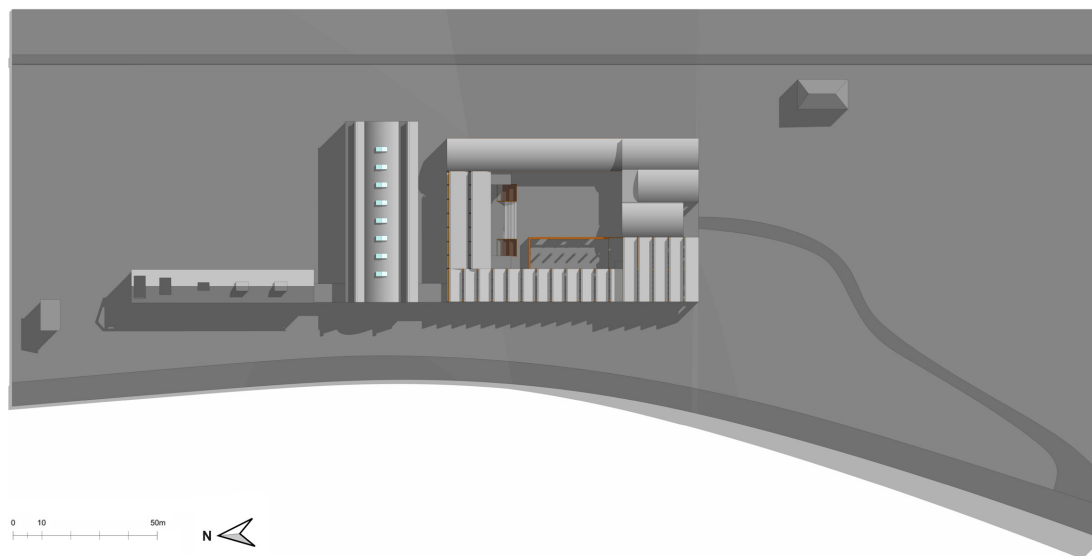


Fig.11 - Tobacco Factory in Presenzano: floor plan of the factory roofing systems extracted from the BIM model (model by the Authors).

of regular texture, is made of tuff stone with red brick battens (Fig. 05).

The two buildings that connect the rooms in which the stages of tobacco preparation take place were built at a later period than the main building. This is supported by the fact that these volumes have load-bearing masonry made of sawn tuff blocks, which implies the different temporal placement of the artifacts built around the original structure of the plant.

The canteen room, built with masonry technology similar to that of raw product acceptance, is the only one in the entire complex arranged on two levels: the first at an elevation of 144.8 m houses the product selection room; the second, basement at an elevation of 142 m, is occupied by the canteen and related technical rooms (Fig. 06). An external staircase provides access to the canteen directly from the courtyard in front.

The drying room has load-bearing masonry made of irregular tuff ashlars and horizontal recourses of pressed bricks that evenly distribute the load of the masonry (Fig. 07).

The building of the finished product storage room returns an interesting abacus of prefabricated components through a masonry set in place made of lightened concrete blocks alternating with pre-stressed concrete twin posts that act, with lightness and elegance, as the piers of the bays. The variable-section binned pole belongs as much to the landscape as a pylon supporting the high voltage lines that rhythmically scans the landscape in the guise of a totem pole, as it does to architecture as a supporting structure/footer in the pre-cast spans, emphasizing the rhythm of the vertical surfaces (Fig. 08).

THE BIM OF TOBACCO FACTORY IN PRESENZANO: FROM STEREOMETRIC MODEL TO MATERIALS CHARACTERIZATION

The phase following the stereometric modeling of the Tobacco Factory involved the integration of BIM with data on construction techniques and materials. While the modeling of newly constructed buildings mainly refers to system material databases, the construction of the BIM model of an existing building requires, in order to increase the granularity of information, the populating of the BIM platform's internal database with specific characterization data of materials and construction techniques peculiar to the time and place of construction of the building (Aversa et al. 2023; Nawrocka et al., 2023; Zerari et al, 2022; Historic England, 2019).

A large part of the industrial archaeology heritage consists of iron/cast iron, reinforced concrete, and masonry elements. In particular, the reinforced concrete structures frequently used as roofing were constructed using experimental technologies, showing today all the signs of rapid decay. BIM modeling must therefore achieve an adequate, higher level of detail, especially concerning the materials technical characteristics. This information can be obtained from in situ tests, including non-destructive ones (Bertolini Cestari et al., 2014), material sampling, and laboratory tests. However, for this purpose, the consultation of di-

rect documentary sources, if available (original project drawings, tender documents, price lists, technical and descriptive specifications, etc.) and indirect sources (treatises, contemporary technical manuals, journals) can be of great interest for extracting useful information for the implementation of the BIM model. (Biagini, Arslan, 2018).

In the specific case study of the BIM of the Tobacco Factory, the wide variety of technological and material solutions used for the wall faces required in some cases dedicated parametric modeling of the different materials. The materials database was populated with the data that emerged from the in situ investigations, classifying their parameters not only in relation to graphical and visualization aspects, but especially with reference to strength characteristics and where necessary also properties related to thermal behaviors. The storage of such data was done by transferring the data into a spreadsheet and programming a script for automatic transfer to the parametric modeler through visual programming by means of Dynamo (Jaya-singhe et al., 2020) and was a prerequisite for the construction of the federated model that integrated architectural data with those of a structural nature (Delpozzo et al. 2022; Djuedja et al. 2019; Matthews et al., 2018; Solihin, et al., 2016).

The attribution of materials to the individual masonry septa of the different plexuses of the building can be visualized in the figures 09 and 10, which also return this information for the purpose of the possible planning of the interventions needed for the structural and functional regeneration of the building.

The co-presence of the technological and formal component in the compositional choices is also reflected in the articulation of the horizontal structures, the typological choices of which also depend on the ventilation and lighting needs of tobacco processing (Fig. 11).

The wide range of formally different roofs, in terms of shape, technology and material, as well as of their load-bearing elements required specific modeling for each one, as it was not possible to draw on the modeler's internal or external databases.

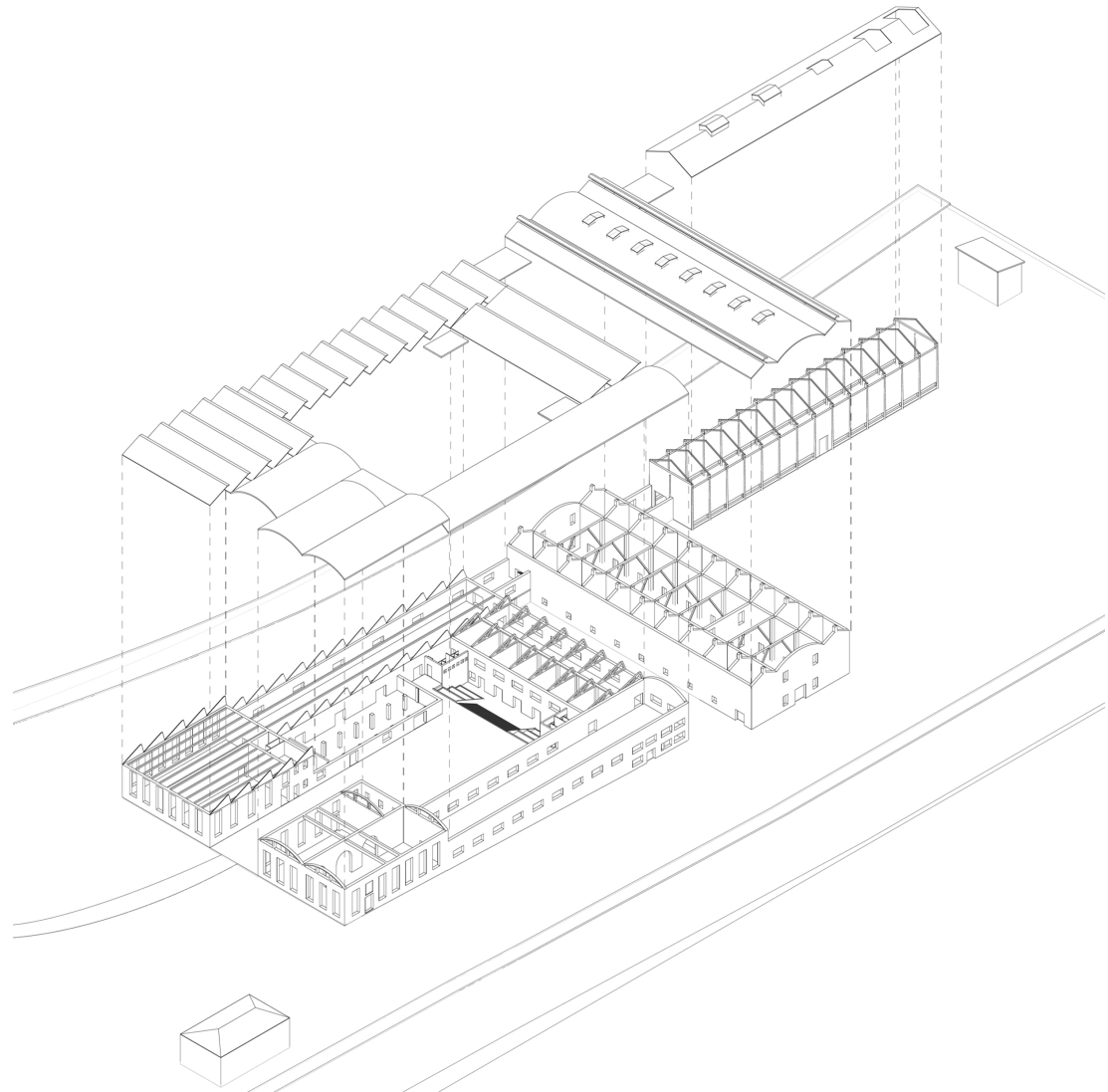


Fig.12 - Tobacco Factory in Presenzano: S-E axonometric exploded view of the factory extracted from the BIM model with evidence of the wall systems, roofs and their supporting elements (model by the Authors).

The roof of the product acceptance room consists of a reinforced concrete vault, 0.20 m thick, with an edge curb beam-also made of reinforced concrete-and steel transverse tie-rods placed at the impost height of the vault, the presence of which greatly reduces the pushing components of the roof load acting on the walls below.

The product selection and frame preparation rooms for tobacco stitching have single shed and double shed roofs.

The r.c. vault type roofing of the tobacco drying room replaced the original wooden truss that was destroyed in a fire, as evidenced by the presence of wooden beams and slots in the vertical wall for housing the truss strut.

The finished product storage room has a roof consisting of two T-beams trusses supporting prestressed concrete elements used as roofing tiles and a perimeter beam on the edge of the building body.

An initial classification of the roofs reveals the presence of flat roofs made of latero-cementitious floor slabs, double-pitched roofs with ventilation chimneys or skylights made of masonry or glass, shed roofs supported by linear or reticulated reinforced concrete beams, and cast-in-place concrete barrel vaults having a segmental arch as the guiding curve. With the exception of flat floors, all other roof types were digitally replicated through ad hoc local models made that would parametrically return their configuration through the construction of parameters representative of their constituent geometry. Parameters of a geometric-dimensional nature were subsequently supplemented with those related to the constituent materials and their characteristics. The open data model can also allow any subsequent integrations with data, for example, related to physical or maintenance data. Similar approach was used for modeling roof support elements having complex geometries. Specifically, through the construction of local models, it was possible to create digital clones of the wooden trusses that supported the previous roofing of the plexus intended for storage of the final product or the trusses supporting the double shed of the room in which the product

was chosen. Finally, it is noteworthy that the survey returned for the rooms facing the inner court and intended for product selection and preparation of frames for tobacco stitching the absence of roofing as a result of collapse. Although the data regarding the type of roofing was available to the authors from historical data and previous surveys of the complex, it was chosen not to model this element in order to return to the date the actual maintenance consistency of the Tobacco Factory, which to date records a degradation that mainly affects the structural system. Therefore, consistent with the objective of the present research aimed at the use of the BIM model for the planning of regeneration interventions (Fig. 12) of the Tobacco Factory, the construction of the federated BIM model of the Tobacco Factory was experimented starting with the modeling with LOD D of the building body located to the southeast and intended for the acceptance of raw product. The need for widespread regeneration of the vast heritage of industrial archaeology in the area led to the choice of this factory body because of its dimensional, formal and technological-structural similarities with other examples of factories. The outcomes of this experimentation may constitute a replicable demo in the other premises of the Tobacco Factory and by extension to other industrial complexes, till to the definition, through the integration with cartographic data of the territorial settlement of architectural buildings, of an integrated multi-scalar protocol applicable and replicable for the analysis and regeneration of manufacturing buildings.

The experimentation therefore required an implementation of additional geometric and informational data in order to build the federated model of the architectural and structural disciplines of the premises under investigation (Figg. 13-14). Specifically, the perimeter curbs were modeled at the different elevations and the stratigraphies of the wall partitions were deepened, recording for each of them the actual consistency of the load-bearing elements but also of the plaster finishes. The thicknesses of the different layers were deduced from the analysis and integration of data



Fig.13 - Tobacco Factory in Presenzano: the interiors of the raw product's acceptance and tobacco weighing room (photo by the Authors).

Fig.14 - Tobacco Factory in Presenzano: internal front of the raw product's acceptance and tobacco weighing room (photo by the Authors).

from the digital survey and from in situ investigations on wall portions for which the deterioration of the plaster finishes was found. For each layer, therefore, not only dimensional data but also mechanical properties were recorded, where necessary, as well as information about the material, its texture and coloring. In addition, all decorative devices related, for example, to the brick cornices placed on the sides of almost all the openings of the plexus were included in the model in order to achieve a high visual verisimilitude between reality and its twin. In the modeling phase, it was chosen not to return the closing elements such as doors, windows and glazing since where present they were completely weathered and irrelevant for structural modeling purposes (Fig. 15).

STRUCTURAL ANALYSIS OF FACTORY BUILDINGS

The broad and complex planimetric development of masonry buildings, the different behavior under the earthquakes action of walls, loaded on the plane, or orthogonally to it, the frequent inefficiency of the between walls joints and walls-slabs connection and the presence of pushing elements with the necessity to include any collapse mechanism, lead to numerical assessments often divided into two different phases. In fact, analysis can be carried out or on the whole structure, or on a portion of it and the assessment model, if using simplified procedures, is generally different varying the actions under assessment.

Global models have the advantage of describing the overall behavior of the building, the role played by each structural component, the interactions between the different parts of the building, and the distribution of horizontal actions among the resisting elements. Today, for historic buildings, finite element models are more reliable, but to provide reliable results, nonlinear analyses must be performed, with all the well-known implications on the inputs to be included and the difficulty of interpreting the results (Clementi et al., 2017; Giordano et al., 2002; Lagomarsino et al, 2004).

Local models, on the other hand, allow individual

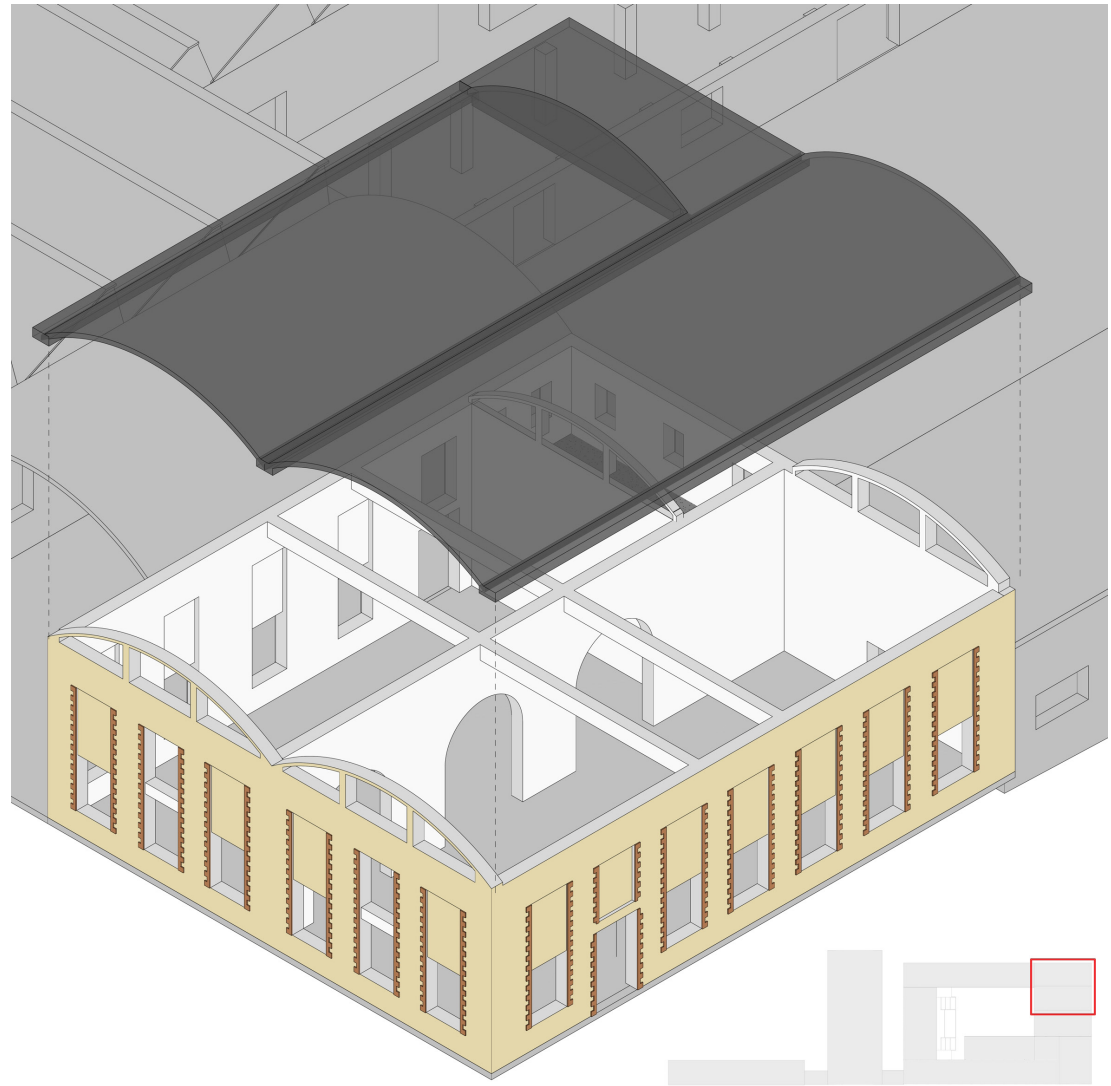


Fig.15 - Tobacco Factory in Presenzano: S-E axonometric exploded view of the acceptance of the raw product building extracted from the BIM model with evidence of the wall systems and decorative apparatus, roofs and their supporting elements, as well as materials (model by the Authors).

wall portions to be analyzed, sometimes using intuitive computational schemes close to constructive principles, and are now mainly used to control the activation of kinematics in walls loaded orthogonally to the plane, as they are not significantly affected by the response of the behavior of the whole building (Faella et al., 2007; Livesley, 1992; Giresini et al., 2016; Casapulla et al., 2011). The outcome of the carried out survey on the various factory buildings in the Campania territory shows that the shape in plan is almost rectangular, with the short side varying between ten and twenty meters (in some cases it can reach as high as fifty or eighty meters, but there are longitudinal walls that identify transverse structural spans of between ten and fifteen meters); the other dimension is highly variable, ranging from forty to sixty to eighty up to one hundred meters. Height, on the other hand, is almost standard, ranging from six to ten meters.

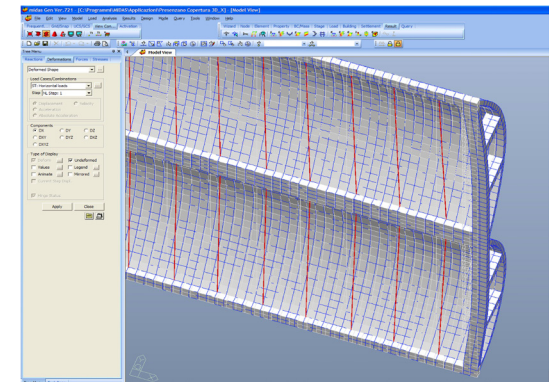
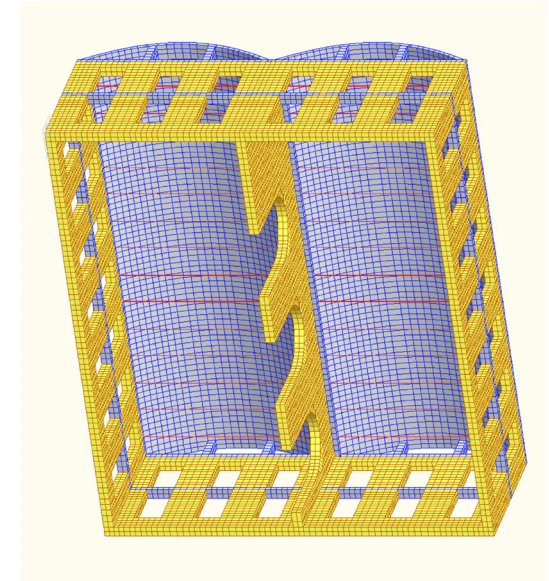
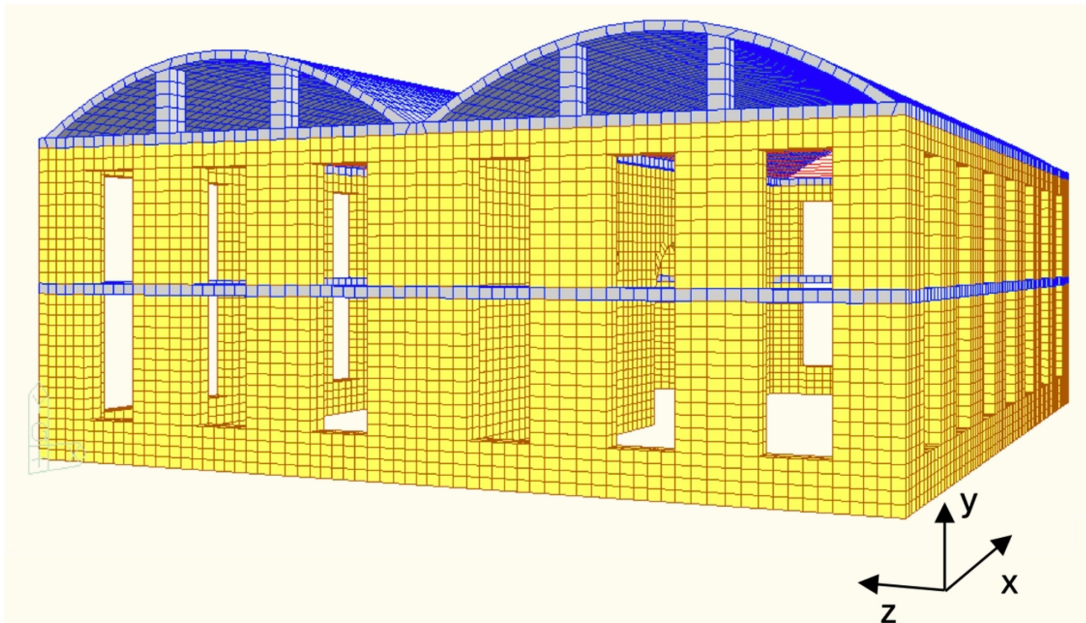
Perimeter walls generally are of five different types: walls that are completely blind, walls with high windows, walls with high double windows, walls with ribbon windows, and walls with central windows that are often arched. As already mentioned, reinforced concrete ring-beams are common, which are placed at about half the height of the wall structure of the building. The load-bearing structure is either entirely masonry or is of a mixed type with masonry perimeter walls and reinforced concrete framed interior structures. The roof is in different solutions: r.c. vaults, r.c. sheds, metal or wooden trusses.

Analysis of the overall behavior of masonry structures requires the use of three-dimensional structural models that can be easily imported from BIM models. In particular, digital models become essential in all cases where the geometries of structural elements are not simple, such as the roofs of these factory buildings.

Fig.16 - Tobacco Factory in Presenzano: the FEM model of the raw product's acceptance and weighing room (model by the Authors).

Fig.17 - Tobacco Factory in Presenzano: the FEM model of the raw product's acceptance and weighing room (model by the Authors).

Fig.18 - Tobacco Factory in Presenzano: the FEM model of the raw product's acceptance and weighing room (model by the Authors).



THE STRUCTURAL MODEL OF THE TOBACCO FACTORY IN PRESENZANO

The Tobacco Factory building dedicated to the acceptance of the raw product, has been appropriately selected from the buildings of the factory for reasons related to the similarities with other factories in the territory described in the previous paragraph.

The longitudinal walls, whose geometry was described above have a length of 24.7 m, a height of 7.5 m, and a thickness of 0.55 m, and have a regular alternation of eight wall baffles 1.6 m wide and vertical openings 1.7 m wide, which run for almost the entire height of the wall. At a height of 4 m from the ground, there is a reinforced concrete ring-beam, 50 x 25 cm section, reinforced with 4 bars ($\varnothing$ 12), which develops for the entire wall, continuing also on the transverse perimeter walls. The masonry, of regular texture, is tuff stone with red brick battens. The latter are also used as a vertical frame for the openings. The roof consists of a reinforced concrete vault, 0.2 m thick, with an ring-beam, also in reinforced concrete, and transverse steel tie-rods placed at the impost height of the vault, the presence of which greatly reduces the pushing components of the roof load acting on the walls below (Faella et al., 2007).

The structural analysis is performed using Midas © (Midas FEA, 1989) software, which provides a very extensive library of finite elements (truss, beam, wall, shell-plate, solid elements, all with multiple types of behavior). The management of all structural typologies is complete, and it is possible to activate or deactivate finite elements, constraints, material parameters, and loads at any stage, all without creating multiple files. Integration with Autodesk© Revit Structure provides the ability to import and export the 3D model. After creating the three-dimensional geometric model, the morphological consistency of the construction is derived, and through a fundamental transition from the geometric model to the structural model, it is possible to identify only the structural parts, for which a 3D mesh is created for structural analysis. With the Midas © (Midas

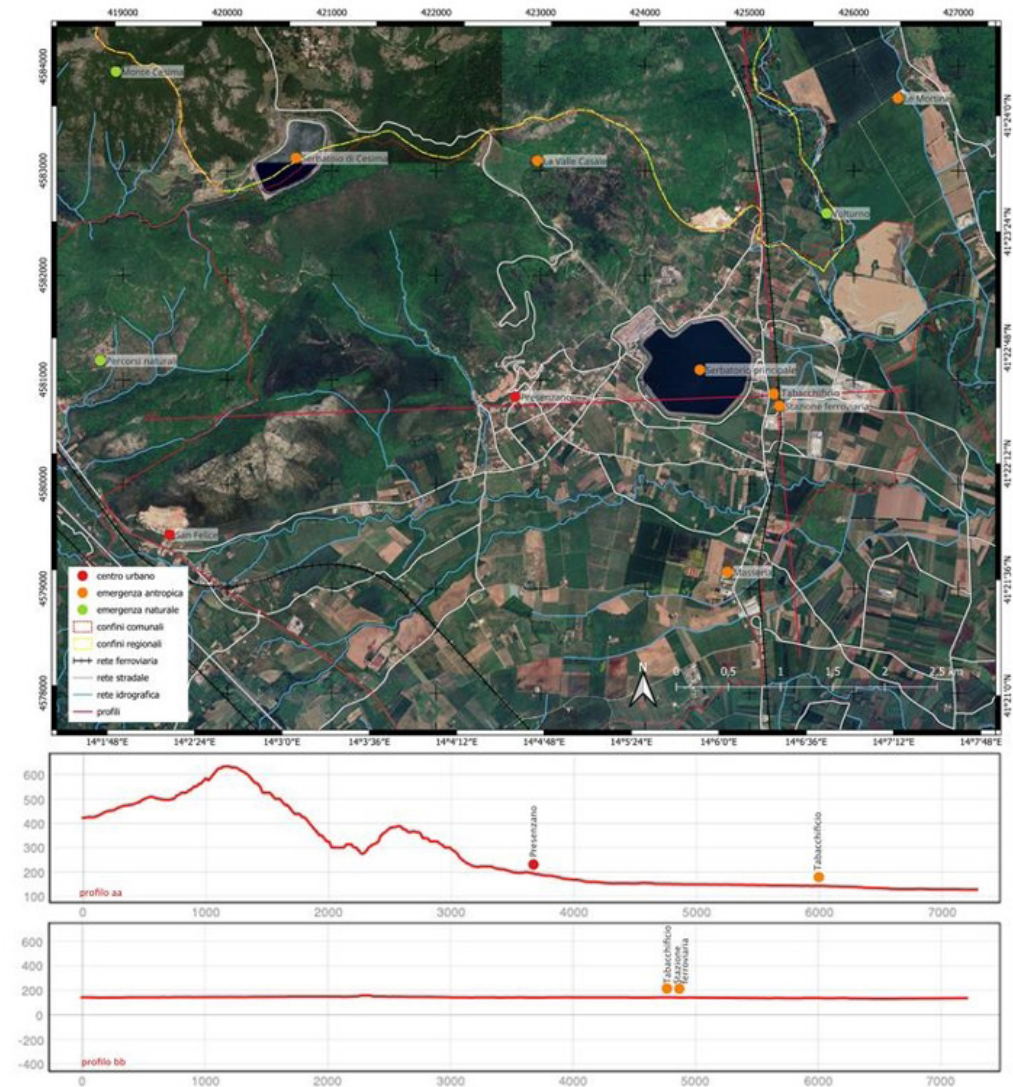


Fig.19 - Tobacco Factory in Presenzano and its spatial context: GIS-extracted cartography framed in the grids of the geographic and WGS84 UTM33N map coordinate systems and based on a satellite image; spatial profiles extracted from GIS through the Profile Tool plug-in (drawing by the Authors).

FEA, 1989) software, the structural elements were subsequently verified under varying load conditions, making it possible to highlight both the stress states and identify the masonry portions that are the site of stress concentration and the most critical situations.

The BIM methodology allows, first and foremost, for the rapid, precise, and effective construction (via computerization) of the 3D finite element structural model, using digital data from the geometric/structural survey. It also makes it possible to immediately modify individual structural components, assign mechanical properties to them, and complete the structural modeling with the arrangement of constraints and loads. Finally, it allows for virtual navigation of the structure's components to investigate and visualize the multiple aspects of the structural model.

BIM is the concrete method through which one can simultaneously contemplate the peculiarities of the architectural design of the structural part and the morphological component.

Figures 16 and 17 show two global views of the three-dimensional finite element model (FEM), from which it can be seen that the entire roof was also faithfully reproduced in all its constituent elements (vaults, beams-beams and r.c. plates, steel tie-rods). Both masonry walls and concrete elements are modeled with eight-node solid elements. In the model, the elements are colored differently according to the materials, masonry in yellow and reinforced concrete in gray.

The mechanical parameters assumed in the model are given below:

- elastic modulus of blocks $E_b = 1800 \text{ MPa}$
- elastic modulus of the mortar $E_j = 1500 \text{ MPa}$
- tensile strength of the blocks $f_{bt} = 0.25 \text{ MPa}$
- tensile strength of mortar $f_{jt} = 0.1 \text{ MPa}$
- concrete compressive strength $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$
- concrete elastic modulus $E_c = 28000 \text{ MPa}$
- steel yield strength $f_{yk} = 370 \text{ MPa}$.

Figure 18, instead, shows the detail of the roof finite element model, which is also separately studied because it has different behavior in the two x and z directions relating to its stiffness.

In particular, the evaluation of the roof horizontal

plane stiffness along the x-direction, confirmed that in this direction it can be considered somewhat stiff. Thus in the longitudinal x direction, the roof plays a minor role in the overall behavior of the building.

The transverse direction z, on the other hand, is characterized by the presence of only two perimeter walls, placed at a distance of more than 24 m and subject to modest roof loads. The behavior of the building is highly dependent on the roof because the evaluation of the roof stiffness in the horizontal plane confirmed that in this direction (z) the roof is to be considered deformable.

SCENARIOS FOR THE REGENERATION OF THE TOBACCO FACTORY IN PRESENZANO AND ITS TERRITORY: FROM THE ARCHITECTURAL SCALE OF THE FEDERATED BIM MODEL TO THE SPATIAL SCALE IN GIS ENVIRONMENT

The objective of defining regeneration scenarios of the Tobacco Factory in Presenzano made it necessary to extend the gaze also to the surrounding territorial reality by recording the anthropic and natural emergencies of the context (Okonta et al, 2024) to which they belong: these include the historic center and the archaeological area of Presenzano along the Via Latina, in which the remains of an aqueduct and the ruins of a Roman amphitheater are recognizable, the hydroelectric plant strategically built by Enel in a barycentric position with respect to the energy poles of Rome and Naples, the farms that rhythmically mark the hydrographic plain of the Volturno and the adjacent Presenzano station, currently in disuse.

The spatial data contribute to defining the design scenarios for the regeneration of the building, which, as is customary for disused industrial buildings, is characterized by a strong adaptability in addition to being equipped with the necessary urbanization works and is located close to transport lines and junctions, conditions that make it advantageous to re-functionalize it, both for economic and environmental reasons.

Spatial information was archived through a GIS

project, ad hoc made using the open source software QGIS and spatial data, also freely available. The digital layers both raster and vector inserted into the spatial model contain data on: the complex orography of the territory represented through a digital elevation model (DEM) with 20m ground resolution; the actual texture of the territory as of the date visible through a satellite image; the administrative subdivision of regions and municipalities; the main roadways, railway line and hydrography of the territory. These data were supplemented by a vector layer of points containing the geographical location of the main natural and man-made emergencies and an attribute table recording their main descriptive information. Specific DEM processing enabled the extraction of vertical profiles through which to read the privileged position of the Tobacco Factory in relation to the spatial context (Fig. 19).

DISCUSSION OF RESULTS

Since the degradation conditions in the Presenzano Tobacco Factory primarily affect the structural system, the construction of the industrial building's federated BIM system was tested starting from the LOD D modeling of the building under consideration.

In particular, the structural analysis conducted on the body located to the south-east and intended for the acceptance of the raw product showed that the structural behavior is significantly dependent on the type of roof, and specifically on its stiffness in the horizontal plane.

BIM modeling for Finite Element Analysis (FEA) consistently captures the geometric complexity of existing constructions; thus, the finite element model reflects all the geometric irregularities of the structural elements (Cardaci et al., 2011). In this case study, the adoption of such a modeling approach made it possible to overcome the limitations of traditional structural simulation based on regular elements and simplified shapes, using a refined simulation that better adheres to the structure as-built condition. Furthermore, this

BIM modeling, by including geometric aspects along with structural considerations, allows for the replication of building elements and their mutual interaction (Barazzetti et Al., 2015).

Alternatively, if preferring simplified models, in situations like those under examination it would still be necessary to preliminarily analyze the behavior of the roof starting from the BIM model, extracting the averagesurface of the volume of the roof vaults to build the relevant 2D finite element model. This model allows for the evaluation of stiffness on the horizontal plane and thus the definition of any elements to be included in the simplified global model to correctly simulate the roof's role in the overall building response. Therefore, resorting to the use of BIM modeling would still be necessary, at least for the roof only.

CONCLUSIONS

The BIM model created in the federated architectural and structural environment records the consistency of the Tobacco Factory as of the date of the survey and in situ investigations, constituting a digital documentary platform of indispensable value for the regeneration activities of the factory. Design activities in BIM by means of the higher than geometric level dimensions could make use of the large amount of data acquired, processed and modeled to record a reconversion hypothesis by integrating at the architectural scale the structural and construction information with the MEP design information and at the cartographic scale the spatial information through an integrated GIS-BIM model.

The analysis conducted on the building of the Presenzano Tobacco Factory intended for product acceptance confirms the validity of optimizing the structural modeling process starting from the geometric model in a BIM environment. Existing buildings in archaeological-industrial areas are presented, through BIM, with three-dimensional structural models that respect the spatial proportions and the material and mechanical components of each building element.

This paper aims to move towards the realization of a complete integrated structural digital modeling process, characterized by having a single digital historical document on which to upload the data and operations to be carried out (both for the representation of the as-built condition and for the recovery of the pre-existing structure).

This integrated parametric model also can be configured as a tool to support construction site activities, planned maintenance of interventions and facility management.

The construction of the multi-scalar, architectural (BIM) and cartographic (GIS) model of the Tobacco Factory will interest the continuation of the research, contributing to the definition of a digital modeling protocol in a federated environment applicable to the specific typology of industrial archaeology buildings with similar construction characteristics and, by virtue of its flexibility, extendable to other manufacturing buildings.

The authors designed the research and shared its methodology and contents. In particular, the paragraph entitled "The BIM of Tobacco Factory in Presenzano: from discrete survey data to the stereometric model" is edited by Nicola Pisacane, the paragraph entitled "The BIM of Tobacco Factory in Presenzano: from stereometric model to materials characterization" is edited by Alessandra Avella, the paragraphs entitled "Structural analysis of factory buildings" and "The structural model of the Tobacco Factory in Presenzano" are edited by Mariateresa Guadagnuolo and the paragraph "Scenarios for the regeneration of the Tobacco Factory in Presenzano and its territory: from the architectural scale of the federated BIM model to the spatial scale in GIS environment" is edited by Nicola Pisacane and Alessandra Avella. Introduction, Discussion of results and Conclusions are edited by all the authors.

Il modello federato BIM per la rigenerazione degli edifici di archeologia industriale. Il caso studio del Tabacchificio di Presenzano

ABSTRACT

Il presente paper introduce un'attività di ricerca multidisciplinare tra l'ambito del disegno e quello delle strutture con particolare riferimento ad un'applicazione nel contesto dell'archeologia industriale. Lo studio ha interessato la costruzione del modello BIM a partire dai dati di rilievo geometrico e strutturale del Tabacchificio di Presenzano progettato dall'ing. Pietro Lucci nel 1952 e dismesso da più di cinquant'anni. Obiettivo della ricerca è costruire un modello federato BIM, che integrando nel modellatore parametrico le informazioni geometriche e dimensionali con i dati relativi alle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali e delle strutture emersi dalle prove sperimentali, si pone come archivio per la conoscenza dell'opera e come strumento di supporto per il progetto di rigenerazione in tutte le sue fasi. Nel caso specifico di applicazione al campo dell'archeologia industriale, il modello BIM è un impre-

scindibile ausilio alla simulazione del progetto, che viste le condizioni in cui versa il Tabacchificio di Presenzano con volumi in gran parte crollati, permette di ipotizzare scenari di riuso strutturale e funzionale dell'opificio nello specifico contesto territoriale che lo accoglie, le cui caratteristiche sono state archiviate, secondo la consolidata tecnica di rappresentazione cartografica digitale, in un progetto GIS strutturato ad hoc. Il Tabacchificio ed il suo contesto sono stati modellati dalla scala architettonica a quella geografica mediante procedure BIM to GIS.

INTRODUZIONE

Il Tabacchificio di Presenzano è situato nella piana idrografica dell'alto-medio Volturno, un corridoio ambientale storicamente rilevante delimitato dalle propaggini dei due massicci del Matese a sud-est e del sistema delle Mainarde a sud-ovest e dal

Parco Nazionale dell'Abruzzo, tra la linea ferroviaria Isernia-Caianello e la strada statale Venafra (Figg. 01-02).

L'opificio, progettato dall'ingegnere Pietro Lucci nel 1952 e dismesso dopo un ventennio di attività, pur presentando un impianto passibile di notevole impatto sul territorio per la considerevole volumetria dei corpi di fabbrica che lo costituiscono, si inserisce bene nel paesaggio circostante in virtù delle caratteristiche architettoniche e formali che lo contraddistinguono.

L'impianto è organizzato spazialmente e funzionalmente in assoluta aderenza ai connessi processi di lavorazione del prodotto, dalla trasformazione nei corpi più bassi all'essiccazione in quelli di maggiore altezza, integrando armonicamente soluzioni di tipo tradizionale - legate alla disponibilità di materiali e tecniche locali - con soluzioni tecnologicamente più avanzate e innovative ai tempi della realizzazione del Tabacchificio.

L'edificio industriale, destinato in passato alla

lavorazione del tabacco, è il prodotto dell'avanzamento tecnologico, dell'evoluzione e crisi della produzione industriale, delle vicende economiche e delle profonde e rapide trasformazioni che hanno investito la nostra società ed i territori negli ultimi cinquant'anni. Il contenitore, avvolto nel silenzio dell'abbandono, custodisce i caratteri del territorio che lo accoglie e le storie degli uomini e delle donne che vi hanno lavorato: è una traccia del tempo che unifica, senza soluzione di continuità, presente, passato e futuro.

Oggi, a causa dell'abbandono nel quale il complesso versa, i muri sbriciati, la vegetazione spontanea nei piazzali che lo precedono e lo seguono, il degrado degli elementi di finitura ed impiantistici e la compromissione degli elementi strutturali, lo rendono fragile dinanzi alla forza della natura che, avanzando indisturbata, si riappropria degli spazi e fagocita l'impianto aumentandone la vulnerabilità sismica.

La crescente attenzione verso la conservazione del patrimonio culturale ha portato, negli ultimi anni, allo sviluppo di numerose ricerche teoriche e sperimentali riguardanti le costruzioni in muratura, poche delle quali hanno riguardato le strutture tipiche degli opifici, presenti in numero considerevole sul territorio nazionale.

Molte di queste costruzioni presentano una vulnerabilità sismica intrinseca, dovuta a schemi strutturali frequentemente non idonei a fronteggiare eventi sismici ed alle caratteristiche della muratura, dal comportamento marcatamente fragile e dalla bassa resistenza a trazione. La tradizione costruttiva e l'esperienza hanno, infatti, portato alla realizzazione di strutture caratterizzate da soluzioni tecnologiche in grado di contrastare, in genere con efficienza, i carichi verticali e di rispondere alle esigenze funzionali (industriali) per cui queste costruzioni venivano realizzate (locali singoli ad ampia estensione planimetrica con altezze non propriamente tipiche delle costruzioni murarie).

Queste costruzioni presentano anche una vulnerabilità aggiunta, connessa ad un degrado naturale dei materiali, aggravato dalla scarsa manutenzione e dalla frequente dismissione, come pure a dissesti di varia natura, i cui effetti vanno spesso a sommarsi nel tempo se non opportunamente

contrastati.

A questo vanno aggiunti gli effetti dovuti alle trasformazioni ed agli interventi cui sono state oggetto, che spesso, in assenza di metodologie operative adeguate, hanno prodotto conseguenze negative.

Per questi manufatti, infatti, esiste un problema di sicurezza, occorre quindi garantire che la struttura abbia una adeguata capacità sismica sia per la salvaguardia dell'incolumità pubblica, sia per il mantenimento del bene, in genere dotato di valenze economiche.

Peraltro, si sta diffondendo l'esigenza di conservazione dei siti industriali, che si traduce nel garantirne l'integrità architettonica, formale e materiale, attraverso interventi che siano, per quanto possibile, mirati a preservare il ruolo strutturale originale degli elementi e che utilizzino materiali compatibili con quelli in opera.

La modellazione di questo tipo di edifici è un argomento di interesse notevole per la comunità scientifica in quanto tali costruzioni risultano in differenti punti irregolari per forma e consistenza materica dei blocchi e spesso sono anche deteriorate dal tempo e/o dall'attacco di sostanze chimiche.

Inoltre, la modellazione degli edifici esistenti richiede una fase di conoscenza multidisciplinare preliminare dettagliata. La complessità di questo argomento è meno nota in letteratura in quanto questo percorso parte dalle ricerche storiche e passa attraverso la rappresentazione geometrica per arrivare alla modellazione strutturale.

Nella specifica applicazione al Tabacchificio di Presenzano lo studio si è avvalso di ricerche condotte da alcuni degli autori (Avella, Guadagnuolo, 2010), ad oggi attualizzate avvalendosi delle tecnologie digitali di modellazione parametrica a partire da dati di rilievo. La metodologia di indagine, riconoscendo la necessità di un approccio conoscitivo multidisciplinare, si è avvalsa degli standard BIM riconosciuti a livello internazionale per la costruzione di un modello digitale condiviso tra le discipline del disegno e delle strutture che integrasse le informazioni architettoniche e quelle strutturali.

Pertanto, coerentemente con le finalità di indagine connesse allo specifico caso studio, la ricerca

ha definito lo stato dell'arte con riferimento al tema della digitalizzazione del patrimonio industriale già oggetto di sperimentazioni scientifiche che definiscono a livello internazionale protocolli operativi volti a definire metodologie di indagine per la modellazione BIM in diverse discipline e per l'applicazione degli standard per l'interoperabilità dei dati tra gli operatori coinvolti nel processo di definizione e costruzione del modello. In particolare, alcuni autori (Gürçanlı, Hartmann, 2024) presentano un'analisi critica degli strumenti di modellazione federata tanto architettonica quanto strutturale degli edifici industriali con specifico riferimento agli scenari di rischio e ai possibili interventi di riuso. Il paper ben descrive i LOD del modello con esplicito richiamo agli interventi sull'archeologia industriale, con un'applicazione ai gasometri. Altre ricerche (Biagini, Arslan, 2018) propongono una significativa disamina del rapporto tra edificio e recupero del contesto urbano attraverso strategie BIM. L'articolo fornisce interessanti spunti per la costruzione del modello federato tra le discipline architettonica, strutturale e impiantistica/meccanica, tanto in fase di rilievo e diagnosi, quanto di progetto. Gli Autori (Bertolini et al., 2014) utilizzano la procedura BIM per ottenere una corretta lettura della tipologia strutturale dell'edificio e l'individuazione di possibili principi progettuali e costruttivi, essenziali per il progetto di conservazione dell'ex complesso Italcementi di Casale. Tra i casi di studio presentati, quello relativo alla "Manifattura Tabacchi" di Arezzo e l'ex complesso Italcementi di Casale offrono un interessante elemento di paragone con il Tabacchificio di Presenzano. Infine, lo studio del complesso industriale dell'Ex-Corradini presso Napoli (Cotella, Galluccio, 2024) offre utili riferimenti per l'integrazione multiscalare tra GIS e BIM, oltre che delle procedure di "code checking" e "model checking" per gli interventi di recupero. La prima fase della ricerca condotta sul Tabacchificio di Presenzano ha interessato la costruzione del modello geometrico a partire dal set di dati di rilievo digitale avvalendosi dei protocolli previsti per la costruzione di un modello BIM di un edificio esistente.

La seconda fase al fine di elevare il LOD del modello BIM ha integrato il modello geometrico suddetto

con i parametri connessi ai singoli materiali non solo in relazione ad aspetti grafici ma anche in rapporto alle caratteristiche fisiche.

La terza fase ha riguardato la costruzione del modello strutturale del Tabacchificio che in analogia ad altre costruzioni di archeologia industriale è caratterizzato da grandi aule, con pareti alte in cui aperture ad estensione verticale individuano setti snelli, o in cui sono presenti ampie finestrate orizzontali; talvolta, nelle costruzioni più recenti, la continuità delle pareti è interrotta da cordoli in c.a. Sono, inoltre, spesso presenti sistemi ad arco, grandi coperture a volta in calcestruzzo armato o in capriate metalliche o in legno, mentre mancano impalcati intermedi.

Lo studio in oggetto si è avvalso della piattaforma Autodesk Revit® anche per i vantaggi offerti per la personalizzazione e condivisione dei parametri tra le discipline architettoniche e strutturali.

IL BIM DEL TABACCHIFICIO DI PRESENZANO: DAI DATI DISCRETI DI RILIEVO AL MODELLO STEREO-METRICO

La costruzione del modello BIM del Tabacchificio secondo le consolidate procedure in ambiente federato ha integrato i dati geometrico-dimensionali di rilievo con quelli relativi alle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali e delle strutture acquisiti attraverso indagini in situ e prove sperimentali. Viste le condizioni di degrado del Tabacchificio, dismesso da cinquant'anni e pertanto privo di qualsiasi sistema impiantistico, le informazioni MEP (mechanical, electrical, plumbing) non sono state modellate.

Le attività di rilevamento geometrico strumentale sono state progettate in relazione al LOD (level of development) che si intendeva raggiungere nella modellazione parametrica BIM. Nello specifico della ricerca in oggetto si è fatto riferimento alla classificazione dei LOD previsti dalla normativa UNI 11337-3 che prevede per ciascun oggetto digitale tanto la precisione di ciascun attributo geometrico (LOG – level of geometry), quanto la natura, la quantità, la qualità e la stabilità dei dati e delle informazioni (LOI – level of information) dello stesso oggetto. Nella definizione del LOD,

coerentemente a quanto prevede la succitata norma, hanno concorso anche gli obiettivi informativi necessari per la costruzione del modello federato, così come gli specifici usi del modello (model uses), che potrebbe costituire il tempo 0 per la definizione di un modello quadridimensionale per una simulazione del progetto di rigenerazione del Tabacchificio (UNI, 2017; UNI, 2015).

Il rilievo digitale integrato dell'opificio dismesso è stato condotto con strumenti e metodiche real-based integrate (scansione laser 3D, fotogrammetria terrestre ed aerea, topografia RTK GNSS). Il set di dati georeferito è confluito nel modello discreto inteso come "clone digitale" della realtà dei luoghi alla data del rilevamento e alla scala naturale dell'edificio, poi tradotto nel modello parametrico in ambiente BIM attraverso procedure ampiamente consolidate nel campo della modellazione 3D reality based del patrimonio edilizio (Nieto-Julían et al., 2025; Pepe et al., 2021)

Le attività di rilievo integrate hanno avuto come esito principale l'analisi degli aspetti spaziali e morfologici dell'edificio industriale in relazione all'orografia del territorio ed al contesto complessivo della piana idrografica dell'alto-medio Volturino.

La modellazione geometrica dalla scala naturale del "clone digitale" a quella architettonica dell'opificio è stata condotta mediante procedure scan to BIM (Banfi 2017; Brumana et al. 2019), assicurando livelli di accuratezza geometrica (LOG) e del dato informativo (LOI), garantendo il raggiungimento di un modello con LOD C per l'intero opificio e approfondendo la granularità del dato informativo fino al LOD D per il corpo di fabbrica destinato ad accettazione del prodotto grezzo e pesatura posto a sud-est per il quale è stata effettuata la sperimentazione relativa all'integrazione nel modello BIM delle discipline architettonica e strutturale, modellando per tale corpo fino ai dettagli decorativi. L'approfondimento del modello BIM al LOD C/D è quanto richiesto come contenuto informativo dalla norma UNI che prevede per gli interventi di manutenzione e gestione di elementi esistenti tale livello di dettaglio e quindi per la modellazione parametrica a partire da dati di rilievo. La prima fase relativa alla restituzione dei dati geometrici del Tabacchificio in ambiente BIM

coerentemente a quanto stabilito dai protocolli operativi ha previsto come prima attività la modellazione del contesto territoriale estesa all'area di sedime dell'edificio e alla porzione di suolo compresa tra la strada Venafrana n. 85 ad ovest e la linea ferroviaria Isernia-Caianello ad est e tra il piccolo edificio a nord e l'accesso al complesso a sud. Le informazioni relative all'orografia di tale porzione di terreno, così come quelle del tracciato stradale e ferroviario sono state desunte dalla Carta Tecnica Regionale, disponibile in formato digitale (<https://sit2.regione.campania.it/node>).

Il toposolito rappresentativo del modello della porzione di territorio è stato integrato con le quote altimetriche significative e assolute desunte dai dati di rilievo e relative a piani di calpestio di ciascuna aula interna così come dei cortili esterni, nonché dei livelli dei solai interpiano, laddove presenti, e dei piani di imposta delle strutture di copertura. A ciascuna quota è stato ancorato un livello di riferimento. I livelli, secondo un approccio consolidato nella metodologia BIM, hanno costituito vincoli di base e superiore per la modellazione dei setti murari (di chiusura esterna e di partizione interna), nonché riferimenti per l'individuazione di piani a giacitura orizzontale rispetto ai quali vincolare piani di calpestio e coperture (Fig. 03).

Ai fini della modellazione dell'intero complesso e relativamente agli elementi murari, comparando i dati di rilievo con quelli desunti dalle indagini in situ, questi sono stati classificati e parametrizzati in relazione ai loro spessori complessivi e del materiale costitutivo principale avente talvolta anche funzione strutturale, analogamente si è proceduto per gli orizzontamenti e per le coperture. La modellazione di queste ultime, vista la loro variegata configurazione geometrica, sarà di seguito trattata in dettaglio.

Attraverso il modello BIM sono state registrate le destinazioni d'uso che gli spazi interni avevano nel ciclo di trasformazione del tabacco dall'accettazione del prodotto grezzo al deposito del prodotto finito secondo una logica sequenza delle fasi di lavorazione, e rappresentate attraverso le due significative sezioni orizzontali alle quote 143,2 e 146,0 metri (Fig. 04).

Il tabacco grezzo è trasportato nell'opificio dalla rete ferroviaria Isernia-Caianello o dalla strada

Venafrana n. 85 che si snodano parallelamente all'edificio in direzione nord-sud. Terminato il processo di lavorazione, il prodotto finito viene caricato direttamente sui treni merci come è testimoniato dall'assenza di recinzione lungo la linea ferroviaria.

Il modello BIM restituisce l'intero flusso produttivo attraverso i seguenti corpi di fabbrica che presentano configurazioni spaziali e soluzioni tecnologiche coerenti con l'uso ai quali erano destinati e descritti di seguito secondo la sequenza delle fasi di lavorazione.

I corpi di fabbrica dedicati all'accettazione e pesatura e di scelta del prodotto e di preparazione dei telai per la cucitura del tabacco hanno una geometria rettangolare con i lati rispettivamente di 24,7 m e 21,3 m ed un'altezza di 7,5 m. Le pareti hanno uno spessore di 0,55 m. La muratura, di tessitura regolare, è in pietra di tufo con listature in mattoni rossi (Fig. 05).

I due volumi che collegano i locali nei quali si svolgono le fasi di preparazione del tabacco sono stati realizzati in un periodo successivo a quello del corpo di fabbrica principale. Ciò viene avvalorato dal fatto che tali volumi presentano una muratura portante in blocchi di tufo segati che sottende la diversa collocazione temporale dei manufatti costruiti intorno alla struttura originaria dell'impianto.

Il locale mensa, realizzato con tecnologia muraria analoga a quella di accettazione del prodotto grezzo, è l'unico dell'intero plesso disposto su due livelli: il primo a quota 144,8 m ospita il locale di scelta del prodotto; il secondo, seminterrato a quota 142 m, è occupato dalla mensa e dai relativi locali tecnici (Fig. 06). Una gradonata esterna consente l'accesso alla mensa direttamente dalla corte antistante.

Il locale essiccamento presenta una muratura portante in conci di tufo irregolari e ricorsi orizzontali di mattoni pressati che distribuiscono in modo uniforme il carico della muratura (Fig. 07).

Il corpo di fabbrica del locale deposito del prodotto finito restituisce un interessante abaco di componenti prefabbricati attraverso una muratura posta in opera realizzata con blocchi di calcestruzzo alleggeriti alternata a pali binati in calcestruzzo precompresso che fungono, con leggerezza ed

eleganza, da piedritti delle campate. Il palo binato a sezione variabile appartiene tanto al paesaggio come traliccio di sostegno delle linee A.T. che scansiona ritmicamente il paesaggio a guisa di totem, quanto all'architettura come struttura portante/piedritto nelle campate prefabbricate sottolineando il ritmo delle superfici verticali (Fig. 08).

IL BIM DEL TABACCHIFICIO DI PRESENZANO DAL MODELLO STEREOMETRICO ALLA CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

La fase successiva alla modellazione stereometrica del Tabacchificio ha interessato l'integrazione del BIM con i dati relativi alle tecniche costruttive e ai materiali. Se per la modellazione degli edifici di nuova costruzione si fa principalmente riferimento alle banche dati dei materiali di sistema, per la costruzione del modello BIM di un edificio esistente è richiesto, al fine di aumentare la granularità dell'informazione, il popolamento del database interno alla piattaforma BIM con specifici dati di caratterizzazione dei materiali e delle tecniche costruttive proprie del tempo e dei luoghi di costruzione dell'edificio (Aversa et al. 2023; Nawrocka et al., 2023; Zerari et al., 2022; Historic England, 2019).

Gran parte del patrimonio di archeologia industriale è costituito da elementi in ferro/ghisa, calcestruzzo armato e muratura. In particolare, le strutture in cemento armato utilizzate frequentemente come coperture sono state realizzate con tecnologie sperimentali, che oggi mostrano tutti i segni di un rapido degrado. La modellazione BIM deve quindi raggiungere un adeguato livello di dettaglio più alto, soprattutto sulle caratteristiche tecniche dei materiali. Queste informazioni possono essere desunte da prove in situ, anche non distruttive (Bertolini Cestari et al., 2014), prelievi di materiali e prove di laboratorio. Tuttavia, a tal fine, la consultazione di fonti documentarie dirette, se disponibili (disegni di progetto originali, documenti di gara, listini prezzi, specifiche tecniche e descrittive, ecc.) e indirette (trattati, manuali tecnici coevi, riviste) può essere di grande interesse per estrarre informazioni utili per l'implementazione del modello BIM. (Biagini, Arslan, 2018).

Nello specifico caso studio del BIM del Tabacchificio, l'ampia varietà di soluzioni tecnologiche e materiche impiegate per i paramenti murari, ha richiesto in taluni casi una modellazione parametrica dedicata dei differenti materiali. Il database dei materiali è stato popolato con i dati emersi dalle indagini in situ, classificandone i parametri non solo in relazione ad aspetti grafici e di visualizzazione, ma soprattutto con riferimento alle caratteristiche di resistenza e laddove necessario anche le proprietà relative ai comportamenti termici. L'archiviazione di tali dati è stata effettuata trasferendo i dati in un foglio di calcolo e programmando uno script per il trasferimento automatico al modellatore parametrico, attraverso la programmazione visuale per mezzo di Dynamo (Jayasinghe et al., 2020) e ha costituito una premessa irrinunciabile per la costruzione del modello federato che integrasse dati architettonici con quelli di natura strutturale (Delpozzo et al. 2022; Djuedja et al. 2019; Matthews et al., 2018; Solihin, et al., 2016).

L'attribuzione dei materiali ai singoli setti murari dei diversi plessi dell'opificio è visualizzabile nelle figure 09 e 10 che restituiscono tale informazione anche ai fini della possibile programmazione degli interventi necessari per la rigenerazione strutturale e funzionale dell'opificio.

La compresenza della componente tecnologica e formale nelle scelte compositive trova riscontro anche nell'articolazione delle strutture orizzontali, le cui soluzioni tipologiche dipendono anche dalle necessità di aereazione ed illuminazione delle lavorazioni del tabacco (Fig. 11).

L'ampia gamma di coperture formalmente differenti tra loro, per forma, tecnologia e materiale, così come dei loro elementi portanti ha richiesto la modellazione specifica per ciascuna di essa, non potendo attingere alle banche dati interne al modellatore o a quelle esterne.

La copertura del locale di accettazione del prodotto è costituita da una voltina in c.a., di spessore pari a 0,20 m, con trave cordolo di bordo - sempre in c.a. - e tiranti trasversali in acciaio collocati alla quota di imposta della voltina, la cui presenza riduce fortemente le componenti spingenti del carico della copertura agenti sulle pareti sottostanti.

I locali di scelta del prodotto e preparazione dei telai per la cucitura del tabacco presentano co-

perture a shed semplice e a doppio shed.

La copertura del tipo a volta in c.a. del locale essiccamento del tabacco ha sostituito l'originaria capriata in legno andata distrutta in seguito ad un incendio, come testimoniano la presenza di travi di legno e asole nella parete verticale per l'alloggiamento del puntone della capriata.

Il locale deposito del prodotto finito presenta una copertura costituita da due travi capriate a T che sorreggono elementi in calcestruzzo precompresso utilizzati come tegoli di copertura e una trave perimetrale di bordo del corpo di fabbrica.

Da una prima classificazione delle coperture si riscontra la presenza di coperture piane in solaio latero-cementizio, a doppia falda con comignoli di areazione o lucernari in muratura o in vetro, a shed sorretti da travi lineari o reticolari in calcestruzzo armato e di volte a botte in calcestruzzo gettato in opera aventi come curva direttrice un arco a sesto ribassato. Ad eccezione dei solai piani, tutte le altre tipologie di copertura sono state replicate in digitale attraverso modelli locali ad hoc realizzati che restituivano parametricamente la configurazione delle stesse attraverso la costruzione di parametri rappresentativi della geometria costitutiva delle stesse. Ai parametri di natura geometrico-dimensionale sono stati successivamente integrati quelli relativi ai materiali costitutivi e alle loro caratteristiche. Il modello aperto di dati può permettere anche eventuali successive integrazioni con dati, ad esempio, relativi ai dati fisici o manutentivi. Analogo approccio è stato impiegato per la modellazione degli elementi di sostegno delle coperture aventi geometrie complesse. Nello specifico attraverso la costruzione di modelli locali è stato possibile creare i cloni digitali delle capriate lignee che sostenevano la precedente copertura del plesso destinato a deposito del prodotto finale o le travi reticolari a sostegno del doppio shed del locale nel quale veniva scelto il prodotto. Infine, è da segnalare che il rilievo ha restituito per i locali prospicienti la corte interna e destinati a scelta del prodotto e preparazione dei telai per la cucitura del tabacco l'assenza di copertura a seguito di crolli. Sebbene il dato relativo alla tipologia di copertura fosse disponibile agli autori a partire da dati storici e da precedenti rilievi del complesso, si è scelto di non modellare tale elemento al fine di restituire alla data l'effettiva consistenza manu-

tentiva del Tabacchificio, che ad oggi registra un degrado che interessa prevalentemente il sistema strutturale. Pertanto, coerentemente con l'obiettivo della presente ricerca finalizzato all'impiego del modello BIM per la programmazione di interventi di rigenerazione (Fig. 12) del Tabacchificio, la costruzione del modello federato BIM è stata sperimentata a partire dalla modellazione con LOD D del corpo di fabbrica posto a sud-est e destinato all'accettazione del prodotto grezzo. La necessità di una diffusa rigenerazione dell'ampio patrimonio di archeologia industriale presente sul territorio ha condotto alla scelta di tale corpo di fabbrica per le analogie dimensionali, formali e tecnologico-strutturali con altri esempi di opifici. Gli esiti di tale sperimentazione potranno costituire una demo replicabile negli altri locali del Tabacchificio e per estensione ad altri complessi industriali, fino alla definizione, attraverso l'integrazione con dati cartografici di insediamento territoriale degli elementi architettonici, di un protocollo integrato multi-scalare applicabile e replicabile per l'analisi e la rigenerazione di manufatti di archeologia industriale.

La sperimentazione pertanto ha richiesto un'implementazione di ulteriori dati geometrici e informativi, al fine della costruzione del modello federato delle discipline architettoniche e strutturali del locale oggetto dell'approfondimento (Figg. 13-14). Nello specifico, sono stati modellati i cordoli perimetrali alle differenti quote e state approfondite le stratigrafie dei setti murali, registrando per ciascuna di esse l'effettiva consistenza degli elementi portanti ma anche delle finiture ad intonaco. Gli spessori dei differenti strati sono stati desunti dall'analisi e dall'integrazione dei dati provenienti dal rilievo digitale e da indagini in situ su porzioni murarie per le quali si è riscontrato il deterioramento delle finiture ad intonaco. Per ciascuno strato sono stati pertanto registrati non solo i dati dimensionali ma anche le caratteristiche meccaniche, così come le informazioni relative al materiale, alla sua texture e alla sua cromia. Inoltre, nel modello sono stati inseriti tutti gli apparati decorativi relativi, ad esempio, alle cornici in laterizio poste ai lati di quasi tutte le aperture del plesso al fine di una elevata verosimiglianza visiva tra la realtà e il suo gemello. In fase di modellazione, si è scelto di non restituire gli elementi di chiusura

quali porte, finestre e vetrate poiché laddove presenti completamente ammalorati e ininfluenti ai fini della modellazione strutturale (Fig. 15).

ANALISI STRUTTURALE DELL'OPIFICIO

Nelle strutture in muratura, l'esteso e articolato sviluppo planimetrico, il diverso comportamento sotto sisma delle pareti caricate nel piano e ortogonalmente al proprio piano, la frequente inefficacia dei collegamenti tra le pareti murarie e tra pareti ed orizzontamenti, e la presenza di strutture di tipo spingente, unitamente alla necessità di contemplare tutti i possibili meccanismi di collasso, comportano verifiche numeriche spesso suddivise in due distinte fasi. L'analisi può essere, infatti, rivolta all'intera struttura o ad una sua parte ed il modello di calcolo, se le procedure sono di tipo semplificato, è in genere differente al variare delle azioni nei confronti delle quali si esegue la verifica. I modelli globali hanno il pregio di cogliere il comportamento d'insieme della costruzione, il ruolo svolto da ciascun componente strutturale, le interazioni tra le diverse parti della fabbrica, la ripartizione delle azioni orizzontali tra gli elementi resistenti. Oggi, per le costruzioni storiche, sono maggiormente affidabili i modelli agli elementi finiti, ma per fornire risultati attendibili devono essere eseguite analisi non lineari, con tutte le note implicazioni che ne derivano in termini di input dei dati e difficoltà interpretative dei risultati (Clementi et al., 2017; Giordano et al., 2002; Lagomarsino et al., 2004). I modelli locali consentono, invece, di analizzare singole porzioni murarie, talvolta utilizzando schemi di calcolo intuitivi e vicini ai principi costruttivi, e sono oggi prevalentemente utilizzati per controllare l'attivazione di cinematismi in pareti caricate ortogonalmente al proprio piano, non risentendo la risposta in modo significativo del comportamento d'insieme della costruzione (Faella et al., 2007; Livesley, 1992; Giresini et al., 2016; Casapulla et al., 2011).

I risultati dell'indagine condotta sui vari opifici dislocati sul territorio campano mostra che la forma della pianta è pressoché rettangolare con il lato corto che oscilla tra i dieci ed i venti metri (in taluni casi può raggiungere anche i cinquanta o gli ottanta metri, ma sono presenti pareti longitudinali

che individuano luci strutturali trasversali comprese tra dieci e quindici metri); l'altra dimensione è molto variabile, dai quaranta ai sessanta agli ottanta fino ad arrivare ai cento metri. L'altezza invece è pressoché standard e varia dai sei ai dieci metri.

Le pareti perimetrali presentano, in genere, cinque diverse tipologie: pareti del tutto cieche, pareti con finestre alte, pareti con doppie finestre alte, pareti con finestre a nastro, pareti con finestre centrali spesso ad arco. Come già accennato sono frequenti cordoli in c.a. che lasciano a circa metà altezza tutta la struttura muraria dell'opificio. La struttura portante o è del tutto in muratura o è di tipo misto con pareti perimetrali in muratura e strutture interne intelaiate in c.a.. La copertura è in diverse soluzioni: voltine in c.a., shed in c.a., capriate metalliche o in legno.

L'analisi del comportamento globale delle strutture in muratura richiede l'uso di modelli strutturali tridimensionali che possono essere facilmente importati dai modelli BIM. In particolare, i modelli digitali diventano essenziali in tutti i casi in cui le geometrie degli elementi strutturali non sono semplici, come nel caso delle coperture di questi edifici industriali.

IL MODELLO STRUTTURALE DEL TABACCHIFICIO DI PRESENZANO

L'edificio del Tabacchificio di Presenzano destinato all'accettazione del prodotto è stato opportunamente selezionato tra gli edifici della fabbrica per ragioni legate alle analogie con le altre fabbriche del territorio descritte nel paragrafo precedente.

Le pareti longitudinali, la cui geometria è stata descritta precedentemente, presentano una regolare alternanza di otto setti murari di larghezza 1.6 m ed aperture verticali larghe 1.7 m, che si sviluppano per la quasi totale altezza della parete. Ad un'altezza di 4 m da terra è presente un cordolo in c.a., di sezione 50 x 25 cm, armato con 4 barre ($\emptyset$ 12), che si sviluppa per l'intera parete, proseguendo anche sulle perimetrali trasversali. La muratura, di tessitura regolare, è in pietra di tufo con listature in mattoni rossi. Questi ultimi sono utilizzati anche come cornice verticale delle aperture. La copertura è costituita da una voltina

in c.a., di spessore pari a 0.2 m, con trave cordolo di bordo, sempre in c.a., e tiranti trasversali in acciaio collocati alla quota di imposta della voltina, la cui presenza riduce fortemente le componenti spingenti del carico della copertura agenti sulle pareti sottostanti (Faella et al., 2007).

L'analisi strutturale viene eseguita con il software Midas © (Midas FEA, 1989) che permette di avere a disposizione una libreria di elementi finiti molto vasta (elementi "truss", "beam", "wall", "shell-plate", "solid", tutti con molteplici tipi di comportamento). La gestione di tutte le tipologie strutturali è completa e si ha la possibilità di attivare o disattivare in qualsiasi fase gli elementi finiti, i vincoli, i parametri dei materiali, i carichi, il tutto senza creare file multipli.

L'integrazione con Autodesk© Revit Structure dà la possibilità di importare ed esportare il modello 3D. Dopo aver realizzato il modello geometrico tridimensionale viene ricavata la consistenza morfologica della costruzione e, con un passaggio fondamentale dal modello geometrico al modello strutturale, è possibile individuare le sole parti strutturali, di cui viene fatta una mesh 3D per l'analisi strutturale. Con il software Midas © (Midas FEA, 1989) sono stati successivamente verificati gli elementi strutturali al variare delle diverse condizioni di carico, ed è stato possibile evidenziare sia gli stati tensionali sia identificare le porzioni murarie sede di concentrazione di tensioni e le situazioni maggiormente critiche.

La metodologia B.I.M. consente innanzitutto una rapida, precisa ed efficace costruzione (per via informatizzata) del modello strutturale agli elementi finiti in 3 dimensioni, utilizzando i dati digitali del rilievo geometrico/strutturale. Consente, inoltre, di apportare immediate modifiche ai singoli componenti strutturali, di assegnarvi le proprietà meccaniche e di completare la modellazione strutturale con la disposizione dei vincoli e dei carichi. Consente, infine, una navigazione virtuale delle strutture del manufatto per indagare e visualizzare i molteplici aspetti del modello strutturale.

BIM è il metodo concreto attraverso cui si può contemplare contemporaneamente le peculiarità del progetto architettonico della parte strutturale e della componente morfologica. Le figure 16 e 17 mostrano due viste globali del modello tridimensionale agli elementi finiti, da cui si vede che è sta-

ta fedelmente riprodotta anche l'intera copertura in tutti i suoi elementi costituenti (voltine, travicordolo e piastrelli in c.a., tiranti in acciaio).

Sia le pareti murarie sia gli elementi in calcestruzzo sono modellati con elementi solidi a otto nodi. Nel modello gli elementi sono di colore diverso in funzione dei materiali, giallo per la muratura e grigio per il calcestruzzo armato.

Di seguito sono indicati i parametri meccanici assunti nel modello:

- modulo elastico dei blocchi Eb = 1800 MPa
- modulo elastico della malta Ej = 1500 MPa
- resistenza a trazione dei blocchi fbt = 0.25 MPa
- resistenza a trazione della malta fjt = 0.1 MPa
- resistenza a compressione del calcestruzzo fck = 20 MPa
- modulo elastico del calcestruzzo Ec = 28000 MPa
- resistenza allo snervamento dell'acciaio fyk = 370 MPa.

La figura 18 mostra invece il dettaglio del modello ad elementi finiti della copertura, che è studiata anche separatamente perché ha un comportamento diverso nelle due direzioni x e z in relazione alla sua rigidità.

In particolare in direzione x, l'analisi nel piano orizzontale della copertura ha confermato che in questa direzione si può ritenere alquanto rigida. Quindi nella direzione longitudinale x, la copertura gioca un ruolo secondario nel comportamento globale dell'edificio.

La direzione trasversale z invece è caratterizzata dalla presenza di solo due pareti perimetrali, poste ad una distanza superiore a 24 m e soggette a modesti carichi di copertura. Il comportamento della struttura dipende in modo rilevante dalla copertura perché la valutazione della rigidità della copertura nel piano orizzontale ha confermato che in questa direzione (z) la copertura è da ritenersi deformabile.

SCENARI PER LA RIGENERAZIONE DEL TABACCHIFICIO DI PRESENZANO E DEL SUO TERRITORIO: DALLA SCALA ARCHITETTONICA DEL MODELLO FEDERATO BIM ALLA SCALA TERRITORIALE IN AMBIENTE GIS

L'obiettivo di definire scenari di rigenerazione del Tabacchificio di Presenzano ha reso necessario

estendere lo sguardo anche alla realtà territoriale circostante registrando le emergenze antropiche e naturali del contesto (Okonta et al., 2024) di appartenenza: tra queste il centro storico e l'area archeologica di Presenzano lungo la via Latina, nella quale sono riconoscibili i resti di un acquedotto e le rovine di un anfiteatro romano, l'impianto idroelettrico realizzato strategicamente dall'Enel in posizione baricentrica rispetto ai poli energetici di Roma e Napoli, le masserie che scandiscono ritmicamente la piana idrografica del Volturno e l'adiacente stazione di Presenzano, attualmente in disuso.

I dati territoriali concorrono a definire gli scenari progettuali di rigenerazione dell'edificio che, come di consuetudine si verifica per i manufatti industriali dismessi, è caratterizzato da una forte adattabilità oltre ad essere dotato delle necessarie opere di urbanizzazione ed è ubicato in prossimità di linee e raccordi di trasporto, condizioni che ne rendono vantaggiosa la rifunzionalizzazione, sia per motivi di ordine economico che ambientale.

Le informazioni territoriali sono state archiviate attraverso un progetto GIS, ad hoc realizzato avvalendosi del software open source QGIS e di dati territoriali, anch'essi liberamente disponibili. I layer digitali sia raster che vettoriali inseriti nel modello territoriale contengono dati relativi a: la complessa orografia del territorio rappresentata attraverso un digital elevation model (DEM) con risoluzione a terra 20m; l'effettiva consistenza del territorio alla data visibile attraverso un'immagine satellitare; la suddivisione amministrativa delle regioni e dei comuni; le principali strade carrabili, la linea ferroviaria e l'idrografia del territorio. Tali dati sono stati integrati da un layer vettoriale di punti contenente la posizione geografica delle principali emergenze naturali ed antropiche e da una tabella attributi che ne registra le principali informazioni descrittive. Una specifica elaborazione del DEM ha permesso l'estrazione di profili verticali attraverso i quali leggere la privilegiata posizione del Tabacchificio in relazione al contesto territoriale (Fig. 19).

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Poiché le condizioni di degrado nel Tabacchificio di Presenzano interessano principalmente il si-

stema strutturale, è stata testata la realizzazione del sistema BIM federato dell'edificio industriale a partire dalla modellazione LOD D dell'edificio in esame.

In particolare, l'analisi strutturale condotta sul corpo posto a sud-est e destinato all'accettazione del prodotto grezzo ha mostrato che il comportamento strutturale è sensibilmente dipendente dalla tipologia della copertura, e specificamente della sua rigidezza nel piano orizzontale.

La modellazione BIM per l'analisi agli elementi finiti (FEA) restituisce coerentemente anche la complessità geometrica delle costruzioni esistenti, quindi il modello agli elementi finiti riflette tutte le irregolarità geometriche degli elementi strutturali (Cardaci et al., 2011). In questo caso studio l'adozione di tale approccio alla modellazione ha permesso di superare i limiti della simulazione strutturale tradizionale basata su elementi regolari e forme semplificate con una simulazione raffinata e più aderente allo stato di fatto della struttura. Inoltre, tale modellazione BIM, includendo aspetti geometrici insieme a considerazioni strutturali, consente di replicare gli elementi costruttivi e la loro reciproca interazione (Barazzetti et al., 2015).

In alternativa, volendo utilizzare modelli semplificati, in situazioni come quelle in esame sarebbe necessario comunque analizzare preventivamente il comportamento della copertura a partire dal modello BIM estraendo la superficie media del volume delle volte di copertura per costruire il relativo modello 2D agli elementi finiti. Tale modello consente di valutare la rigidezza sul piano orizzontale e quindi definire eventuali elementi da includere nel modello globale semplificato per simulare correttamente il ruolo della copertura nella risposta complessiva dell'edificio. Pertanto, ricorrere all'utilizzo della modellazione BIM risulterebbe comunque necessario, almeno per la sola copertura.

CONCLUSIONI

Il modello BIM realizzato nell'ambiente federato architettonico e strutturale registra la consistenza del Tabacchificio alla data del rilievo e delle indagini in situ, costituendo una piattaforma digitale

documentale di imprescindibile valore per l'attività di rigenerazione dell'opificio. Le attività di progettazione in BIM per mezzo delle dimensioni di livello superiore a quelle geometriche potrebbero avvalersi dell'ingente quantità di dati acquisiti, elaborati e modellati per registrare un'ipotesi di riconversione integrando alla scala architettonica le informazioni strutturali e di costruzione con quelle MEP di progetto e alla scala cartografica quelle territoriali attraverso un modello integrato GIS-BIM.

L'analisi condotta sull'edificio del Tabacchificio di Presenzano destinato all'accettazione del prodotto conferma la validità dell'ottimizzazione del processo di modellazione strutturale a partire dal modello geometrico in ambiente BIM. Gli edifici esistenti in aree archeologiche-industriali, attraverso il BIM vengono presentate con modelli tridimensionali strutturali, rispettosi delle proporzioni spaziali e delle componenti materiche e meccaniche di ogni elemento costruttivo.

Con tale articolo si tende ad andare verso la realizzazione di un processo completo di modellazione digitale strutturale integrata, caratterizzata dall'aver un unico documento storico digitale sul quale caricare i dati e le operazioni da effettuare (sia di rappresentazione dello stato di fatto che di recupero del preesistente).

Tale modello parametrico integrato inoltre può configurarsi anche come strumento a supporto delle attività di cantiere, di manutenzione programmata degli interventi e di facility management.

La costruzione del modello multi-scalare, architettonico (BIM) e cartografico (GIS) del Tabacchificio, interesserà il prosieguo della ricerca, concorrendo alla definizione di un protocollo di modellazione digitale in ambiente federato applicabile alla specifica tipologia degli edifici di archeologia industriale con analoghe caratteristiche costruttive e, in virtù della sua flessibilità, estendibile ad altri edifici produttivi.

REFERENCES

- Avella A., Guadagnuolo M. (2010). *Disegno e sicurezza sismica. Il Tabacchificio di Presenzano*. Napoli: La scuola di Pitagora editrice.
- Gürçanlı G.E., Hartmann T. (2024). Digitalization for safer restoration practices of industrial buildings using building information modelling (BIM): A review and a case study for gasometers. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 32, 1-20.
- Biagini C., Arslan P. (2018). Industrial Heritage in the historical neighbourhood: BIM strategies for urban regeneration. *DisegnareCon*, 11(21), 9.1-9.15.
- Bertolini Cestari, C., Chiabrando, F., Invernizzi, S., Marzi, T., Spanò, A. (2014). The thin concrete vault of the Paraboloid of Casale, Italy. Innovative methodologies for the survey, structural assessment and conservation interventions. 10.13140/RG.2.1.3442.8961.
- Cotella V., Galluccio G. (2024). HBIM Applications for the Revalorization of industrial archaeology areas. In: Capone M., Galván Desvaux N., Agustín-Hernández L., Fernández-Trapa L. (eds) *Industrial Archaeology. European approach to recovery productive memory*. FedOAPress, Napoli, 569-594.
- Norma Italiana UNI 11337-1:2017 (2017). *Edilizia e opere di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni – Parte 1: Modelli, lavorati e oggetti informativi per prodotti e processi*.
- Specific Tecnica UNI/TS 11337-3:2015 (2015). *Edilizia e opere di ingegneria civile – criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse. Parte 3: Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione*.
- Nieto-Julián, E., Robador, M. D., Moyano, J., & Bruno, S. (2025). Semantic HBIM for Heritage Conservation: A Methodology for Mapping Deterioration and Structural Deformation in Historic Envelopes. *Buildings*, 15(12), 1990
- Pepe, M., Costantino, D., Alfio, V. S., Garofalo Restuccia, A., & Papalino, N. M. (2021). Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage*, 50, 115-125.
- 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,
- Brumana, R., Oreni, D., Barazzetti, L., Cuca, B., Previtali, M., Banfi, F. (2020). Survey and Scan to BIM Model for the Knowledge of Built Heritage and the Management of Conservation Activities. In: Daniotti, B., Gianinetti, M., Della Torre, S. (eds) *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*. Research for Development. Springer, Cham
- Aversa, R., Franchino, R., Frettoloso, C., Pisacane, N., & Ricciotti L. (2023). Geopolymers for Eco-Architecture. Integrated approaches for green strategies activation. *Agathón. International Journal of Architecture, Art and Design*, 13, 237-246.
- Nawrocka, N., Machova, M., Jensen, R. L., Kanafani, K., Birgisdottir H. & Hoxha, E. (2023). Influence of BIM's level of detail on the environmental impact of buildings: Danish context. *Build Environ*, 245.
- Zerari, S., Franchino, R., & Pisacane, N. (2022). An overview of innovative construction materials for enhancing the sustainability of buildings and their integration into BIM. *Journal of Engineering Research*, 2 (24).
- Historic England (2019). *BIM for Heritage: Developing the Asset Information Model*. Swindon: Historic England.
- Jayasinghe, L. B. & Waldmann, D. (2020). Development of a BIM-Based Web Tool as a Material and Component Bank for a Sustainable Construction Industry, *Sustainability*, 12 (5), 1-15.
- Delpozzo, D., Appolonia, L., Scala, B., & Adami, A. (2022). Federated HBim models for cultural heritage: Survey model and conceptual mode. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVI-2/W1-2022, 191–197.
- Djuedja, J. F. T., Karray, M. H., Fougues, B. K., Magniont, C., & Abanda, F. H. (2019). Interoperability Challenges in Building Information Modelling (BIM). In Popplewell K., Thoben K. D., Knothe T., Poler R. (eds), *Enterprise Interoperability VIII. Proceedings of the I-ESA Conferences* (vol. 9, pp. 275-282). Cham: Springer.
- Matthews, J., Love, P. E., Mewburn, J., Stobaus, C., & Ramanayaka, C. (2018). Building information modelling in construction: insights from collaboration and change management perspectives. *Production Planning & Control*, 29 (3), 202-216.
- Solihin, W., Eastman, C., & Lee, Y. C. (2016). A framework for fully integrated building information models in a federated environment. *Advanced Engineering Informatics*, 30 (2), 168-189.
- Clementi, F., Gazzani, V., Poiani, M., Mezzapelle Pardo, A., Lenci, S. (2017). Seismic Assessment of a Monumental Building through Nonlinear Analyses of a 3D solid model, *Journal of Earthquake Engineering*.
- Giordano, A., Mele, E., & De Luca, A. (2002). Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study. *Engineering Structures*, 24(8), 1057-1069.
- Lagamarsino, S., Podestà, S., & Resemini, S. (2004). Observational and mechanical models for the vulnerability assessment of monumental buildings. In 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, British Columbia.
- Faella, G., & Guadagnuolo, M. (2007). La sicurezza sismica degli opifici mediterranei in muratura. In *Atti del V Forum Internazionale di Studi "Le Vie dei Mercanti"* - Rappresentare il Mediterraneo (pp. 171-178). Napoli: La Scuola di Pitagora.
- Livesley, R.K. (1992). A computational model for the limit analysis of three-dimensional masonry structures. *Meccanica*, 27(3), 161-172.
- Giresini, L., Fragiaco, M., Sasu, M. (2016). Rocking analysis of masonry walls interacting with roofs. *Engineering Structures*, 116, 107-120.
- Casapulla, C., Maione, A. (2011). Out-of-plane local mechanisms in masonry buildings. The role of the orientation of horizontal floor diaphragms. In J. Ingham, M. Dhanasekar, M. Masia eds. 9th Australasian Masonry Conference, Queenstown, New Zealand, February 15-18.
- Faella G., Guadagnuolo M., (2007) "La sicurezza sismica degli opifici mediterranei in muratura", *Atti del V Forum Internazionale di Studi "Le Vie dei Mercanti"* - Rappresentare il Mediterraneo, Capri, Italia, Giugno 14-16.
- Midas FEA (1989). *Advanced Nonlinear and Detail Program. Analysis and Algorithm*. Available Online: https://En.Midasuser.Com/Product/Fea_overview.Asp
- Okonta, E. D., Vukovic, V., & Hayat, E. (2024). Prospective Directions in the Computer Systems Industry Foundation Classes (IFC) for Shaping Data Exchange in the Sustainability and Resilience of Cities. *Electronics*, 13(12), 2297.
- Cardaci, A., Mirabella Roberti, G., Versaci, A. (2011). From the continuous to the discrete model: A laser scanning application to conservation projects. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy*.
- Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Gusmeroli, G., Oreni, D., Previtali, M., Roncoroni, F., & Schiantarelli, G. (2015). BIM from laser clouds and finite element analysis: Combining structural analysis and geometric complexity. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W4, 345–350.