

# NEW PERSPECTIVES FOR MAPPING ALTERATIONS IN HBIM IN CONSERVATION PROJECTS

## Abstract

Historic Building Information Modelling (HBIM) finds one of its most interesting applications in conservation design. The HBIM approach did not originate as a simple data archive method but as an information tool to help the designer at all stages of the building process. Turning to the field of preservation, a lot of information about the building is represented by thematic maps. They make it possible to get a graphic representation of the state of conservation of a facade or to understand the structural situation of a building.

This research, experimented on the Arch of Augustus in Aosta, starts from the large amount of data acquired by the RAVA Laboratory of the Superintendence of Aosta over a long period. These data allowed for testing different approaches to thematic mapping, depending on the specific themes to be represented.

In any case, even this experimentation required theoretical reasoning that preceded the operational phases.

The question, which this article wants only to start to address, concerns the role of thematic mappings in the preservation project carried out with an HBIM approach, their necessity, and their implementation towards truly three-dimensional data, which therefore maintains all the information that is directly acquired in three dimensions.

**Keywords:** *HBIM, modellazione geometrica, Beni Culturali, nuvola di punti, mappatura*

## Introduction

Historic Building Information Modelling (HBIM) models, which by their nature deal with the existing heritage of varying cultural and historical value, have a strong documentation component. Since such models are not the product of design thinking but are used to describe something pre-existing, the issue of building documentation management is of primary importance. Documentation is understood here as the actual collection of information about the building and its georeferencing to the correct spatial location. In light of this, it is crucial to find ways to report thematic information through 3D graphic models regarding materials, degradation, results of specific analyses, diagnostics, and even information about the building's development or its previous restoration work. However, this step gives rise to misunderstandings that do not always make the model (or process) effective, limiting its potential use. Such misunderstandings stem from conceiving thematic mappings only as a

single graphic device and not as a design tool. Very often, thematic mappings (e.g., those relating to the actual state of conservation of the materials of the elements of a building) can be very complex and insufficiently related to the object they are characterizing. For example, a mapping of the deterioration of a masonry wall that is not directly related to the wall itself is useful only as a representation tool.

Moreover, thematic mapping often constitutes double work, carried out firstly in the 2D environment according to traditional methods, and secondly by reconstructing them in the 3D environment.

These problems were addressed in the study of the Arch of Augustus in Aosta (Italy) in research aimed at developing a new conservation project [1].

At the end of the modelling phase, through the construction of a federated model consisting of a survey model (a model made by point cloud or mesh with a high level of accuracy) and conceptual model (where the elements are schemes, simplified versions of reality), it was necessary to link all existing information to the conceptual model [2].

## Evolution of thematic mapping

The conservation project has its focal point in the decay mapping. In fact, practical decisions are made based on the types of degradation and their degree of urgency. Traditionally, the graphical representation of decay in a two-dimensional drawing is the most appropriate method and, typically, is done in a CAD (Computer Aided Drawing) environment. In this way, the damage area's extent can be easily calculated, albeit with a margin of discretion. Initially, the restoration discipline represented pathologies realistically on two-dimensional drawings with a somewhat decadent view (Fig. 1).

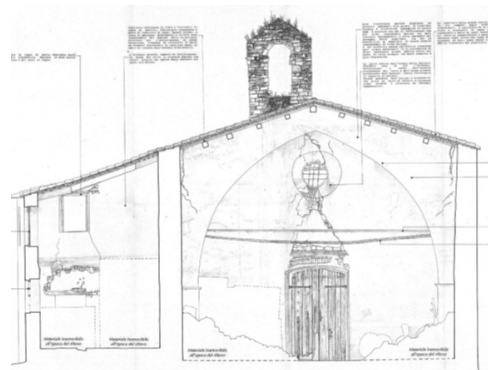


Fig.1 – Representation of degradation in elaborate 1990s.

This procedure did not include the identification of defined areas. The use of hatching to indicate the alteration became a useful way to represent with greater scientific rigour the damage named by internationally agreed names and definitions. This was a milestone step in the history of conservation design. HBIM, while introducing a three-dimensional representation, has so far not contributed to a more rigorous assessment of the extent of the decay. However, we should not think that the BIM tool is inadequate. We know the difficulties presented by modelling tools to represent alterations (Autodesk REVIT, Graphisoft ARCHICAD, and other BIM software), but if we want to use them, we will have to think in a new way about the goals to be achieved in the restoration project not only at the graphic level but also at the asset management level.

In the HBIM model, the approach to decay management can take on a variety of methods. On the one hand, in BIM, one can indicate pathologies as building element data (information content). A different way is to model the extent (or location) of decay on the building element on which it is located (graphical and informational content). Both approaches have positive and negative aspects. For example, the drawn area can be identified two-dimensionally (command "region" in Autodesk Revit) and linked to an attribute that identifies the pathology. However, this method does not allow 3D visibility. Other systems are constrained to surface type (horizontal and vertical with the "split surfaces and paint" command). Creating local models could be another solution but it is time-consuming for modelling. Another method is to create a generic adaptive model applicable to any surface. In this case, starting from the orthophoto or point cloud, the alterations are identified by a perimeter. This model can be enriched with information on the type of decay, degree of urgency, and extent.

Such systems are useful when damages have an uneven distribution over areas. Stains, erosions, graffiti, color changes, coherent deposits, dark, grffitied crusts, and so on are decays that affect only certain parts. The first approach, on the other hand, is useful when the damage is punctual (crack) or affects an entire element (e.g., an entire ashlar).

This approach requires particular conditions of the building and specific modelling choices. The monument is divided into the smallest elements: bricks, stone blocks, wooden boards, and so on: these will be virtual places in which to record punctual information as well as

diagnostic analyses. The use of the minimal, modular, and repeatable elements also makes it possible to determine a closer correspondence between the deterioration and its location, not only in terms of geometric position but also in terms of the object that "hosts" the decay. Turning to the specific case analyzed in this paper, it was decided to apply different approaches depending on the characteristics of the data to be linked. In some cases, the data come from analyses that have a specific format (numerical values, etc.). In other cases, the BIM mapping comes directly from a previously existing mapping. These different cases require different approaches even if the workflow is the same: for example, it is necessary to define the smallest element of the model that can "receive" the parameters, assignment, and translation of the data to allow maximum accessibility to scientific content (not only reserved for highly specialized operators).

### The Conservation project of the Arch of Augustus.

The monument was built at the same time as the founding of the city: it is an honorary arch and commemorates Augustus' victories over the Celtic Salassi tribe. The arch was not located within the city but was built immediately after the bridge over the Buthier creek. It was first restored at the end of the 19th century. Between 1883 and 1891, Alfredo D'Andrade was directly involved in studying the problems of the monument, producing a series of sketches and drawings. Another intervention was designed by Ernesto Schiaparelli, probably between 1912-1914. His work was the most extensive he made an overhaul of the roof, also dismantling the slates and removing the gravel fill, replaced with a lighter one. The previous stucco was removed, and missing parts of the decoration were rebuilt with artificial stone. Until 1961 the street passed under the vault of the arch, causing increasing exposure of the

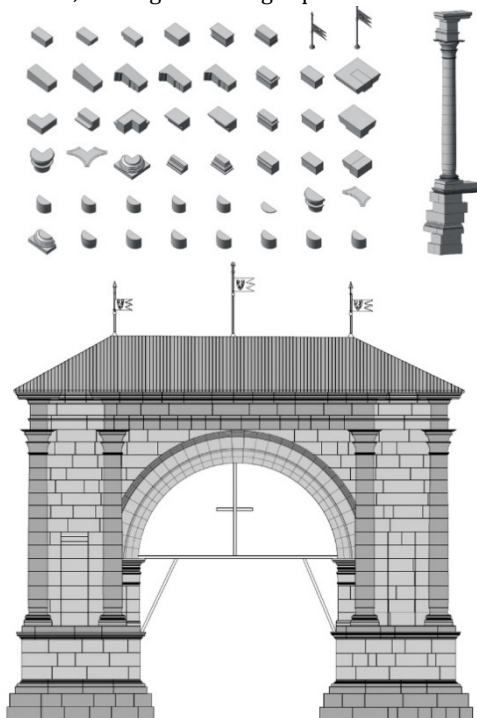


Fig.2 – Individual component elements the model (top) and overall model (bottom)

monument to pollution, a risk reduced by the construction of a traffic circle around the arch. A preliminary but fundamental step in this research was the definition of the element of maximum granularity, the smallest object in the model that should receive information (Fig. 2). In the case of the Arch of Augustus, the ashlar was chosen as the smallest element, declined in its different variants to cover all existing cases [2]. The actual size and shape of each ashlar is not crucial in this part of the work (analytical data processing and parameter management) because the role of each element is to store data and parameters that must be available to the operators and, eventually, can be used for new thematic analyses.

The idea is to develop a thematic mapping view that has geometric significance and "back it up" to orthophotos, accurately georeferenced, or directly to point clouds.

Thematic mapping requires a very careful design phase in order to correctly highlight the theme to be mapped and develop any databases to be linked with documentation photos, summary descriptions, standard descriptions, codes, and any elements that are deemed necessary to link to the individual theme. For the Arch of Augustus, this work was mostly carried out by the Superintendence of Aosta and its RAVA laboratory [9], who was in charge of the diagnostic campaign and who decided on the coding and definitions of the themes according to the recommendations of the UNI Standard [3].

Thematic mapping refers to the graphic representation of an architectural feature to be considered in the conservation project. Typically, they are derived from the traditional mapping of the restoration process, or the processing of all data related to the history of the building, its state of decay, and specific analyses, based on individual elements. The method suggested in this paper involves the use of tools native to the Autodesk Revit environment, such as generic models or adaptive models, and design parameters, possibly linked to external databases or internal parameters and then filtered. The latter, the project parameters, can be created and modified ad hoc like generic models. Using customized design parameters, each ashlar was assigned historical information, conservative information, risk assessments, and diagnostics. Data from these themes were transformed into numbers since most of this knowledge is written in scientific essays and reports or other types of two-dimensional reports, compiled in new design parameters. This conversion is essential to enable the user of the BIM system to use such data. In addition, the move to numbers also allows values to be combined into new parameters according to specific equations.

The results were three thematic views useful for defining the conservation design. All thematic data are stored in each ashlar, and different thematic mappings can be automatically displayed or extracted. The thematic map "Previous Restorations" for example, stores the first key historical information. A first parameter, called Number of Restorations, has the role of summarizing, for each ashlar, how many restoration interventions have been performed. This

approach requires manual data entry and in particular, the management of the parameter as a flaggable box: the designer flags the box on each element [7]. Historical information parameters are characterized not only by the number of previous interventions but also by some links to archival documents such as reports of previous restorations or historical photos. Of course, according to the restorers, the planned new intervention will become an additional element of this thematic map. The "Diagnostic Map" concerns the analyses from the Superintendence's RAVA laboratory. Many of these analyses started from a single sample, which made it possible to extract point information and extend the assessment to the entire area. In this case the three-dimensional information is the location of the samples. The system is the same as used so far, since sampling is an invasive operation that is done only once (and generally not repeated), so a single flaggable box parameter is sufficient to record the event. If an ashlar has been sampled, there will be an additional parameter with the name Sample. Access to the original documentation and raw data is provided by URL parameters.

These parameters can open folders containing analysis results, scientific reports, and descriptions of diagnostic procedures (Fig. 3). In contrast, areal mappings of decay, both static and dynamic, are different.

These concern the presence of degradation on facades. The main difference is that the starting point is already the result of previous processing, and most importantly, this issue is presented not through numbers, but through a graphic scheme. The original maps were made in AutoCAD by drawing the contours of the effects of decays on orthophotos: the data refer to two mapping campaigns carried out in 2007 and 2018. This map required a twofold effort: importing thematic mapping without the need to manually redraw areas (static mapping) and comparing two different analysis campaigns (dynamic mapping)

Working on georeferenced files, the 2D shape of the pathology is imported and projected onto the 3D model. A check is then done (through an automatic algorithm) to find the intersection between the 2D shape and each individual ashlar, thus finding which ashlars are really affected by the individual decay. This process is repeated for each decay area until a static mapping of it is obtained. Then, by repeating the operation from different analysis campaigns, other steps are obtained and compared to understand the transformations of the alteration.

Since there is no command available to do this, it was necessary to work with Dynamo, Revit's Visual Programming application, to create a script (under final development) capable of performing the intended operations. Although it seems obvious, it should be emphasized that the basic condition for proceeding with this workflow is that all drawings be georeferenced in the same HBIM model reference system. This can be achieved directly if the survey is designed and conducted based on the same topographic network. Or it requires a rototranslation operation of the CAD drawing to georeference it in the chosen reference system.

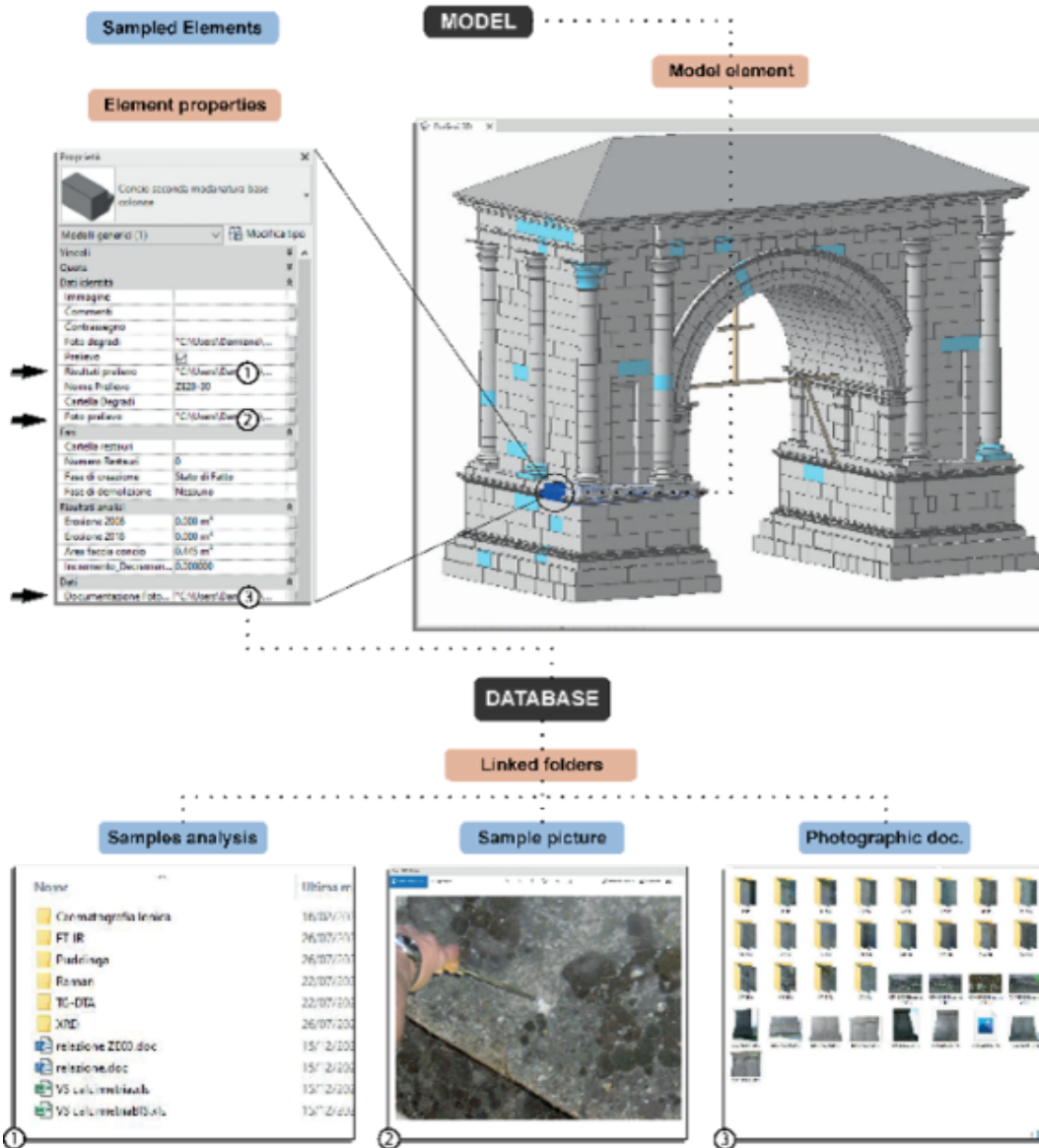


Fig.3 – Mapping diagnostics. In light blue the location of the acquired data, At the bottom the linked data (text, images)

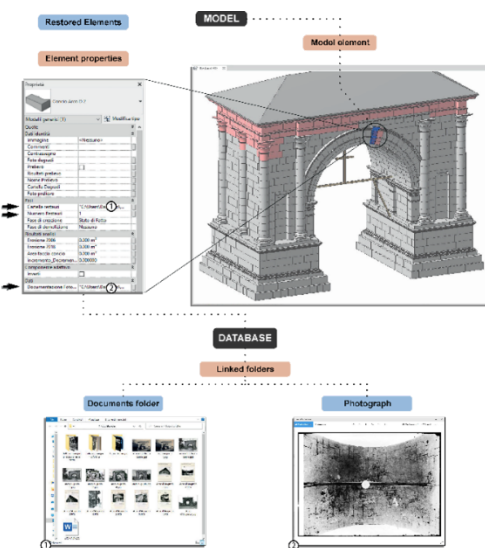


Fig.4 The ashlar in pink are those that have undergone restorations

Even though finding the intersection between two elements (the 2D degradation projected onto the 3D surface) seems easy, the process turned out to be not so simple, and many alternative solutions were used to solve the problems of the transition from 2D to 3D (side surfaces of the ashlar, non-rectangular ashlar,

front and back faces, etc.). The final Dynamo script selects the 3D mapping solid (obtained by extrusion of the 2D shape), and the corresponding facade element (ashlar), and performs an intersection detection. The intersected ashlars are filtered, and then the parameter regarding the specific decay can be populated: this verifies which ashlar are affected by each specific damage. With a series of steps involving the calculation of surface normals, it was possible to select only the external surfaces and finally calculate the pathology area on the ashlar, which was written in a new dedicated parameter. Of course, these steps are performed for each type of degradation, so in the end, each element has a number of parameters confirming the presence of decay and its extent (Fig. 5). The second part of the Dynamo script was developed to perform the comparison between the two different mapping campaigns. In this case, the script does not work on the geometry but reads the area-parameter of the same decay by performing subtraction and expressing it as a percentage of the overall area. These percentage ranges can be assigned a different color; this process transforms 2D drawings into a 3D mapping describing behavior over time (Fig. 6). At the end of the mapping transfer process, specific themes can be visualized on

the model.

The conservator, who is in charge of preparing the conservation project, is also responsible for synthesizing all the analyses, diagnoses, and observations into a single system. This reworking and synthesis operation becomes a further step in which the result, graphically similar to the other thematic representations, is the result of defining a “severity scale” of each effect and each decay (Fig. 7).

This operation requires the intellectual and critical intervention of the restorer, but it can be done for each individual ashlar, working with numerical values that are appropriately combined and weighted.

These first tests carried out on the Arch of Augustus have highlighted the potential of this approach, both in operational and qualitative terms. In fact, it allows the use of existing data (in various formats), not only with a view to data reuse, but also as a function of temporal comparison, useful for quantifying, for example, the progress of an alteration or a state of degradation of a specific ashlar.

Preliminary results are promising; however, some problems emerge related to the fact that working in 3D space is complex and the creation of too many thematic views and related parameters could be confusing, especially when trying to fully exploit the three-dimensional content of survey data in the BIM environment. Regarding risk assessment mapping, it can be argued that requiring a critical analysis, ashlar by ashlar, and having a large number of 3D views for each decay, requires too much effort. In this work, we proposed a tool that indicates the most dangerous pathologies and on which part of the monument they are located.

This allows planning interventions by functional batches based on groups of pathologies with similar treatment or similar level of urgency; if we want to simplify, the critical analysis can be done with a pure risk factor (between 0-5) mediator of all pathologies present.

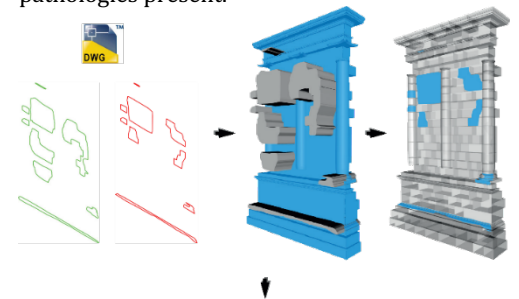


Fig.5 – Outline of mapping process, dwg to 3D in HBIM environment

## Conclusion

Two approaches can be followed to create HBIM mappings, one numerical for those themes that are difficult to express with graphical tools, and one theme-object oriented, which could also be applied to a new thematic mapping as long as it can be identified graphically. The theme can be drawn directly in Revit, its graphical boundaries can be automatically recognized with the script made in the Autodesk Dynamo environment, transformed into generic models with specific parameters (e.g. the mapping theme), and check whether they intersect with individual



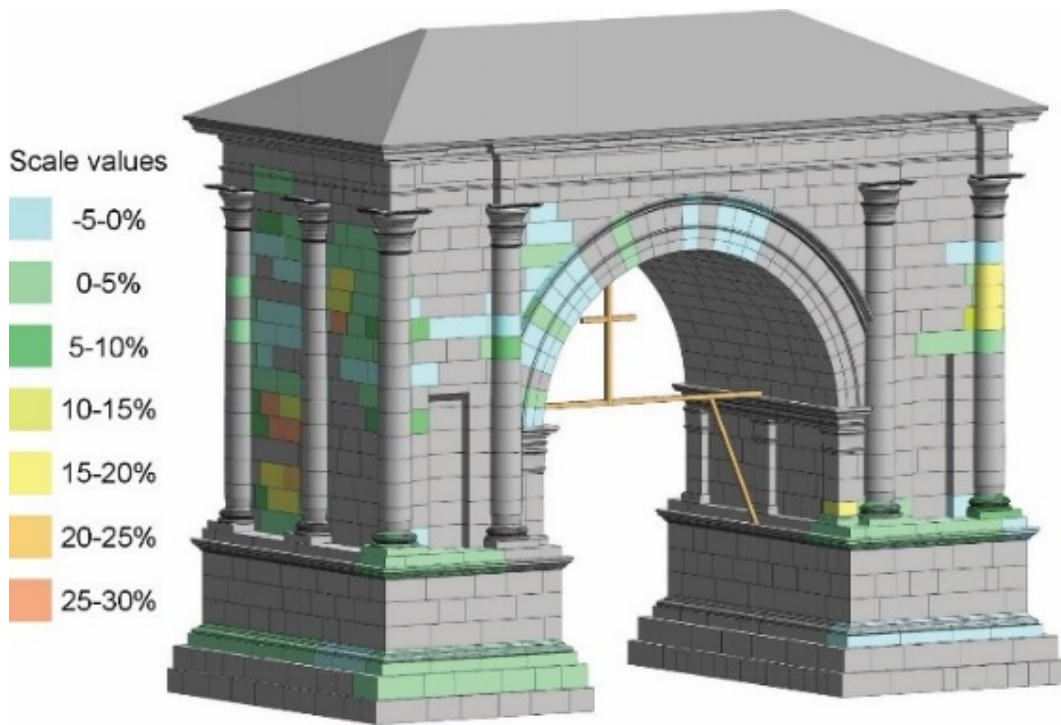


Fig. 6 - The colors, and percentages, represent the change over time of areas affected by a specific degradation

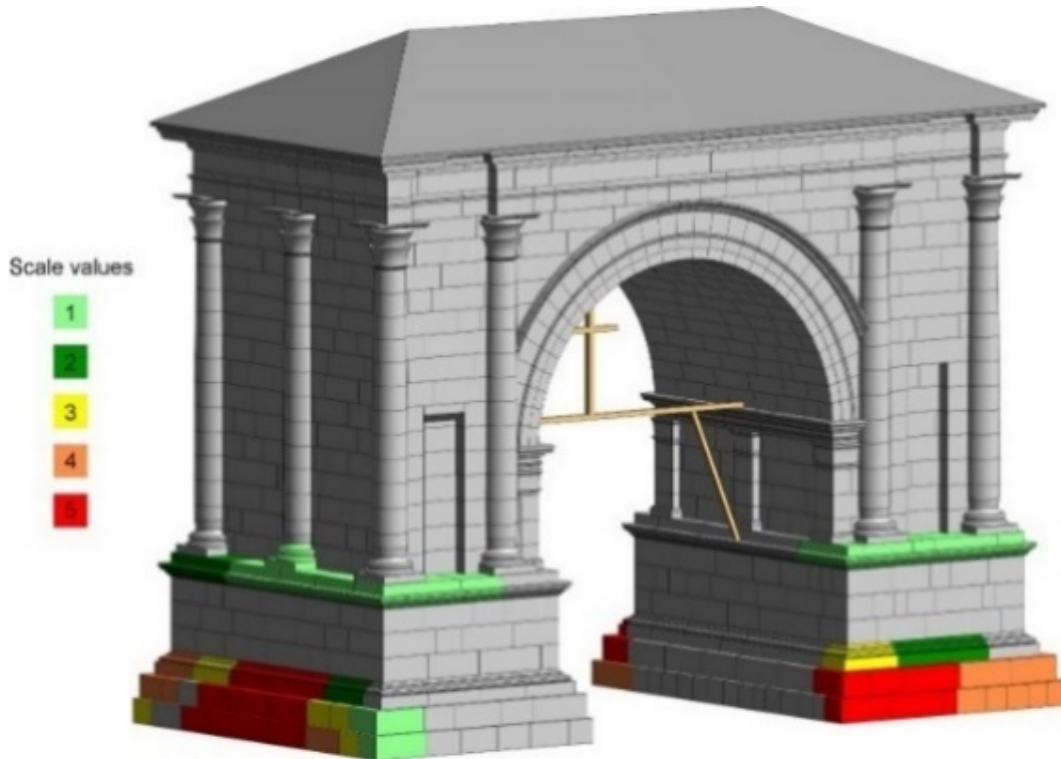


Fig. 7 - Summary map. Each color corresponds to an indication of the need for intervention

objects (the ashlar). If so, it is possible to quantify the intersection area, which, barring errors, can be considered the area of the object affected by that particular topic.

Through these algorithms, developed in Dynamo, it is then possible on the one hand to optimize the data entry process and on the other hand, if the minimum element of the model is carefully chosen, also to link the thematic to the entire model.

Although the method was correctly applied to the selected case study, it is important to note that the process is not fully optimized. In addition, there is an urgent need for this research to develop interdisciplinary working groups in order to effectively overcome the 2D 3D dichotomy. This will make it possible to

exploit the 3D content of point clouds, without necessarily flattening it on a reference plane.

#### REFERENCES

- [1] Adami A., Appolonia L., Scala B., 2021. The Arch of Augustus in Aosta: data and analysis reuse. In Proceedings of the joint international event 9th ARQUEOLÓGICA 2.0 & 3rd GEORES, Valencia (Spain). 26-28 April 2021 CGAL, 2021. Computational Geometry Algorithms Library, <http://www.cgal.org> (Last accessed: Oct 2021).
- [2] Del Pozzo, D., Appolonia, L., Scala, B., Adami A., 2022. Federated HBIM models for cultural heritage: survey model and conceptual model. In proceedings 3dArch 2022
- [3] Matrone F., Santo R., 2020, La fruizione dei dati da modelli HBIM, in Architectural Design and Studio

- HBIM e Geomatica per i beni culturali, Franco Angeli, Milano, pp. 94

- [4] Malinverni, E. S., Mariano, F., Di Stefano, F., Petetta, L., and Onori, F., 2019. Modelling In HBIM to document materials decay by a thematic mapping to manage the Cultural Heritage: the case of "Chiesa Della Pietà" in fermo, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W11, 777-784, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-777-2019>, 2019.
- [5] Ori L., 2021, Ottimizzazione della metodologia HBIM applicata al progetto di restauro architettonico, in HBIM e Geomatica per i beni culturali, (edited by A. Adami), Franco Angeli, Milano, 2021, pp 110-127.
- [6] Bruno, N. and Roncella, R., 2018. A Restoration Oriented Hbim System for Cultural Heritage documentation: the case study of Parma Cathedral, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2, 171-178, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-171-2018>, 2018
- [7] León-Robles C., Reinoso-Gordo J., González-Quiñones J., 2019, Heritage building information modeling (H-BIM) applied to a stone bridge, in ISPRS International Journal of Geo-Information, No. 8(3), p. 121.
- [8] Croce, V., Gabriella Caroti, g., Piemonte, A., 2021 Propagation of semantic information between orthophoto and 3D replica: a H-BIM system for the north transept of Pisa Cathedral, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 12:1, 2225-2252, DOI: 10.1080/19475705.2021.1960432
- [9] Appolonia, L., Migliorini, S., Idone, A., Piccirillo, A., 2007. L'Arco di Augusto in Aosta: un esempio di percorso programmato tra progettazione e diagnostica. In Bollettino della Soprintendenza per i beni e le attività culturali, 4, pp. 215-228.

#### NUOVE PROSPETTIVE PER UNA MAPPATURA DELLE ALTERAZIONI IN HBIM NEI PROGETTI DI CONSERVAZIONE

##### Sommario

*Il modello HBIM (Historic Building Information Modelling) trova una delle sue applicazioni più interessanti nel progetto di conservazione. L'approccio HBIM non è nato come semplice archivio di dati, ma come strumento informativo con l'obiettivo di aiutare il progettista in tutte le fasi del processo di costruzione. Passando al campo della conservazione, molte informazioni sull'edificio sono rappresentate da mappe tematiche. Esse permettono di avere un'immagine grafica dello stato di conservazione di una facciata o di comprendere la situazione strutturale di un edificio. Questa ricerca, sperimentata sull'Arco di Augusto ad Aosta, parte dalla grande quantità di dati acquisiti dal Laboratorio RAVA della Soprintendenza di Aosta durante un lungo periodo. Questi dati hanno permesso di testare diversi approcci alla mappatura tematica, a seconda dei temi specifici da rappresentare. In ogni caso, anche questa sperimentazione ha richiesto un ragionamento teorico che ha preceduto le fasi operative.*

*La domanda, alla quale questo articolo vuole iniziare a rispondere, riguarda il ruolo delle mappature tematiche nel progetto di conservazione realizzato con un approccio HBIM, la loro necessità e la loro implementazione verso un dato realmente tridimensionale, che mantenga quindi tutte le informazioni che vengono acquisite direttamente in tre dimensioni.*

**Parole-chiave:** HBIM, modellazione geometrica, Beni Culturali, nuvola di punti, mappatura

##### Introduzione

*I modelli Historic Building Information Modelling (HBIM), che per loro natura trattano il patrimonio esistente di diverso valore culturale e storico, hanno una forte componente documentale. Poiché tali modelli non sono il prodotto di un pensiero progettuale, ma*

vengono utilizzati per descrivere qualcosa di preesistente, il tema della gestione della documentazione dell'edificio è di primaria importanza. La documentazione è qui intesa come l'effettiva raccolta di informazioni relative all'edificio e la sua georeferenziazione nella corretta posizione spaziale. Alla luce di ciò, è fondamentale trovare il modo di riportare informazioni tematiche attraverso modelli grafici 3D riguardanti i materiali, i degradi, i risultati di analisi specifiche, la diagnostica e anche informazioni sullo sviluppo dell'edificio o sui suoi precedenti interventi di restauro.

Tuttavia, questo passaggio dà luogo a fraintendimenti che non sempre rendono il modello (o il processo) efficace, limitandone il potenziale utilizzo. Tali fraintendimenti derivano dal concepire le mappature tematiche solo come un singolo espediente grafico e non come uno strumento di progettazione. Molto spesso le mappature tematiche (ad esempio quelle relative all'effettivo stato di conservazione dei materiali degli elementi di un edificio) possono essere molto complesse e non sufficientemente collegate all'oggetto che stanno caratterizzando. Ad esempio, una mappatura del degrado di una parete in muratura che non sia direttamente riferita, anche in termini informatici alla parete di supporto è utile solo come strumento di rappresentazione. Mancherebbe infatti la possibilità di individuare le relazioni tra degrado e materiali della parete. Inoltre, la mappatura tematica costituisce spesso un doppio lavoro, svolto in primo luogo in ambiente 2D secondo i metodi tradizionali, e in secondo luogo ricostruendole in ambiente 3D. Questi problemi sono stati affrontati nello studio dell'Arco di Augusto ad Aosta (Italia) nella ricerca finalizzata allo sviluppo di un nuovo progetto di conservazione [1].

Al termine della fase di modellazione, attraverso la costruzione di un modello federato composto da modello di rilievo (un modello realizzato tramite nuvola di punti o mesh con un elevato livello di accuratezza) e modello concettuale (dove gli elementi sono schemi, versioni semplificate della realtà), è stato necessario collegare tutte le informazioni esistenti al modello concettuale [2].

### **Evoluzione della mappatura tematica**

Il progetto di conservazione ha il suo punto focale nella mappatura del degrado. Infatti, le decisioni pratiche vengono prese in base alle tipologie di degrado e al loro grado di urgenza.

Tradizionalmente, la rappresentazione grafica del degrado in un disegno bidimensionale è il metodo più appropriato e, tipicamente, è realizzata in ambiente CAD. In questo modo, l'estensione dell'area di degrado può essere facilmente calcolata, anche se con un margine di discrezione. Inizialmente, la disciplina del restauro rappresentava le patologie in modo realistico sul disegno bidimensionale con una visione un po' decadente (Fig. 1). Questa procedura non prevedeva l'identificazione di aree definite. L'uso del tratteggio per indicare il degrado è diventato un modo utile per rappresentare con maggior rigore scientifico i danni nominati con nomi condivisi a livello internazionale. Si è trattato di un passo epocale nella storia del progetto di conservazione.

L'HBIM, pur introducendo una rappresentazione tridimensionale, non riesce ancora a garantire una valutazione, soprattutto quantitativa, più precisa dell'entità del degrado. Tuttavia, non dobbiamo pensare che lo strumento BIM sia inadeguato. Conosciamo le difficoltà che presentano gli strumenti di modellazione per rappresentare il degrado (Autodesk REVIT, Graphisoft ARCHICAD e altri software BIM), ma se vogliamo utilizzarli, dovremo pensare in modo nuovo gli obiettivi da raggiungere nel progetto di restauro non solo a livello grafico ma anche a livello di gestione dei beni.

Nel modello HBIM, l'approccio alla gestione del degrado può assumere svariati metodi. Da un lato, nel BIM si può indicare i degradi come dati di elementi

costruttivi (contenuto informativo). Un diverso modo è quello di modellare l'estensione (o la posizione) del degrado sull'elemento costruttivo su cui si trova (contenuto grafico e informativo). Entrambi gli approcci presentano aspetti positivi e negativi. Per esempio l'area disegnata può essere identificata in modo bidimensionale (comando "regione" in Autodesk Revit) e collegata ad un attributo che individua la patologia. Questo metodo però non consente la visibilità in 3D. Altri sistemi sono vincolati al tipo di superficie (orizzontale e verticale con il comando "dividi superfici e dipinti"). La creazione di modelli locali potrebbe essere un'ulteriore soluzione ma richiede molto tempo per la modellazione. Un altro metodo consiste nel creare un modello generico adattivo applicabile a qualsiasi superficie. In questo caso, partendo dall'ortofoto o dalla nuvola di punti, le alterazioni sono identificate da un perimetro. Questo modello può essere arricchito con informazioni sul tipo di degrado, sul grado di urgenza e sull'estensione. Tali sistemi sono utili quando il degrado ha una distribuzione irregolare per aree. Macchie, erosioni, graffiti, alterazioni cromatiche, depositi coerenti, scuri, croste graffite e così via sono degradi che interessano solo alcune parti. Il primo approccio, invece, è utile quando il degrado è puntuale (fessura) o interessa un intero elemento (ad esempio un intero concio). Questo approccio richiede particolari condizioni dell'edificio e delle scelte di modellazione. Il monumento è suddiviso in elementi minimi: mattoni, blocchi di pietra, tavole di legno e così via: essi saranno luoghi virtuali in cui registrare le informazioni puntuali come anche le analisi diagnostiche. L'utilizzo di elementi minimi, modulari e ripetibili consente anche di determinare una corrispondenza più stretta tra il degrado e la sua collocazione, non solo in termini di posizione geometrica, ma anche di oggetto che "ospita" il degrado.

Passando al caso specifico analizzato in questo lavoro, si è deciso di applicare approcci diversi a seconda delle caratteristiche dei dati da collegare. In alcuni casi, i dati provengono da analisi che hanno un formato specifico (valori numerici, ecc.). In altri casi, la mappatura BIM proviene direttamente da una mappatura precedentemente esistente.

Questi diversi casi richiedono approcci differenti anche se il flusso di lavoro è lo stesso: per esempio è necessario definire il più piccolo elemento del modello che può "ricevere" i parametri, assegnazione e traduzione dei dati per consentire la massima accessibilità ai contenuti scientifici (non solo riservati a operatori altamente specializzati).

### **Il progetto di restauro dell'Arco di Augusto**

Il monumento fu costruito contemporaneamente alla fondazione della città: si tratta di un arco onorario e commemora le vittorie di Augusto sulla tribù celtica dei Salassi. L'arco non si trovava all'interno della città, ma fu costruito subito dopo il ponte sul torrente Buthier.

Il primo intervento di restauro risale alla fine XIX secolo. Tra il 1883 e il 1891, Alfredo D'Andrade si occupò direttamente dello studio delle problematiche del monumento producendo una serie di schizzi e disegni. Un altro intervento fu progettato da Ernesto Schiaparelli, probabilmente tra il 1912-1914. I suoi lavori furono i più estesi infatti fese una revisione della copertura, smontando anche le ardesie e togliendo il riempimento ghiaia, sostituito, con uno più leggero. Furono rimossi le stucature precedenti e e parti mancanti della decorazione furono ricostruite con pietra artificiale.

Fino al 1961 la strada passava sotto la volta dell'arco, causando una crescente esposizione del monumento all'inquinamento, rischio ridotto grazie alla costruzione di una rotatoria intorno all'arco. Un passo preliminare, ma fondamentale, in questa ricerca, è stata la definizione dell'elemento di massima granularità, il più piccolo oggetto del modello che deve ricevere informazioni (Fig. 2). Nel caso dell'Arco di

Augusto è stato scelto come elemento più piccolo il concio, declinato nelle sue diverse varianti per coprire tutti i casi esistenti [2]. La dimensione e la forma reale di ciascun concio non sono fondamentali in questa parte del lavoro (elaborazione dei dati analitici e gestione dei parametri) in quanto il ruolo di ciascun elemento è quello di memorizzare dati e parametri che devono essere disponibili per gli operatori e, eventualmente, possono essere utilizzati per nuove analisi tematiche.

L'idea è quella di sviluppare una vista di mappatura tematica che abbia un significato geometrico e "appoggiarla" alle ortofoto, accuratamente georeferenziate, o direttamente alle nuvole di punti. La mappatura tematica richiede una fase di progettazione molto accurata, al fine di evidenziare correttamente il tema da mappare, sviluppare eventuali database da collegare con foto di documentazione, descrizioni sintetiche, descrizioni standard, codici e tutti gli elementi che si ritiene necessario collegare al singolo tema. Per l'Arco di Augusto, questo lavoro è stato svolto per la maggior parte dalla Soprintendenza di Aosta e dal suo laboratorio RAVA [9] che si sono occupati della campagna diagnostica e che hanno deciso la codifica e le definizioni dei temi secondo le raccomandazioni della Normale UNI (Idone, 2007) [3].

La mappatura tematica si riferisce alla rappresentazione grafica di una caratteristica dell'architettura che deve essere considerata nel progetto di conservazione. Tipicamente, esse derivano dalla mappatura tradizionale del processo di restauro o dall'elaborazione di tutti i dati relativi alla storia dell'edificio, al suo stato di degrado e alle analisi specifiche, basandosi sui singoli elementi.

Il metodo proposto in questo lavoro prevede l'utilizzo di strumenti nativi dell'ambiente Autodesk Revit, come modelli generici o modelli adattivi, e parametri di progetto, eventualmente collegati a database esterni o a parametri interni e successivamente filtrati. Questi ultimi, i parametri di progetto, possono essere creati e modificati ad hoc come i modelli generici. Utilizzando i parametri di progetto personalizzati, a ogni concio sono state assegnate informazioni storiche, informazioni conservative, valutazioni di rischio e diagnostiche. I dati provenienti da questi tematismi sono stati tradotti in numeri, poiché la maggior parte di queste conoscenze è costituita da saggi e relazioni scientifiche scritte, o altri tipi di relazioni bidimensionali, redatte in nuovi parametri di progetto. Questa traduzione è essenziale per consentire all'utente del sistema BIM di utilizzare tali dati. Inoltre, il passaggio a numeri permette anche di combinare i valori in nuovi parametri secondo equazioni specifiche. I risultati sono stati tre viste tematiche utili per la definizione del progetto di conservazione. Tutti i dati relativi ai temi sono memorizzati in ogni concio e d è possibile visualizzare o estrarre automaticamente diverse mappature tematiche.

La Mappa tematica "Restauro precedenti" ad esempio, conserva la prima informazione storica fondamentale. Quindi un primo parametro, chiamato Numero di interventi di restauro, ha il ruolo di riassumere, per ogni concio, quanti interventi sono stati eseguiti. Questo approccio richiede l'inserimento manuale dei dati e in particolare la gestione del parametro come casella flaggabile: il progettista flagga la casella presente su ogni elemento [7]. I parametri di informazione storica sono caratterizzati non solo dal numero di restauri, ma anche da alcuni link a documenti d'archivio come relazioni di interventi precedenti o foto storiche. Naturalmente, secondo i restauratori, il nuovo intervento progettato diventerà un ulteriore elemento di questa mappa tematica. La Mappa della diagnostica riguarda la le analisi dal laboratorio RAVA della Soprintendenza. Molte di queste analisi sono partite da un singolo campione che ha permesso di estrarre informazioni puntuali e di estendere la valutazione all'intera area. In questo caso l'informazione tridimensionale è la posizione dei

*campioni. Il sistema è lo stesso utilizzato finora, poiché il campionamento è un'operazione invasiva che viene fatta una sola volta (e in genere non viene ripetuta), per cui è sufficiente un singolo parametro di casella flaggabile per registrare l'evento. Se un concio è stato campionato, ci sarà un parametro aggiuntivo con il nome Sample. L'accesso alla documentazione originale e ai dati grezzi è garantito da parametri URL. Questi parametri possono aprire le cartelle contenenti i risultati delle analisi, i rapporti scientifici e la descrizione delle procedure diagnostiche. (Fig. 3). Diverso è invece il caso delle mappature areali del degrado, di tipo statico e dinamico. Queste riguardano la presenza di degrado sulle facciate. La differenza principale è che il punto di partenza è già il risultato di un'elaborazione e soprattutto questo tema viene presentato non attraverso i numeri, ma attraverso uno schema grafico. Le mappe originali sono state realizzate in AutoCAD disegnando i contorni degli effetti del degrado sulle ortofoto: i dati si riferiscono a due campagne di mappatura, effettuate nel 2007 e nel 2018. Questa mappa ha richiesto un duplice sforzo: importare la cartografia tematica senza la necessità di ridisegnare manualmente le aree (mappatura statica) e il confronto tra due diverse campagne di analisi (mappatura dinamica) Lavorando su file georeferenziati, la forma 2D della patologia viene importata e proiettata sul modello 3D. Si fa quindi una verifica (attraverso un algoritmo automatico) per trovare l'intersezione tra la forma 2D e ogni singolo concio, trovando così quali concii sono interessati al singolo degrado. Tale processo viene reiterato per ogni forma di degrado fino ad ottenere una mappatura statica dello stesso. Successivamente, ripetendo l'operazione a partire da diverse campagne di analisi, si ottengono altri step che vengono confrontati per capire le trasformazioni dell'alterazione. Non essendo disponibile un comando per farlo, è stato necessario lavorare con Dynamo, applicazione di programmazione visiva di Revit, per creare uno script (in fase di sviluppo finale) in grado di eseguire le operazioni previste. Anche se sembra ovvio, va sottolineato che la condizione fondamentale per procedere con questo flusso di lavoro è che tutti i disegni siano georeferenziati nel sistema di riferimento del modello HBIM. Ciò può essere ottenuto direttamente se il rilievo è progettato e condotto sulla base della stessa rete topografica. Oppure richiede un'operazione di rototraslazione del disegno CAD per georeferenziarlo nel sistema di riferimento scelto. Nonostante il fatto che trovare l'intersezione tra due elementi (il degrado 2D proiettato sulla superficie 3D)*

*sembri facile, il processo si è rivelato non così semplice e sono state utilizzate molte soluzioni alternative per risolvere i problemi del passaggio da 2D al 3D (superfici laterali del concio, concio non rettangolare, facce anteriori e posteriori, ecc). Lo script finale di Dynamo seleziona il solido di mappatura 3D (ottenuto per estrusione della forma 2D), l'elemento della facciata corrispondente (concio) ed esegue un rilevamento degli intersezioni. I concii intersecati vengono filtrati e quindi si può popolare il parametri riguardante il degrado specifico: in questo modo si verifica quali concii sono affetti da ogni specifico degrado. Con una serie di passaggi, che prevedono il calcolo delle normali di superficie, è stato possibile selezionare solo le superfici esterne e calcolare, infine, l'area di patologia sul concio che è stata scritta in un nuovo parametro dedicato. Naturalmente, queste operazioni vengono effettuate per ogni tipo di degrado, per cui alla fine ogni elemento ha un certo numero di parametri che confermano la presenza del degrado e la sua estensione (Fig. 5). La seconda parte dello script Dynamo è stata sviluppata per effettuare il confronto tra le due diverse campagne di mappatura. In questo caso, lo script non lavora sulla geometria, ma legge l'area-parametro dello stesso degrado effettuando una sottrazione ed esprimendola in percentuale rispetto alla superficie globale. A questi intervalli di percentuale è possibile assegnare un colore diverso, questo processo trasforma i disegni 2D in una mappatura 3D che descrive un comportamento nel tempo (Fig. 6). Al termine del processo di trasferimento della mappatura, è possibile visualizzare sul modello temi specifici. Il restauratore, incaricato di preparare il progetto di conservazione, ha anche il compito di sintetizzare tutte le analisi, le diagnosi e le osservazioni in un unico sistema. Questa operazione di rielaborazione e sintesi diventa un ulteriore passaggio in cui il risultato, graficamente simile alle altre rappresentazioni tematiche, è il frutto della definizione di una scala di gravità di ogni effetto e di ogni degrado (Fig. 7). Questa operazione richiede l'intervento intellettuale e critico del restauratore, ma può essere effettuata per ogni singolo concio, lavorando con valori numerici che vengono opportunamente combinati e ponderati. Questi primi test effettuati sull'Arco di Augusto hanno evidenziato le potenzialità di questo approccio, sia in termini operativi sia in termini qualitativi. Infatti, esso consente di utilizzare dati esistenti (in vari formati), non solo nell'ottica di un riuso dei dati, ma anche in funzione di un confronto temporale, utile per quantificare, ad esempio, l'avanzamento di un'alterazione o uno stato di degrado di uno specifico*

*concio.*

*I risultati preliminari sono promettenti, tuttavia emergono alcuni problemi, legati al fatto che lavorare nello spazio 3D è complesso e la creazione di troppe viste tematiche e dei relativi parametri potrebbe creare confusione, soprattutto quando si cerca di sfruttare appieno il contenuto tridimensionale dei dati di rilievo in ambiente BIM. Per quanto riguarda la mappatura della valutazione del rischio si può sostenere che richiedere un'analisi critica concio per concio e avere un numero elevato di viste 3D per ogni degrado, richiede uno sforzo eccessivo. In questo lavoro, abbiamo proposto uno strumento che indica quali sono le patologie che mettono maggiormente a rischio il monumento e su quale parte del monumento si trovano.*

*Questo permette di pianificare gli interventi per lotti funzionali in base a gruppi di patologie, con trattamento simile o livello di urgenza simile; se si vuole semplificare, l'analisi critica può essere fatta con un fattore di rischio puro, (0-5) mediatore di tutte le patologie presenti.*

### **Conclusioni**

*Per creare le mappature HBIM si possono seguire due approcci, uno numerico, per quei temi difficili da esprimere con strumenti grafici, e uno orientato ai temi-oggetto, che potrebbe essere applicato anche a una mappatura tematica nuova, purché identificabile graficamente. Il tematismo può essere disegnato direttamente in Revit, i suoi confini grafici possono essere riconosciuti automaticamente con lo script realizzato nell'ambiente Autodesk Dynamo, trasformarli in modelli generici con parametri specifici (ad esempio il tema della mappatura) e verificare se si intersecano con i singoli oggetti (le bugne). In caso affermativo, è possibile quantificare la superficie di intersezione che, salvo errori, può essere considerata l'area dell'oggetto interessata da quel particolare tema.*

*Attraverso questi algoritmi, sviluppati in Dynamo, è quindi possibile da un lato ottimizzare il processo di inserimento dei dati e dall'altro, se l'elemento minimo del modello è scelto con cura, anche collegare il tematismo all'intero modello.*

*Sebbene il metodo sia stato applicato correttamente al caso di studio selezionato, è importante sottolineare che il processo non è completamente ottimizzato. Inoltre, da questa ricerca emerge l'urgente necessità di sviluppare gruppi di lavoro interdisciplinari, al fine di superare efficacemente la dicotomia 2D 3D. Ciò consentirà di sfruttare il contenuto 3D delle nuvole di punti, senza doverlo necessariamente appiattire su un piano di riferimento.*