



Geomatica e conservazione: parametrizzazione di elementi unici e ripetuti

Geomatics and
conservation:
parameterization of unique
and repeated elements

Barbara Scala

Università degli Studi di Brescia

Barbara Fazion

Politecnico di Milano

Luigi Fregonese

Politecnico di Milano

Giovanni Gualerzi



intrecci anno I (2022) n. 2
ISSN 2974-8577
DOI: 10.57639/SIRA.INTR0204

Abstract

Planned preservation has shown that HBIM (Historic Building Information Modelling) systems are a valuable tool, although the underlying logic seems opposed. A possible convergence results from a geometric effort to capture the features of the object and abstract a reproducible model. Abstraction takes place from the point cloud, produced by 3D scanning systems.

The virtual model can aid in designing a conservation intervention if it is elaborated on considering traditional building techniques, historical materials, and behaviours that may arise in an architecture that is an expression of rich stratification. To guarantee these aspects, it is essential that the model be elaborated with the collaboration of researchers from other disciplines, who stand alongside the modeller, to file the constructive uniformity proper to BIM, declining the model through parametric systems.

The paper aims to illustrate the first results of an ongoing experiment concerning the modelling of attics at the Sanctuary of San Luigi Gonzaga in Castiglione delle Stiviere. From the study, it emerged how the coordinates derived from the survey of a truss are of little use if they do not allow to understand how it works, and therefore, to transform it into a parametric system, adaptable to different cases and responding to the rules of construction technology. The parameterization effort of the trusses saw the coordinated contribution of the detector, the conservator, the structuralist, and the 3D modeller.

Keywords

Geomatics; Conservation; 3D scanning; HBIM; San Luigi Gonzaga

Premessa

Sempre più spesso nel campo dei beni culturali, la progettazione di interventi di restauro è affrontata con l'utilizzo di software HBIM (Historical Building Information Modelling). Questo nuovo approccio sta diventando abbastanza comune e ogni caso studio è occasione per testare soluzioni già usate in precedenza e/o proporre nuove sperimentazioni.

Nei primi anni di utilizzo del software si sottolineava come l'HBIM fosse uno strumento non ancora pronto alla progettazione di edifici storici¹. Infatti, appariva essere troppo rigido se si considera la ricchezza di soluzioni, l'irregolarità e l'unicità delle forme utilizzate negli edifici antichi. Inoltre, si innestavano alcuni temi legati alla suddivisione semantica dell'architettura, al livello di modellazione generale dell'edificio (o di una sua parte) e alla necessità di inserire informazioni.

Tuttavia, il valore aggiunto dell'HBIM è la sua utilità per la futura gestione degli edifici storici, in particolare per garantire la conservazione programmata².

In questa logica si è resa evidente la necessità di impostare un nuovo ragionamento nella progettazione degli interventi negli edifici storici e non procedere ad una semplice trasposizione dei metodi tradizionali bidimensionali, con strumenti nuovi. Le potenzialità di un HBIM sono numerosissime e possono essere scoperte, testate ed ampliate solo in occasione di progetti concreti³.

La Diocesi di Mantova da tempo propone attività di conservazione programmata post-intervento di restauro, a partire dai numerosi cantieri attivati dopo il sisma del 2012. La procedura abitualmente proposta dalla Diocesi è quella di chiedere l'impegno alla ditta vincitrice dell'ap-

Introduction

Increasingly in the Cultural Heritage field, the design of restoration interventions is approached using HBIM (Historic Building Information Modelling) software. This new approach is becoming quite common. Each case study is an opportunity to test solutions previously used in other restoration projects and site management and/or propose new experiments.

In the early years of using the software, it was pointed out that HBIM was a tool not yet ready to design historic buildings¹. It appeared too rigid when considering the wealth of solutions, irregularity and uniqueness of forms used in ancient buildings. In addition, some issues related to the semantic subdivision of architecture, the level of general modelling of the building (or a part of it), and the need to include information that was not always available were grafted in. However, the basic concept is that HBIM is helpful for the future management of historic buildings, particularly in ensuring planned preservation².

In this logic, the need to set up new reasoning in the design of historic buildings has become evident and does not proceed to a simple transposition of traditional methods but with new tools. The potential of an HBIM are very numerous and can only be discovered, tested and expanded on the occasion of concrete projects³.

In this regard, the Diocese of Mantua has long been proposing planned post-intervention restoration conservation activities, starting with the numerous construction sites activated after the 2012 earthquake. The procedure habitually offered by the Diocese is to ask for a commitment from the company winning the contract to carry out inspections and checks on the weak points of the building for at least ten years after the end of the work. This task concerning

palto ad eseguire controlli e verifiche nei punti deboli del fabbricato per almeno dieci anni dopo la fine dei lavori. Questa attività ha determinato la necessità per la Diocesi di cercare uno strumento idoneo per gestire la mole di dati che si sta generando per ogni edificio di proprietà.

In questa fase di sviluppo e implementazione delle procedure di gestione del software, la Diocesi ha chiesto di sviluppare modelli HBIM da affiancare alle procedure tradizionali di progettazione, gestione del cantiere e delle fasi post-intervento⁴.

In questo percorso lungimirante si è attivata una collaborazione tra il Politecnico sede di Mantova che, favorita dalla partecipazione a bandi di finanziamento della Fondazione Cariplo, ha dato il via alla elaborazione dei modelli con l'obiettivo, ambizioso, che non si limitassero alla gestione della conservazione programmata ma fossero anche gli strumenti del progetto di restauro e di consolidamento.

In questa comunicazione sarà raccontata l'esperienza progettuale di un intervento di miglioramento antisismico, elaborato con procedure tradizionali e contemporaneamente con un modello HBIM. L'edificio individuato per la sperimentazione è la chiesa di San Luigi Gonzaga a Castiglione delle Stiviere, struttura importante per il territorio e la storia mantovana, legato al culto aloisiano che nella comunità di Castiglione è particolarmente vitale. Questa sperimentazione è stata accolta dalla Fondazione Cariplo come un valore aggiunto del progetto di restauro, tanto da proporre il finanziamento sia del progetto, sia delle attività pratiche, sostenute anche da una sovvenzione regionale e statale.

È da ricordare che la Fondazione Cariplo ha messo a disposizione negli anni fondi per attività di conservazione programmata realizzate con tecnologie innovative come l'HBIM in una logica di BIM-oriented; ed in questo caso ha dato il via anche ad un percorso di *crowdfunding*.

Il Santuario di San Luigi Gonzaga: Il caso studio

Il Santuario Basilica di San Luigi Gonzaga sorto a partire dal 1608⁵ in Castiglione delle Stiviere⁶ è un edificio religioso dedicato al Santo patrono mondiale della gioventù. La chiesa, che sorge al limite del lotto edificato adiacente al Collegio dei Gesuiti (FIG. 01) e costruito congiuntamente allo stesso, è frutto di un progetto dell'architetto Paolo Soratini⁷, strettamente legata alla tipologia gesuitica a pianta longitudinale con cappelle laterali⁸ (FIG. 02).

Entrando nella chiesa si osserva immediatamente come la navata⁹ ha una altezza superiore rispetto le cappelle laterali, separate tra loro da muri che continuano verso l'alto anche oltre la copertura delle cappelle stesse, lavorando quindi come contrafforti per contenere le spinte della navata centrale. Quest'ultima è coperta da una volta a botte, mentre il presbiterio è chiuso da una cupola impostata su un alto tiburio circolare, raccordata alle murature inferiori tramite quattro pennacchi¹⁰ (FIG. 02).

churches affected by restoration work even in the years following the earthquake has created the need for the Diocese to look for a suitable tool to handle the amount of data they are collecting. At this stage of development and implementation of software management procedures, the Diocese has asked to develop HBIM models to flank the traditional design, site management and post-intervention procedures with management in HBIM.

Assuming that the HBIM tool serves as a shared place to place and consult archived information related to the property, the Diocese has encouraged the development of HBIM models for the artefacts undergoing intervention to create a data "container" for the entire ecclesiastical heritage⁴.

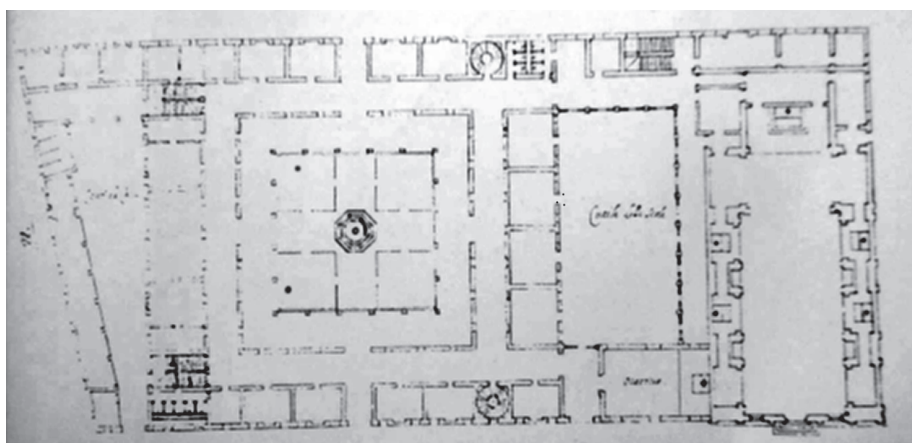
In this forward-looking path, a collaboration between the Politecnico di Milano, Campus Mantova was activated. It was favoured by the participation in funding calls of the Cariplo Foundation, initiated the elaboration of the models with the ambitious goal that they would not be limited to the management of planned conservation but would also be the tools of the restoration and consolidation project.

In this communication, the design experience of an anti-seismic improvement intervention, elaborated with traditional procedures and simultaneously an HBIM model, will be told. The building identified for experimentation is the church of San Luigi Gonzaga in Castiglione delle Stiviere, an important structure for the Mantuan territory and history linked to the Aloisian cult that is particularly vital in the Castiglione community. The Cariplo Foundation accepted this experimentation as an added value to the restoration project. And for this reason, it funded the project and the practical activities with the support of regional and state institutions. It is noteworthy that Fondazione Cariplo has made funds available over the years for planned conservation activities carried out with innovative technologies such as HBIM in a BIM-oriented logic; and in this case, it has also initiated a *crowdfunding*.

The sanctuary of San Luigi Gonzaga: The case study

The Basilica Sanctuary of San Luigi Gonzaga, built from 1608⁵ in Castiglione delle Stiviere⁶, is a religious building dedicated to the world patron saint of youth. The church rose on the edge of the built lot adjacent to the Jesuit College (FIG. 01) and was constructed jointly with it. It was made according to the design by architect Paolo Soratini⁷, closely related to the Jesuit typology with a longitudinal plan and side chapels⁸ (FIG. 02).

Upon entering the church, one immediately notices how the nave⁹ has a greater height than the side chapels, which are separated from each other by walls that continue upward even beyond the roofing of the chapels themselves, thus working as buttresses to contain the thrusts of the nave. The latter is covered by a barrel vault, while the chancel is enclosed by a dome set on a high circular tiburium, joined



01
Seconda versione del progetto per la costruzione del collegio castiglione dei gesuiti e la chiesa attigua (Vallery-Radot, 1960).

Second version of the plan for the construction of the Castiglione Jesuit college and the adjacent church (Vallery-Radot, 1960).

02
Rilievo geometrico della facciata principale e laterale.
Geometric survey of the main and side facades.



Entrando nel merito della costruzione, si osserva come le coperture della navata e delle cappelle siano costituite da una struttura primaria e secondaria in legno, assito, lastre ondulate fibro-bituminose e coppi. Tra la cupola e l'arco trionfale è presente un solaio in travetti di cemento e tavelloni, mentre la cupola in muratura è coperta da lastre di rame.

La struttura muraria non è di buona qualità ma è quella tipica del luogo (FIG. 03 e 04).

Si alternano zone realizzate con ciottoli ad altre in mattoni pieni o con i due materiali compresenti, in particolare in corrispondenza degli appoggi delle capriate.

Di fronte a questa eterogeneità, il progetto di miglioramento sismico si è concentrato sulla copertura della navata (FIG. 04 e 05).

Le capriate della navata sono costituite da legnami a sezione tonda e sono poste a sostegno di travetti di piccole dimensioni, collocati perpendicolarmente alla capriata

up to the lower walls by four spandrels¹⁰ (FIG. 02).

As for the construction, we notice that the roofs of the nave and chapels consist of a primary and secondary structure of wood, planking, corrugated fibro bituminous slabs, and roof tiles. Between the dome and the triumphal arch is an attic made of concrete joists and planking, while the masonry dome is covered with copper plates.

The masonry structure is not of good quality but is typical of the place (FIG. 03 and 04).

Areas made of cobblestones alternate with others made of solid brick or the two co-present materials, particularly at the supports of the trusses.

According to this heterogeneity, the seismic improvement project focused on the roofing of the nave, while the solution to water percolation issues concerned the dome (FIG. 04 and 05).

The trusses of the nave are made of round-section timbers and play as support to small rafters placed perpendicularly to

03 e 04

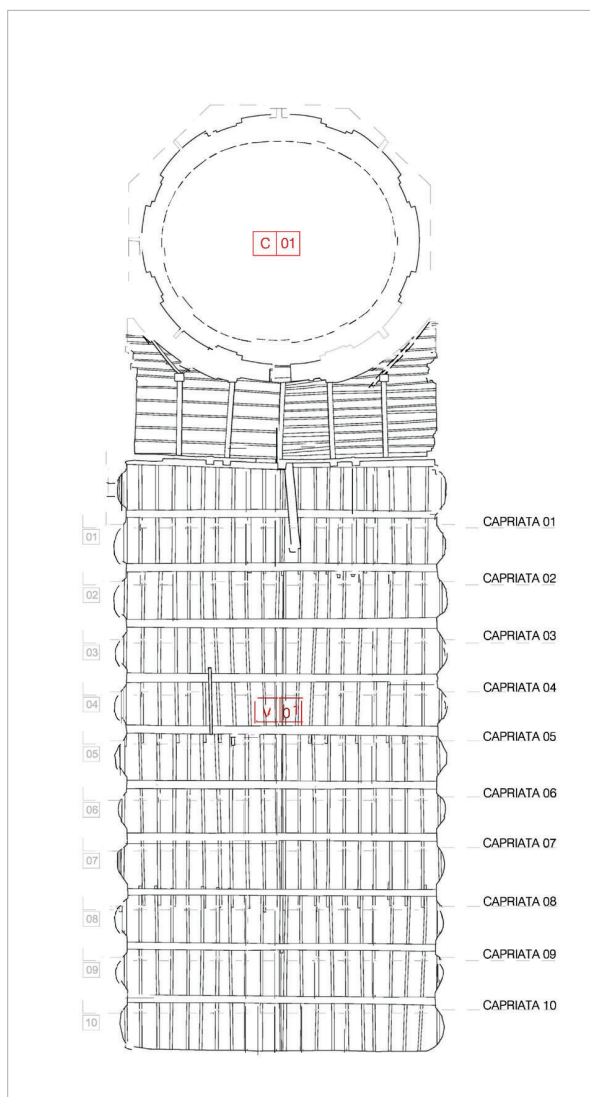
Variazione dello spessore murario della muratura perimetrale.
Variation of the wall thickness of the perimeter masonry.

05

Rilievo geometrico dell'orditura primaria e secondaria.
Geometric survey of primary and secondary warping.

06

Rilievo delle patologie di degrado dell'intradosso della volta e del quadro fessurativo (Idea Studio).
Survey of the deterioration pathologies of the vault intrados and the cracking framework (Idea Studio).





CAPRIATA 2



dottore forestale
Marco Sangalli



dottore forestale
Adriano Prandelli

21

07

Rilievo fotografico delle capriate
(Dott. Marco Sangalli).

Photographic survey of the trusses
(Dr. Marco Sangalli).

08

Rilievo di dettaglio della specie
vegetali e delle patologie di
degrado (Dott. Marco Sangalli).

Detailed survey of plant species
and degradation pathologies (Dr.
Marco Sangalli).

09

Prove dendrodensimetriche (Dott.
Marco Sangalli).

Dendrodensimetric tests (Dr. Marco
Sangalli).

stessa¹¹. Per una migliore conoscenza dello stato di conservazione delle strutture lignee si sono svolte delle indagini specialistiche che hanno riguardato ogni legno componente la capriata¹² (FIG. 05).

La disponibilità di questo materiale documentale ha fatto nascere, già in questa fase di studio, l'idea che nel modello HBIM fosse necessario giungere ad un dettaglio tale da individuare ogni elemento costituente la capriata cui agganciare i dati puntuali disponibili (FIG. 07, 08 e 09).

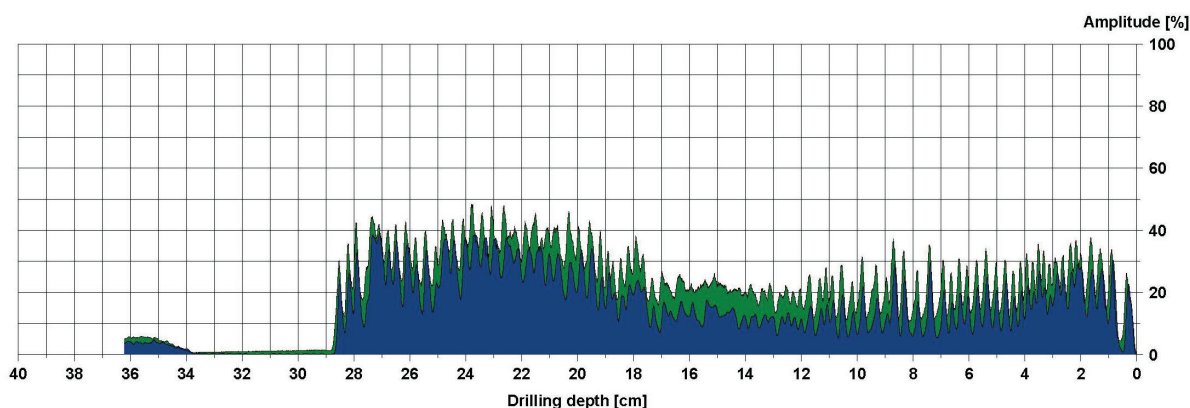
Poiché il quadro fessurativo non mostrava situazioni rilevanti, infatti era distribuito principalmente sulla volta con lesioni la cui natura era di carattere superficiale (FIG. 06), non si è ritenuto di dare spazio nel modello alla rappresen-

the truss itself¹¹. To better understand the state of preservation of the wooden structures, specialized investigations were carried out on each wood component of the truss¹² (FIG. 05). The availability of this documentary material gave rise, even at this stage of the study, to the idea that in the HBIM model it was necessary to identify each constituent element of the truss to which the available point data could be attached (FIG. 07, 08 and 09).

Regarding the crack pattern, there were no particularly worrisome situations. Cracks were mainly distributed on the vault; they were generally superficial, limited to the plaster, and only punctually structural (FIG. 06). Therefore, in the HBIM model, we decided not to give space to the represen-

Measuring / object data

Measurement no. :	19	Needle speed :	2000 r/min	Diameter :	
ID number :	03EV	Needle state :	--	Level :	
Drilling depth :	36,21 cm	Tilt :	+90°	Direction :	
Date :	26.09.2019	Offset :	89/247	Species :	
Time :	16:07:30	Avg. curve :	off	Location :	
Feed speed :	150 cm/min	Name :			



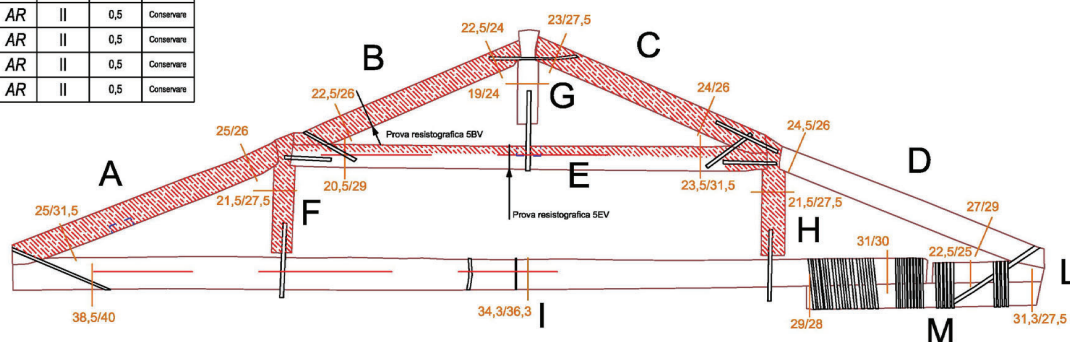
Assessment

From	0,0 cm	to	0,0 cm	:
From	0,0 cm	to	0,0 cm	:
From	0,0 cm	to	0,0 cm	:
From	0,0 cm	to	0,0 cm	:
From	0,0 cm	to	0,0 cm	:
From	0,0 cm	to	0,0 cm	:

Comment

Studio Arboretica
03EVM019.rgp

Elemento:	Specie:	Categoria:	Stato attuale:	Intervento:
A	AR	II	1,5	Conservare
B	AR	II	2,0	Conservare
C	AR	II	1,5	Conservare
D	AR	II	0,5	Conservare
E	AR	II	2,0	Conservare
F	AR	II	1,0	Conservare
G	AR	II	0,5	Conservare
H	AR	II	0,5	Conservare
I	AR	II	0,5	Conservare
L	AR	II	0,5	Conservare
M	AR	II	0,5	Conservare



Legenda degrado biologico

- Degrado da carie del legno
- Degrado da insetti
- Degrado biologico combinato

- Incavo a tasca
- Fessurazioni da ritiro radiale
- Staffa metallica

36/34 Dimensioni base/altezza (cm)

Santuario di San Luigi Gonzaga in Castiglione d/S	
INDAGINE DIAGNOSTICA SULLE STRUTTURE LINEE DELLA COPERTURA	
Elemento:	
COPERTURA NAVATA: CAPRIATA 5	
Data rilievo:	Scale:
27.08.2019	non spec.
Autore (overseer): Marco Sangalli	Autore (overseer): Adriano Pradelli



10

Rinforzo storico della capriata con regge metalliche.
Historical truss reinforcement with metal strapping.

11

Rinforzo storico della capriata con regge metalliche: si nota come un elemento di complemento del rinforzo sia rotto.
Historical reinforcement of the truss with metal braces: it can be seen that a complementing element of the reinforcement is broken.

tazione delle lesioni nella volta (FIG. 10 e 11).

L'apparente sovrastima del rischio sismico di questo manufatto, che di fatto non è evidente dal quadro fessurativo riscontrato, è invece supportata dalla situazione conservativa delle strutture lignee del tetto e sulla opportunità di creare una copertura scatolare.

Alcune travi lignee presentavano un quadro deformativo eccessivo. In diversi casi l'orditura primaria era sostenuta mediante pilastri in mattoni pieni, con precaria stabilità, che gravano sulla volta. Si sono rilevati elementi con evidenti fenomeni di marcescenza, altri ammalorati per la presenza di colonie di insetti parassiti, oltre a travi rinforzate mediante affiancamento di altro legname¹³. Ad aggravare la situazione bisogna aggiungere la labilità di rinforzi e collegamenti storici, realizzati con regge metalliche ormai non più efficaci e prive di tenuta perché arrugginite e spesso private della connessione con l'elemento ligneo.

La conseguenza di questa situazione all'intradosso della copertura era visibile anche sull'estradosso. Infatti, il manto mostrava numerose criticità: erano presenti avvallamenti nelle falde causati dagli elementi strutturali sottodimensionati e non idonei a sopportare i carichi permanenti (peso della copertura) e variabili (neve); nei pressi delle aree di compluvio era avvenuto lo scivolamento dei coppi e l'assenza di adeguate lattonerie impediva il corretto smaltimento delle acque meteoriche. Non meno grave era lo scivolamento dei coppi in prossimità del colmo, facilitando l'ingresso di acqua nel sottotetto.

Il progetto di intervento, affidato ad uno studio professionale, è stato sviluppato sia in modalità tradizionale che modalità BIM, dimostrando come all'interno di un unico modello fosse possibile avere diversi livelli di approfondimento e di dettaglio. Da un punto di vista conservativo il modello è riuscito a far capire meglio come fosse possibile ipotizzare un intervento antisismico, agendo dall'intradosso senza rimuovere l'assito e travetti (sostituiti negli anni '90¹⁴) nell'ottica del minimo intervento. Pertanto, è appar-

tation of the lesions in the vault but, rather, to deepen the details of the roof structure (FIG. 10 and 11). On the other hand, the apparent overestimation of the seismic risk of this element, which is not evident from the crack picture found, is supported by the situation of the wooden roof structures. Some wooden beams show an excessive deformation picture. In several cases, the primary frame was supported by solid brick piers, with precarious stability, which burdened the vault. We found elements with evident rotting phenomena. And also others deteriorated due to the presence of colonies of parasitic insects, as well as beams reinforced by placing timber side by side¹³. We also considered the inconsistency of reinforcements and historical connections made with metal braces that are no longer effective. They missed tightness because they have rusted and are often without connections with the wooden element.

The consequence of this situation on the intrados was also visible on the extrados. The roof covering showed numerous criticalities. There were depressions in the pitches caused by the undersized structural elements that were not suitable to withstand permanent (weight of the roof) and variable (snow) loads. Slippage occurred near the compluvial areas of the roof tiles. We should consider also the absence of adequate tinwork to prevent the proper disposal of rainwater. Another problem was the slippage near the ridge, which allowed water to enter the attic.

The project was developed in both traditional and BIM modes, demonstrating how it was possible to have different levels of depth and detail within a single model. From a conservative point of view, the model was able to understand better how it was possible to assume an earthquake-resistant intervention, acting from the intrados without removing the planking and joists (replaced in the 1990s¹⁴) with a view to minimum intervention. The uniformity with which the floorboard and joists were modeled determined by their industrial workmanship highlighted how the absence of information to be connected was related to the good state of

12

Linea vita per raggiungere il sottotetto.
Lifeline to reach the attic.



so inutile proporre lo smontaggio dell'orditura secondaria, quanto piuttosto, attraverso il modello HBIM, vedere come organizzare i rinforzi più facilmente valutabili dal modello stesso.

La conoscenza: il rilievo

Al fine di poter ottenere idonee informazioni sullo stato di conservazione e delle patologie di degrado, si è condivisa la necessità di procedere, per l'intero edificio, ad un'articolata attività di rilievo, sia dal punto di vista geometrico che strutturale, non essendo disponibile né in formato digitale né cartaceo. Propedeutico al rilievo è stato posizionato un sistema composto da scale e linee vita certificate che, garantivano la possibilità di raggiungere il sottotetto in sicurezza¹⁵ (FIG. 12).

Proprio per il tipo di intervento si è preferito rilevare l'intera chiesa con metodi e finalità diverse. L'intervento sulle coperture, infatti, non può esulare da una conoscenza dell'intero edificio in quanto sono da tenere in considerazione non solo gli elementi della copertura (sistema di capriate) ma anche le interazioni che vengono stabilite con gli altri elementi (la struttura muraria, le volte, il manto di copertura) (FIG. 13).

Il rilievo architettonico ha seguito l'iter collaudato che vede nell'integrazione di metodi e dati la procedura più efficace per ottenere risultati significativi e corretti. In particolare, si è realizzata la rete di inquadramento – ossatura del rilievo, un rilievo laser-scanner per gli interni e per gli esterni al livello più basso, un'acquisizione fotogrammetrica da drone per la copertura e i paramenti esterni.

La rete topografica è stata materializzata in modo permanente così da poter tornare nel tempo e poter ricollocare

preservation (however undersized the joists). Therefore, it appeared unnecessary to propose the disassembly of the secondary warp, but rather, through the HBIM model to see how to organize the reinforcements punctually highlighted by the model itself.

Knowledge: the survey

To obtain suitable information on the state of preservation and degradation pathologies, we decided to proceed, for the entire building, to an articulated survey activity, both from the geometric and structural point of view, which was not available either in digital or paper format. Preparatory to the survey, a system consisting of certified ladders and lifelines was placed, which ensured that the attic could be reached safely¹⁵ (FIG. 12).

The survey of the entire church was done with different methods and goals, according to the specific needs. The intervention on the roofs cannot be exempt from a knowledge of the whole building since not only the elements of the roof itself (truss system) but also the interactions with the other elements (the masonry structure, the vaults, the roof covering) are to be taken into account. We decided to acquire all the interior and exterior masonry of the main body (leaving out the outbuildings) and the main hall of the church (main nave and apse) separated from the attic only by the vault (FIG. 13).

The architectural survey followed the proven procedure of integrating methods and data as the most effective procedure for obtaining meaningful and correct data. Specifically, the framing network -the structure of the survey- was carried out, the laser-scanner survey for the interior and exterior at the lowest level, and a drone photogrammetric acquisition for the roof and exterior facings.



13
Rilievo del sottotetto.
Survey of the attic.

eventuali nuove misure nel medesimo sistema di riferimento. Le misure sono state effettuate con la stazione totale Leica TS30 e compensate in modo da ottenere una rete topografica qualitativamente idonea alla scala 1:50. La rete topografica di inquadramento è stata utilizzata come base per le reti di dettaglio necessarie al rilievo laser-scanner e da drone. Infatti, a partire dai punti di rete, sono stati misurati sia i *target* fotogrammetrici sia i *target* laser-scanner.

Il rilievo è stato realizzato con i *laser* LEICA HDS7000. Le impostazioni di scansione (risoluzione e posizione) sono state scelte in funzione del sito e dello scopo. Per gli esterni, infatti, utilizzati per un inquadramento generale della chiesa, non era richiesta un'altissima risoluzione. Però, l'altezza massima della chiesa di oltre 43 m sopra il livello stradale (zona in cui sono state realizzate le scansioni per gli esterni) ha determinato la necessità di lavorare con una risoluzione di acquisizione abbastanza alta (impostazione di acquisizione pari a 6 mm a 10 m - High) in modo da avere una risoluzione sufficiente anche nelle parti più alte della basilica. Per gli esterni sono state realizzate 16 scansioni che hanno permesso di rilevare tutti i muri perimetrali della chiesa, seppure con evidente mancanza di dato nelle parti alte proprio per la posizione di acquisizione.

All'interno, soprattutto per i sottotetti, si è scelto di lavorare con risoluzioni di scansioni inferiori (12 mm a 10 m - Medium), ma in numero superiore. La minore risoluzione della singola scansione è stata compensata dalla loro numerosità, ottenendo così una nuvola del sottotetto comunque densa, garantendo di rilevare ogni elemento da diverse posizioni, evitando zone d'ombra. Per le difficoltà di raggiungere con la rete topografica il sottotetto, le 10

The topographic network was materialized by permanent knots, so any new measurements could return over time and be relocated to the same reference system. Measurements were taken with the Leica TS30 total station and adjusted to obtain a qualitative topographic network at a scale of 1:50. The topographic framing network was used as the basis for the detail networks needed for the laser-scanner and drone survey. In fact, from the network points, we measured both photogrammetric and laser-scanner targets.

The survey was carried out with the LEICA HDS7000 laser. The scan settings (resolution and position) were chosen according to the site and purpose. In the exteriors, helpful only for general framing of the church, a very high resolution was not required.

However, the maximum height of the church of more than 43 meters above street level (the area where the scans for the exteriors were made) determined the need to work with a reasonably high acquisition resolution to have sufficient resolution even in the highest parts of the basilica: acquisition setting of 6 mm at 10 meters - High. For the exteriors, we acquired 16 scans to survey all the perimeter walls of the church, albeit with a noticeable lack of data in the higher parts precisely because of the acquisition position.

In the interior, especially for attics, we chose to work with lower scan resolutions (12 mm at 10 meters - Medium), but higher numbers.

The lower resolution of the single scan was compensated by the multiple scans we did, thus obtaining a cloud of the attic that was nonetheless dense, ensuring that each element was detected from different positions, avoiding shaded areas. Due to the difficulties of reaching the attic with the



scansioni realizzate sono state registrate tra loro con un algoritmo di tipo ICP (Iterative Closest Point) all'interno del software Leica Cyclone e, solo al termine, l'intero blocco di scansioni è stato georeferenziato sulla base della rete topografica. L'interno della chiesa, necessario per estrarre lo spessore delle murature, lo spessore della volta e verificare la corrispondenza degli elementi architettonici (tra sottotetto e aula principale) è stato acquisito in 5 scansioni. Per completare il rilievo geometrico, si è scelto di utilizzare un drone, utile per rilevare il manto di copertura ed elementi della cupola principale, nascosti nelle scansioni laser-scanner (FIG. 14). L'acquisizione fotogrammetrica è stata sviluppata in più voli utilizzando foto nadirali (per il manto di copertura), foto orizzontali (ortogonali alle murature perimetrali – per l'acquisizione delle parti alte delle facciate) e foto inclinate per collegare i due precedenti set di fotografie. Per l'acquisizione è stato utilizzato il drone Mavic 2 Pro con sensore Hasselblad L1D-20c per ottenere immagini a 20 Mpixel. Le immagini sono state elaborate con il software Agisoft Photoscan (oggi Agisoft Metashape) e sono state georeferenziate nel sistema di riferimento topografico mediante *target* a scacchiera bianco neri posizionati a terra e punti architettonici nelle parti alte della basilica. Al termine del processo è stata estratta la nuvola di punti colorata ad alta risoluzione e l'ortofoto dall'alto della chiesa, con un GSD pari a 5 mm sul manto di copertura. Al termine della fase di acquisizione dati, dunque, i modellatori in Revit hanno avuto a disposizione quattro set di dati, tutti nel medesimo sistema di riferimento:

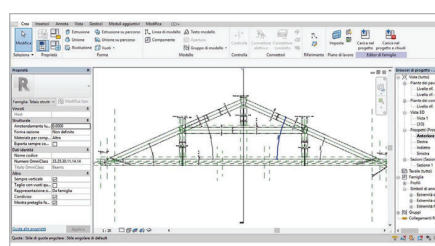
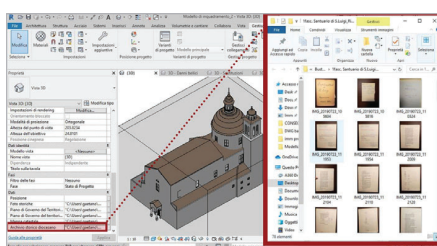
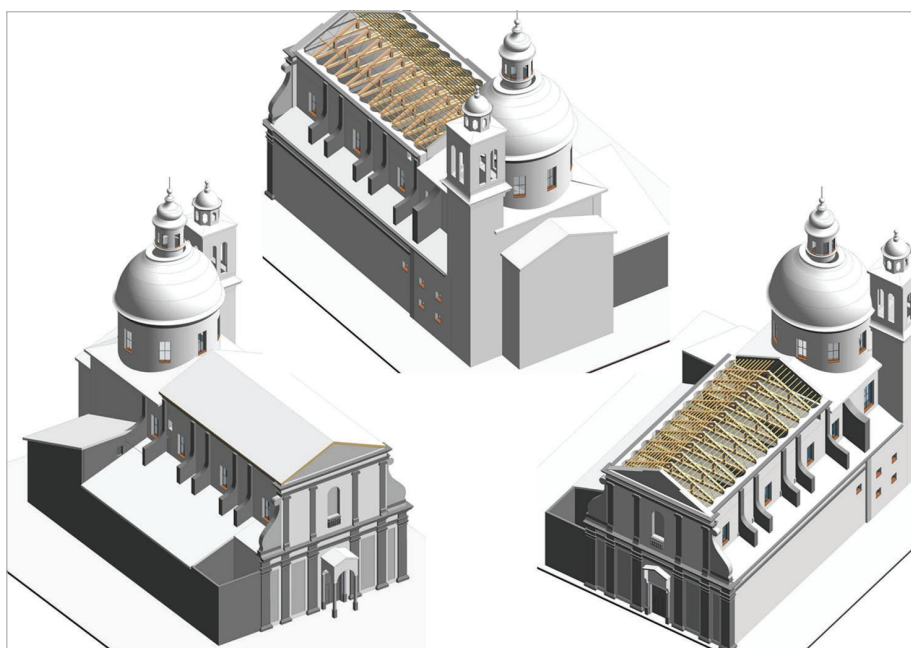
1. Interno chiesa laser-scanner;
2. interno sottotetto laser-scanner;

topographic network, the 10 realized scans were registered with each other with an ICP (Iterative Closest Point) type algorithm within the Leica Cyclone software. Only at the end the whole block of scans was georeferenced based on the topographic network. The church's interior was acquired in 5 scans because it was necessary to extract masonry and vault thickness and to verify the correspondence of the architectural elements (between the attic and the main hall). We also used a drone to complete the geometric survey. It was helpful for the detection of the roof covering and elements of the central dome that were hidden in laser-scanner survey (FIG. 14).

The photogrammetric acquisition was developed in multiple flights using nadiral photos (for the roofing), horizontal pictures (orthogonal to the perimeter masonry - for the high parts of the facades) and tilted photos to connect the two previous sets of photographs. We used Mavic 2 Pro drone with a Hasselblad L1D-20c sensor with a 20 Megapixel sensor. The images were processed with Agisoft Photoscan software (now Agisoft Metashape). They were georeferenced in the topographic reference system using black-white checkerboard targets placed on the ground and architectural points in the upper parts of the basilica. At the end of the process, the high-resolution coloured point cloud and the top orthophoto -with a GSD (Ground Sample Distance) equal to 5 mm on the roof- were extracted.

At the end of the data acquisition phase, therefore, the modellers in Revit had four datasets at their disposal, all in the same reference system:

1. Interior church laser-scanner;
2. interior attic laser-scanner;



15
Modello semplificato della Chiesa.
Simplified model of the church.

16
Collegamento tra modello e documentazione archivistica relativa alla copertura.
Link between model and archival documentation related to the roofing.

17
Modello parametrico della capriata alla palladiana.
Parametric model of the Palladian-style truss.

18
Collegamento del modello con la documentazione fotografica. Nel modello architettonico si è conservata la geometria eterogena della muratura sommitale seppur nel modello strutturale si è considerata la sezione minore.
Linking the model with the photographic documentation. In the architectural model, the heterogeneous geometry of the summit masonry was preserved, although the minor section was considered in the structural model.

19
Dettaglio del modello con inserito il progetto di consolidamento.
Detail of the model with the consolidation project inserted.

3. esterni laser-scanner,
4. esterno alto drone.

Tutti i *set* di dati, composti da nuvole di punti (solo quella da drone colorata con il valore RGB, le altre solo con valore di *intensity*), sono stati convertiti nel formato Autodesk.rcp, per essere importati nel software Autodesk Revit scelto per la modellazione BIM. Tale software è stato individuato perché la sua diffusione che lo rende il software di BIM-authoring più utilizzato, definendolo quindi uno *standard de-facto*. Tale scelta rende la sperimentazione più significativa perché non comporta il ricorso a software *open-source* o di nicchia, per i quali è necessario una fase di apprendimento da zero, ma permette già di utilizzare conoscenze ed esperienza pregressa.

La modellazione

Terminata la fase di acquisizione dati si è iniziata la modellazione geometrica ed informativa del dato. Come sempre avviene in ambito BIM, ancor prima di mettere mano al dato è opportuno un confronto tra tutti i protagonisti del progetto (rilevatori, modellatori, restauratori ed ingegneri) per determinare l'approccio più corretto.

La chiesa è stata modellata con una forte semplificazione (**FIG. 15**), tralasciando quasi completamente gli elementi de-

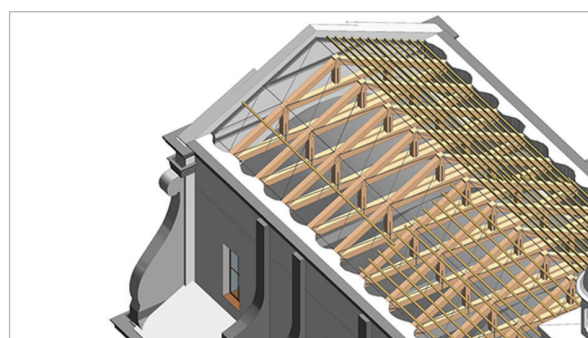
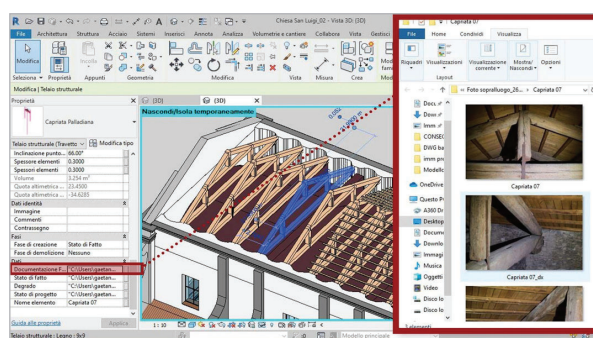
3. exterior laser-scanner,
4. external drone.

All data sets, made of point clouds (all with intensity value and only the one from drone coloured with RGB value) were converted to Autodesk.rcp format to be imported into the Autodesk Revit software, chosen for BIM modelling. That software was chosen because of its widespread use (it is the most widely used BIM-authoring software), thus defining it as a de-facto standard. This choice made the experimentation more meaningful because it does not involve using open source or niche software, for which a learning phase from scratch is necessary, but allows the use of already prior knowledge and experience.

The modelling

Once the data acquisition phase was over, the geometric and informational modelling of the data began. As is always the case in BIM, even before getting to grips with the data, a comparison between all the project players (surveyors, modellers, restorers and engineers) is appropriate to determine the correct approach.

The church was modelled with a substantial simplification (**FIG. 15**), leaving out almost wholly the decorative elements but paying attention to those related to the attic, such as the



corativi ma ponendo attenzione a quelli connessi al sottotetto come lo spessore delle pareti perimetrali, della volta e l'imposta del tamburo della cupola.

In questa fase emergono alcune caratteristiche dell'approccio BIM.

Da una parte si è perso il concetto di scala di rappresentazione, preferendo infatti usare la definizione di “livello di dettaglio - LOD” (soprattutto nei documenti che accompagnano il BIM) o di semplificazione. La modellazione ha mantenuto la corretta posizione degli elementi che compongono l'architettura (oggetti) e la loro dimensione di massima, senza arrivare alla rappresentazione grafica di peculiarità, per ora non ritenute determinanti per gli obiettivi del progetto, ma che possono essere implementate in una fase successiva di studio. Si è quindi scelto di focalizzare l'attenzione sugli elementi del sottotetto, in particolare le capriate.

Oltre ad estrarre le quasi-ortofoto¹⁶ di ogni singola capriata per le rappresentazioni di prospetto anteriore, posteriore, dal basso e sezione trasversale, si è approfondito il sistema costruttivo utilizzato. Lo scopo era di modellare una famiglia parametrica¹⁷ che rispondesse alla tecnologia utilizzata nel costruire la capriata, ponendo attenzione ai nodi, alle connessioni, agli spessori e al funzionamento anche strutturale di ogni elemento tecnologico.

Inizialmente si è proceduto con un approfondimento bibliografico e archivistico sulle tecnologie costruttive locali e sulle trasformazioni della fabbrica (FIG. 16)¹⁸.

Successivamente si sono correlati i dati rilevati con una capriata ideale¹⁹ e individuato uno schema di riferimento per tutte le 10 campate del sottotetto, sia in termini geometrici (dimensioni relative delle singole parti) sia in termini costruttivi (collegamenti in ferro, taglio dei legni in corrispondenza delle connessioni, ecc.)²⁰.

Determinati questi elementi si è definita una famiglia parametrica²¹ composta dai parametri che hanno tenuto conto delle relazioni geometriche individuate dalla letteratura. I parametri sono essenzialmente di due tipi: quelli legati agli aspetti geometrici, altri più connessi a caratteristiche costruttive, materiali e stato di conservazione. I primi sono utili a definire la tipologia e la dimensione della capriata; i secondi fanno riferimento ad altre informazioni, come per esempio

thickness of the perimeter walls, the vault and the impost of the dome drum.

Some characteristics of the BIM approach emerged at this stage.

On the one hand, the concept of scale of representation was lost, preferring to use the definition of “level of detail - LOD” (especially in documents accompanying BIM) or simplification. The modelling has maintained the correct position of the elements that make up the architecture (objects) and their maximum size, without going as far as the graphic representation of peculiarities. For now the high detail graphic representation was not considered decisive for the objectives of the project, but it can be implemented at a later stage of study. It was therefore chosen to focus on the elements of the attic, particularly the trusses.

In addition to extracting quasi-orthophotos¹⁶ of each truss for the front, rear, bottom, and cross-sectional elevation representations, the construction system used was investigated in depth. The aim was to model a parametric family¹⁷ that would respond to the technology used in building the truss, paying attention to the nodes, connections, thicknesses, and also structural functioning of each technological element. Therefore, an in-depth bibliographic and archival survey of local building technologies and transformations of the factory was carried out (FIG. 16)¹⁸.

Then we correlated the surveyed data with an ideal truss¹⁹ and identified a reference scheme for all 10 bays of the attic, both in geometric (relative dimensions of the individual parts) and construction (iron connections, cutting of timbers at connections, etc.) terms²⁰.

After determining these elements, we built a parametric family²¹ based on parameters that took into account all the geometric relationships identified in the literature. The parameters were basically of two types: some related to geometric aspects, others more related to construction characteristics, materials, and state of preservation. The former is helpful to define the type and size of the truss in its parts (monks, triplets, chains); the latter refers to information such as the material, the presence of connectors, keys and specific connections, etc. We also added materials and structural analysis reports. At the end of data insertion, it was possible to obtain ten trusses, each with specific dimensions

il materiale, la presenza di connettori, chiavature e collegamenti specifici ecc. A completamento delle informazioni si sono aggiunte quelle derivanti dalle analisi effettuate.

Al termine del lavoro si sono ottenute dieci capriate, ognuna con misure specifiche, ma sempre riferita alla singola famiglia parametrica, i cui dati sono stati conservati in una cartella condivisa (FIG. 17).

Un secondo approfondimento che la nuvola di punti ha aiutato a comprendere meglio riguarda la particolare sezione orizzontale delle murature perimetrali che presentano un assottigliamento in corrispondenza delle capriate (FIG. 18).

Questo particolare, documentato nella bibliografia riguardante le tecniche costruttive locali²², trova la sua ragione nella necessità di alleggerire la struttura. Pertanto, costruttivamente, il muro è rimasto invariato in corrispondenza degli appoggi delle capriate, mentre è stato assottigliato nello spazio intermedio. Si è scelto di riportare questa caratteristica nel modello BIM architettonico anche se nel progetto antisismico si è considerata la situazione peggiore, perciò, con il muro più sottile.

Come ultima attività progettuale è stato riportato il progetto strutturale del tetto nel modello architettonico della chiesa sempre nell'ottica di individuare valori potenzialità ma anche le difficoltà riscontrabili nel passaggio tra una gestione del manufatto in modo tradizionale o con nuove risorse e metodologie come l'HBIM (FIG. 19).

Conclusioni

L'esperienza di collaborazione sviluppata tra le discipline della geomatica e del restauro architettonico nell'ambito di questo progetto ha dimostrato come l'introduzione di tecnologie innovative all'interno di un percorso di conservazione di carattere applicativo, porti con sé dei risvolti decisamente positivi riconducibili a due aspetti. Da un lato è da sottolineare la possibilità di una maggiore conoscenza del manufatto e precisione nell'intervento progettato grazie alla visualizzazione integrata di nuvola di punti e modello geometrico. Dall'altro lato la modellazione parametrica di una porzione del fabbricato è stata funzionale alla georeferenziazione dei numerosi ed eterogenei dati raccolti preliminarmente al progetto, riferiti a quella parte. Il doppio livello di approfondimento del modello ha permesso di avere un'idea complessiva delle geometrie in gioco e nello stesso tempo di concentrare gli sforzi di conoscenza solo sull'ambito a cui è stato destinato il progetto. Questo ha consentito di limitare lo sforzo di tempo e conseguentemente economico assecondando le disponibilità reali della committenza senza far venir meno il valore di gestione del progetto nell'immediato e senza impedire la possibilità di una sua implementazione nel prossimo futuro in occasioni di ulteriori lotti operativi e disponibilità finanziarie.

but all referring to the single parametric family (FIG. 17).

With this data in both forecast and final accounting, it was clarified that the wooden parts were replaced including part of the trusses. It was thus possible to confirm, on a documental basis, what had already been verified in the inspection, and to place geometric modelling side by side with informational modelling by linking model elements to a shared folder containing photos, reports, and analyses. The point cloud helped to understand better the particular horizontal section of the perimeter walls (FIG. 18).

This detail, documented in the bibliography concerning local construction techniques²², finds its reason to lighten the structure. Therefore, constructively, the wall remained unchanged at the truss supports while it was thinned in the intermediate space. It was chosen to report this feature in the architectural BIM model even though in the earthquake-proof design, the worst situation was considered, therefore, with the thinnest wall.

As a final design activity, the structural design of the roof was brought back into the architectural model of the church again with a view to identifying potential values but also difficulties found in the transition between managing the building in a traditional way or with new resources and methodologies such as HBIM (FIG. 19).

Conclusions

The collaborative experience developed between the disciplines of geomatics and restoration within the framework of this project has shown how the introduction of innovative technologies within a conservation path of an applied nature brings decidedly positive implications attributable to two aspects. On the one hand, the possibility of more excellent knowledge of the artifact and precision of the designed intervention thanks to the integrated visualization of point cloud and geometric model should be emphasized. On the other hand, the parametric modelling of a portion of the building was functional for georeferencing the numerous and heterogeneous data collected before the project, referring to that part. The double level of detail of the model allowed for an overall idea of the geometries involved. But, simultaneously, it guaranteed the focus on the project area. The approach allowed to rest some time and consequently to have an economic effort to the actual availability of the client without detracting from the management value of the project in the immediate term and without preventing the possibility of its implementation shortly on the occasion of other operational batches.

Note/Notes

1 Murphy, McGovern, Pavia 2009.
2 Della Torre *et al.* 2017.
3 Brumana 2019.
4 Adami *et al.* 2019.
5 Mazzoldi 1961.
6 Farlenga 1979.
7 Boschi, Morrone 1982; Lonati 1929; Pirazzoli 1977. L'architetto camaldolese di Lonato Paolo Soratini fu incaricato di elaborare il progetto della nuova chiesa del Santo. Fu preferito ad un progettista della Compagnia del Gesù sia perché la sua fama era ormai molto affermata nel bresciano e nel mantovano, sia perché all'interno dell'ordine gli architetti gesuiti erano pochi ed era difficile trovarne uno che seguisse i lavori in una località così periferica. Il Soratini aveva una fitta rete di collaboratori locali, che dirigevano i cantieri durante i suoi viaggi, e lo ragguagliavano sull'evoluzione dei lavori. Per Castiglione aveva elaborato due diverse versioni del progetto ma nessuna delle due fu realizzata integralmente. Nella maggiore parte dei casi l'architetto si limitava a fornire disegni che venivano adattati alle esigenze delle singole situazioni topografiche. I lavori della chiesa di Castiglione furono diretti da Domenico Ciresa che modificò il progetto originario semplificando il perimetro del presbiterio, rendendolo lineare. La costruzione fu completata in un arco di tempo piuttosto lungo a causa di numerose interruzioni.
 Boschi, Morrone 1982; Lonati 1929; Pirazzoli 1977. The Camaldolese architect from Lonato Paolo Soratini was commissioned to draw up the plans for the new church of the Saint. He was preferred over a designer from the Società di Gesù both because his reputation was now well established in the Brescia and Mantua areas and because there were few Jesuit architects within the order and it was difficult to find one to oversee the work in such a peripheral location. Soratini had a dense network of local collaborators, who directed construction sites during his travels and briefed him on the progress of the work. For Castiglione he had drawn up two different versions of the project, but neither was fully realized. In most cases the architect merely provided drawings that were adapted to the needs of individual topographical situations. Work on the Castiglione church was directed by Domenico Ciresa, who modified the original design

by simplifying the perimeter of the presbytery, making it linear. The construction was completed over a rather long period of time due to numerous interruptions.

8 Sale 2001; Parizzi 2003; Balestrieri *et al.* 1997.

9 Antoldi 1817; Susani 1818. La navata si presenta con linee semplici. Al centro della volta a botte è dipinto San Luigi che insegna il catechismo ai giovani di Roma, mentre sopra le cornici orizzontali della volta, sono raffigurati i dodici apostoli e i simboli dei quattro evangelisti. Il dipinto murale è stato realizzato dal pittore Martinenghi nel 1891. Fra le due membrature dell'arco trionfale le opere dipinte sono più antiche e risalgono al 1741. Furono eseguite dal pittore veronese Giorgio Anselmi e rappresentano la gloria di San Luigi Gonzaga.

Antoldi 1817; Susani 1818. The nave has simple lines. In the center of the barrel vault is painted San Luigi teaching catechism to the youth of Rome, while above the horizontal frames of the vault, the twelve apostles and symbols of the four evangelists are depicted. The wall painting was made by painter Martinenghi in 1891. Between the two members of the triumphal arch, the painted works are older and date back to 1741. They were executed by Veronese painter Giorgio Anselmi and depict the glory of San Luigi Gonzaga.

10 I quattro pennacchi della cupola, incorniciati da decorazioni a stucco, sono attribuiti al Pitocchetto (Giacomo Ceruti) e rappresentano episodi della vita del Santo: la nascita, la prima comunione, la rinuncia al marchesato e l'ingresso di Luigi nella Compagnia di Gesù a Roma. La calotta interna della cupola è ornata da una ricca decorazione a stucco con otto medaglioni affrescati, raffiguranti le virtù cristiane. La carità è rappresentata da S. Luigi vestito da principe nell'atto di soccorrere l'appestato. Nell'interno del cupolino della lanterna, una colomba rappresenta lo Spirito Santo.

The dome's four pendentives, framed by stucco decorations, are attributed to Pitocchetto (Giacomo Ceruti) and depict episodes from the saint's life: his birth, his first communion, his renunciation of the marquise, and his entry into the Società di Gesù in Rome. The inner dome cap is adorned with a rich stucco

decoration with eight frescoed medallions depicting the Christian virtues. Charity is represented by San Luigi dressed as a prince in the act of rescuing the plague-ridden. Inside the dome of the lantern, a dove represents the Holy Spirit.

11 Appare essere un tetto alla "lombarda".

It appears to be a "Lombard-style" roof.

12 Ciascun elemento costitutivo la struttura portante principale è stato visionato ai fini dell'identificazione della specie legnosa, della valutazione dei difetti e delle anomalie presenti, localizzazione e quantificazione delle alterazioni subite nel corso del tempo, valutazione dello stato dei collegamenti.

Each constituent element of the main load-bearing structure was viewed to identify the wood species, evaluate the defects and anomalies present, locate and quantify the alterations suffered over time, and assess the condition of the connections.

13 L'incarico per lo studio dell'apparato ligneo è stato affidato al Dott. Forestale Marco Sangalli. Estratto dalla relazione: "Gli elementi lignei costituenti le capriate (catene, puntoni, sottocatene e monaci) sono costituiti da travi in legname di conifera (abete rosso). Unica eccezione è costituita dal monaco centrale della capriata n° 8 che è realizzato in legname di quercia. Le travi sono state ricavate dalla lavorazione ad ascia di tondame con diametri compresi tra 45 e 20 cm. Le catene presentano lavorazione eseguita prevalentemente su due facce opposte, seguendo la rastremazione del tronco e con conservazione del tondo sul resto. Puntoni e monaci sono lavorati ad "uso trieste" mediante squadratura continua, dal calcio alla punta, su quattro facce seguendo la rastremazione del tronco con mantenimento degli smussi. Le travi presentano lavorazione grezza con frequenti irregolarità evidenziate dalla presenza di fenditure longitudinali dovute al ritiro radiale, fibratura deviata e presenze di nodi".

The assignment for the study of the wooden apparatus was given to Dr. Forestry Marco Sangalli. Extract from the report: "The wooden elements constituting the trusses (chains, struts, underchains and monks) are made of coniferous (spruce) lumber beams. The only exception is the central monk

of truss No. 8, which is made of oak lumber. The beams were obtained from the axe machining of ton-dames with diameters between 45 and 20 cm. The chains have machining done mainly on two opposite faces, following the tapering of the log and with preservation of the round on the rest. Struts and monks are worked in "trieste use" by continuous squaring, from butt to toe, on four faces following the tapering of the log with preservation of the bevels. The beams show rough workmanship with frequent irregularities evidenced by the presence of longitudinal cracks due to radial shrinkage, deviated grain and presence of knots."

14 Nel 1991, in occasione della visita del Papa Giovanni Paolo II fu eseguito un intervento sulle coperture e sugli intonaci di facciata.

In 1991, on the occasion of the visit of Pope John Paul II, work was carried out on the roofing and plastering of the facade.

15 Scala 2022. La predisposizione della linea vita fu finanziata dal progetto "Beni culturali al sicuro" bando Cariplo 2018.

Scala 2022. The provision of the lifeline was funded by the "Cultural Heritage Safe" project Cariplo announcement 2018.

16 Il termine quasi-ortofoto descrive il prodotto estratto attraverso la proiezione di una nuvola di punti densa su un piano di riferimento. Si preferisce anteporre il "quasi" perché non si tratta di un prodotto generato da fotografie ma da nuvola di punti.

The term quasi-orthophoto describes the product extracted through the projection of a dense point cloud onto a reference plane. We prefer to put "quasi" in front because it is not a product generated from photographs but from point cloud.

17 Cantadore 2021; De Cocinis, Ferrari, Fanzini 2021.

18 ADM, fondo Amministrativo-Castiglione d. S. Menna Poma, Danni di Guerra.

ADM, Administrative Fund-Castiglione d. S. Menna Poma, War Damages.

19 Breyman 1927; Scaglia, Prager, Montag 1984; Valeriani 2005.

20 Zamperini 2019.

21 Chiabrando, Lo Turco, Santagati 2017; Garozzo, Santagati, Lo Turco 2019.

22 Scudo, Roncai 2002.

Bibliografia/Bibliography

- Adami et al. 2019: A. Adami, L. Fregonese, O. Rosignoli, B. Scala, L. Taffurelli, D. Treccani, *Geometric survey data and historical sources interpretation for HBIM process: the case of Mantua cathedral façade*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W11 (2019), pp. 29-35.
- Antoldi 1817: F. Antoldi, *Guida per il forestiero che brama conoscere le opere più pregevoli di belle arti nella città di Mantova*, Mantova 1817, pp. 15, 86.
- Balestreri et al. 1997: I. Balestreri, C. Coscarella, L. Patetta, D. Zocchi, *I gesuiti e l'architettura. La produzione in Italia dal XVI al XVIII secolo*, San Fedele edizioni, Milano 1997.
- Boschi, Morrone 1982: R. Boschi, R. Morrone (a cura di), *Paolo Soratini architetto lonatese*, Brescia 1982.
- Breymann 1927: G.A. Breymann, *Trattato generale di Costruzioni civili, Vol. II, Costruzioni in legno e strutture murali di Otto Warth*, Vallardi, Milano 1927.
- Brumana et al. 2019: R. Brumana, V. Pracchi, F. Rinaudo, A. Grimoldi, M. Scaioni, L. Cantini, M. Previtali, *Preface: geomatics and restoration. cultural heritage: challenges, new perspectives and technology innovation. Toward informative content models and beyond*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W1 (2019), pp. 1-2.
- Cantadore 2021: C. Cantadore, *HBIM per l'analisi del degrado a Cittaducale e Rieti*, in «BIM Portale», (2021), www.bimportale.com/hbim-lanalisi-del-degrado-cittaducale-rieti/ (ultimo accesso 17/10/2022).
- Chiabrando, Lo Turco, Santagati 2017: F. Chiabrando, M. Lo Turco, C. Santagati, *Digital invasions: From point clouds to historical building object modeling (h-BOM) of a Unesco WHL site*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», ISPRS Archives, (2017).
- De Cocinis, Ferrari, Fanzini 2021: A. De Cocinis, S. Ferrari, D. Fanzini, *Dal Digital Twin all'HBIM per il restauro di Palazzo Remondini*, in «BIM Portale», (2021), <https://www.bimportale.com/dal-digital-twin-allhbim-restauro-palazzo-remondini/> (ultimo accesso 17/10/2022).
- Della Torre, Mirarchi, Pavan 2017: S. Della Torre, C. Mirarchi, A. Pavan, *Il BIM per la conservazione rappresentare e gestire la conoscenza*, in «Ananke», 80 (2017), pp. 108-115.
- Farlenga 1979: F. Farlenga, *Castiglione da salvare*, Banca popolare di Castione delle Stiviere, Castiglione delle Stiviere 1979.
- Garozzo, Santagati, Lo Turco 2019: R. Garozzo, C. Santagati, M. Lo Turco, *Information Models to Manage Complexity for an Integrated Knowledge Project*, in «Diségno», 4 (2019), pp. 225-236.
- Lonati 1929: G. Lonati, *Note autobiografiche di Paolo Soratini*, Toscolano 1929.
- Mazzoldi 1961: L. Mazzoldi, *L'archivio dei Gonzaga di Castiglione delle Stiviere*, Q. R.A.S., Roma 1961.
- Murphy, McGovern, Pavia 2009: M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia, *Historic building information modelling (HBIM)*, in «Structural Survey», 27, 4 (2009), pp. 311-327.
- Parizzi 2003: M. Parizzi, *Architettura e arte dei Gesuiti*, Mondadori, Milano 2003.
- Pirazzoli 1977: N. Pirazzoli, *Una cronaca d'architettura di Giuseppe Antonio Soratini*, in D. Berardi, P. Fabbri, C. Giovannini, N. Pirazzoli (a cura di), *Il Settecento a Ravenna e nelle Legazioni*, Faenza Editrice, Faenza 1977.
- Sale 2001: G. Sale, *Pauperismo architettonico e architettura gesuitica. Dalla chiesa ad aula al Gesù di Roma*, Jaka Book, Milano 2001.
- Scaglia, Prager, Montag 1984: G. Scaglia, F.D. Prager, U. Montag (eds), *Taccola, Mariano di Jacopo detto il. [1427-1441]*, in *De ingeneis. Liber primis leonis, liber secundus draconis, addenda*, Ludwig Reichert Verlag, Wiesbaden 1984.
- Scala 2022: B. Scala, *Sinergie condivise per la qualità della conservazione*, Atti del XXXVI Convegno di Studi «Scienza e Beni Culturali» (Bressanone, 5-7 luglio 2022), pp. 1-12.
- Scudo, Roncai 2002: G. Scudo, L. Roncai (a cura di), *Argille ghiaie pietre calci. Materiali da costruzione nella storia del territorio mantovano*, Tre lune edizioni, Mantova 2002.
- Susani 1818: G. Susani, *Nuovo prospetto delle pitture, sculture e architetture di Mantova e dei suoi contorni*, Mantova 1818, pp. 15, 117, 122-123.
- Valeriani 2005: S. Valeriani, *Monaci, dardi e colonnelli. Genesi e caratteristiche delle capriate italiane*, Atti del IV Congresso Nazionale di Storia delle Costruzioni (Cadice, 27-29 gennaio 2005), pp. 1039-1049.
- Vallery-Radot 1960: J. Vallery-Radot, *Le recueil de plans d'édifices de la Compagnie de Jésus conservé à la bibliothèque National de Paris*, Roma 1960.
- Zamperini 2019: E. Zamperini, *Capriate e tetti di legno. Evoluzione tecnologica e tipologica delle strutture lignee di copertura in Italia (1800-1950)*, CLU, Pavia 2019.

Archivi

ADM: Archivio Diocesano di Mantova.

