



Processo di digitalizzazione in HBIM per la gestione ampliata del patrimonio culturale. *La Lonja de Zaragoza*

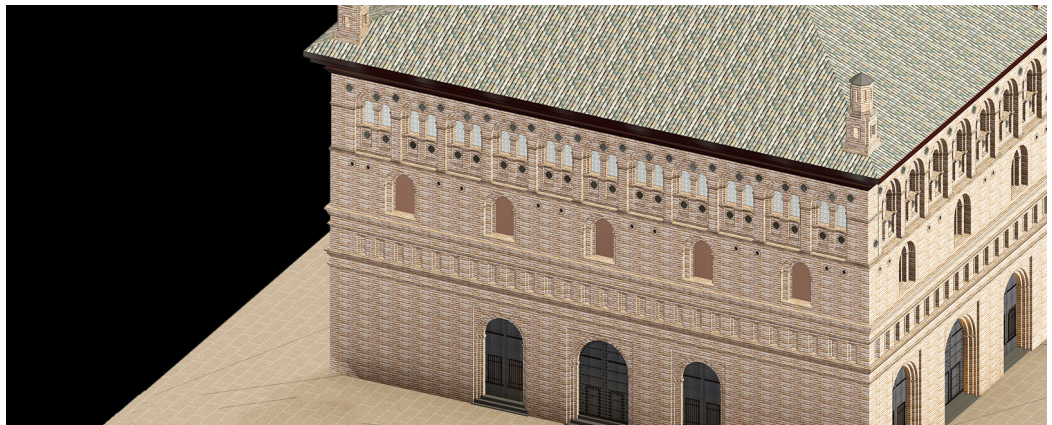
Luis Agustín Hernández
Carla Ferreyra
Barbara Messina

Abstract

Il paper illustra gli esiti di un lavoro di ricerca sulla *Lonja de Zaragoza*, condotto in sinergia dai gruppi di Disegno e di *Expresión Gráfica* degli Atenei coinvolti e finalizzato a sperimentare un efficace *workflow* applicabile in generale al patrimonio architettonico di interesse storico. In particolare, ripercorrendo le azioni sequenziali definite nella logica di un protocollo operativo, si descrive l'iter seguito per arrivare alla replica digitale di un monumento reale considerato emblematico ai fini della procedura di digitalizzazione. La metodologia proposta, che si muove nell'ambito di esperienze di ricerca consolidate, prevede da un lato la sperimentazione di una efficace integrazione di sistemi di cattura di dati: operazione, questa, spesso necessaria quando siano in studio monumenti o episodi architettonici di particolare interesse. Dall'altro consente di definire un prototipo di modello HBIM, identificativo di una tipologia architettonica specifica della Corona aragonese, la *Lonja*. L'obiettivo è, dunque, elaborare un modello semantico che possa intendersi come sistema di conoscenza integrato e come base informativa di riferimento efficacemente riproponibile, seppure con le dovute variazioni puntuali, per l'intero *corpus* tipologico a cui esso è riconducibile. In sintesi, si propone un approccio di indagine integrata in grado di supportare il processo di documentazione e di valorizzazione del *Cultural Heritage* in generale.

Parole chiave

fotogrammetria, laser scanner, HBIM, prototipo tipologico, documentazione digitale



Lonja de Zaragoza.
Modello HBIM.
Elaborazione grafica
degli autori.

Introduzione

La tutela del patrimonio architettonico rientra tra le responsabilità delle pubbliche amministrazioni. Protezione, conoscenza, divulgazione, manutenzione degli edifici sono alla base di tale operazione, e ciò implica l'attuazione di determinate iniziative. Secondo Aurora Villalobos [Villalobos Gómez 2020], queste si riassumono nell'integrare le dimensioni del patrimonio come monumento (valore estetico), documento (valore scientifico), identità (valore simbolico) e risorsa (valore economico); nel rispondere ai cambiamenti richiesti dal concetto sociale di patrimonio in continua trasformazione; nel conciliare la conservazione dei beni culturali e i servizi per gli utenti; nel collocare le persone al centro degli interventi sul patrimonio; nel creare sinergie con tutti gli attori coinvolti; nel promuovere azioni in coordinamento tra più settori; nel pianificare interventi di tutela a medio-lungo termine; nel valutare le azioni per ottimizzare le risorse e generare valore pubblico; nel trasferire le conoscenze e le migliori pratiche tra professionisti e amministrazioni; infine nel diffondere i processi di tutela per generare una cultura del patrimonio libera e responsabile.

Per la realizzazione di queste iniziative sono necessarie azioni di ricerca, sviluppo e trasferimento di dati e conoscenze acquisite. Ogni azione di tutela o protezione di un bene architettonico deve allora partire da un'accurata documentazione. Questa consiste, da un lato, nella documentazione storica, che tiene conto di fattori economici, politici e sociali; dall'altro, nella documentazione architettonica, che invece considera fattori quali localizzazione, forma, spazio, uso o anche tecniche impiegate, condizioni di degrado e così via.

In particolare, ai fini della documentazione architettonica, risulta cruciale la caratterizzazione geometrica del bene che, quando arricchita con la definizione di ulteriori dati tra cui ad esempio materiali e tecnologie utilizzate, permette di implementare una metodologia HBIM finalizzata alla elaborazione di una replica virtuale informatica dell'edificio, ovvero un modello 3D contenente tutte le informazioni che connotano il monumento.

In questo paper, ripercorrendo le azioni sequenziali definite nella logica di un protocollo operativo, si descrive l'iter seguito per arrivare alla replica digitale di un monumento reale considerato emblematico ai fini della procedura di digitalizzazione. In tal senso – seppure a grandi linee e senza poter descrivere nel dettaglio le varie fasi del processo proposto per necessità di sintesi – ci si sofferma innanzitutto sul processo di acquisizione della geometria dell'edificio, sia all'interno che all'esterno, e sulla generazione della nuvola di punti che lo rappresenta, definita da sei coordinate per ogni punto (le coordinate di posizione XYZ e le coordinate di colore RGB). Informazioni, queste ultime, ottenute con tecniche *remote sensing* come la fotogrammetria terrestre, fotogrammetria da APR e *Terrestrial Laser Scanning* (TLS). Dai dati così acquisiti si passa poi alla elaborazione di un modello HBIM parametrico (LOD 300) in cui sono archiviati e integrati dati di diversa natura, nel tentativo di stabilire un prototipo che ne consenta la replica in ulteriori casi riconducibili a una simile tipologia (fig. 1).

Metodologia di ricerca: l'acquisizione geometrica dell'edificio

La ricerca propone un protocollo procedurale inteso come sequenza delle azioni necessarie per il passaggio da un caso studio reale al suo modello digitale. Il processo è diviso in due fasi: la prima prevede l'acquisizione della geometria, del colore e della *texture*; la seconda implementa invece la replica virtuale in HBIM. La descrizione della procedura farà riferimento alla *Lonja de Zaragoza* (fig. 2), costruita tra il 1541 e il 1551 per ospitare le attività economiche derivanti dal commercio della città spagnola. Responsabile della sua progettazione e costruzione fu Juan de Sariñena, uno degli architetti più importanti della città; le decorazioni interne vennero invece realizzate da Gil Morlanes. La *Lonja* consiste in una sala ipostila di 3x5 navate, secondo lo schema di una basilica romana, con muri perimetrali in mattoni. Al di sopra della sala c'è poi un ambiente sottotetto oggi inaccessibile dall'interno. Secondo Gómez [Gómez Urdáñez 2005], la *Lonja* rappresenta l'ultima delle grandi borse merci delle capitali della Corona d'Aragona, intesa secondo i modelli di Valencia e Barcellona. L'obiettivo è pervenire a un modello digitale 3D della *Lonja* di elevata precisione (per quanto



Fig. 1. Lonja de Zaragoza. Fotografia aerea del caso di studio. Fotografia degli autori.

attiene a geometria, *texture* e colore), arricchito con un database associato alla forma nonché georeferenziato.

Per catturare la geometria è stata creata una nuvola di punti di alta precisione. Le coordinate e il colore reale dei punti sono state determinate accuratamente, al fine di poter essere successivamente utilizzate quale base per un modello 3D dettagliato.

Come ricorda Rodriguez Navarro [Rodriguez Navarro 2012], una soluzione per ottenere modelli 3D è la fotogrammetria digitale automatizzata. Questa si basa sull'uso di immagini convenzionali, scattate in linea di principio con qualsiasi telecamera e da qualsiasi punto di vista, ma a condizione che tutte le parti del modello siano visibili da almeno due angolazioni diverse. Per l'acquisizione dei dati dell'esterno dell'edificio, delle facciate e dei tetti si



Fig. 2. Lonja de Zaragoza. Ripresa terrestre con fotocamera SLR Nikon D810. Fotografia degli autori.

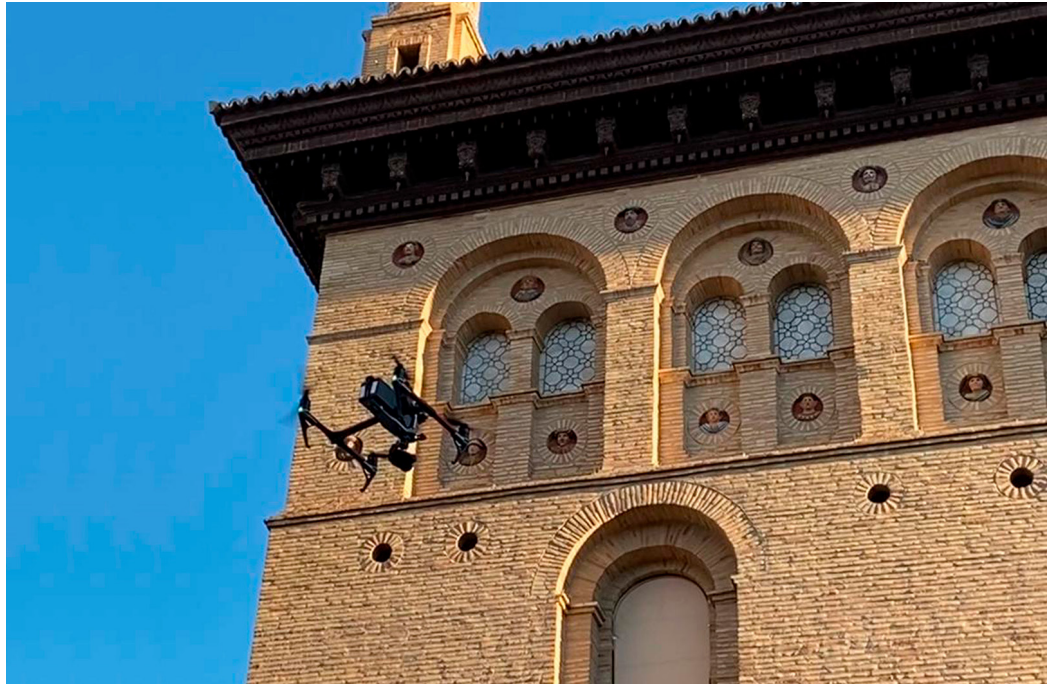


Fig. 3. DJI INSPIRE 2, strumentazione utilizzata per il rilievo aerofotogrammetrico. Fotografia degli autori.

è deciso di ricorrere proprio a un approccio fotogrammetrico digitale automatizzato, adeguato allo scopo in virtù della grande quantità di dati da gestire e delle diverse fonti fotografiche delle immagini.

Per la fotografia terrestre è stata utilizzata una fotocamera SLR Nikon D810 e un obiettivo NIKKOR 24-70mm f/2.8G ED, ottenendo fotografie in Raw, successivamente elaborate per rivelare i loro veri colori e alle quali sono state applicate delle maschere per eliminare le ombre prodotte dal vetro e il *crop* per il cielo. Per le riprese aeree è stato utilizzato un drone DJI INSPIRE 2, con una fotocamera Zenmuse X5S e un obiettivo da 45 mm (fig. 3). Le immagini sono state trattate allo stesso modo di quelle ottenute in fotogrammetria terrestre. Sono state elaborate in totale 549 fotografie, in diversi *chunks*, ed è stata così ottenuta una nuvola di punti del volume esterno (fig. 4). Per il rilievo degli spazi interni è stata utilizzata la tecnologia laser scanner, in quanto la lette-

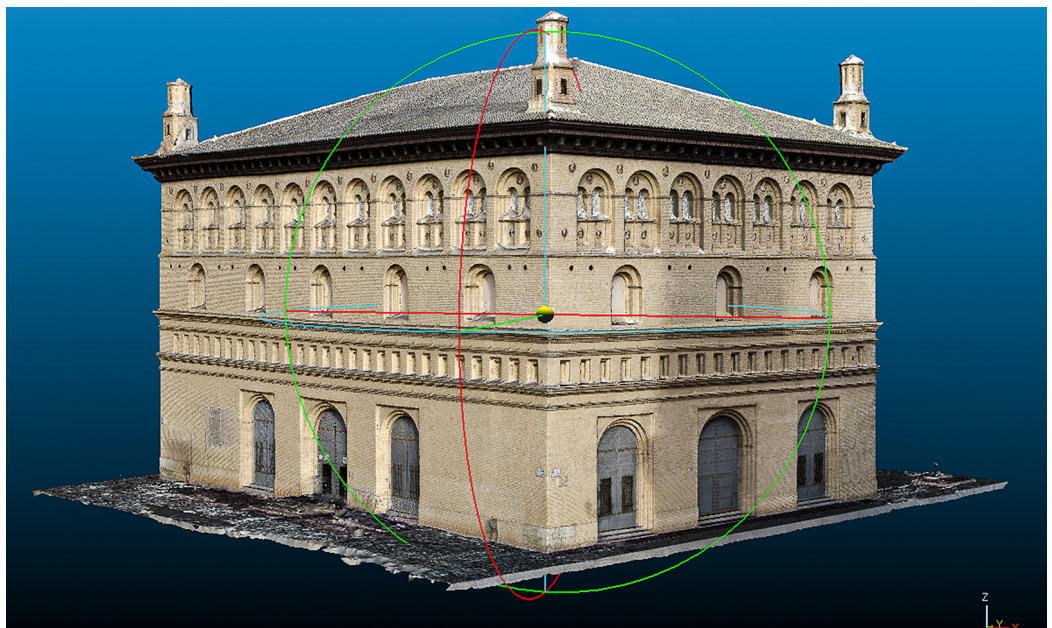


Fig. 4. Lonja de Zaragoza. Nuvola di punti integrata. Elaborazione grafica di Luis Agustín Hernández.

ratura specializzata ha ampiamente documentato come questi siano meglio catturati da un fuoco radiante, quale il laser scanner terrestre (TLS), rispetto agli spazi esterni per i quali si preferisce una cattura avvolgente, come la fotogrammetria [Barba et al. 2022]. Tuttavia, spesso, in funzione delle caratteristiche geometriche dell'edificio e delle sue dimensioni, le due tecnologie sono impiegate sia in esterno che in interno. Per il rilievo degli interni è stato utilizzato uno scanner Faro FocusM 70, che permette di effettuare scansioni fino a 70 metri, con una precisione di +/-3 mm. La scansione è stata eseguita su entrambi i piani dell'edificio. La maggiore criticità per l'allineamento delle nuvole di punti di origine diversa, soprattutto nel caso studio, è stata la correlazione tra le nuvole interne e quelle esterne. A questo scopo, particolare attenzione è stata rivolta alla scansione degli intradossi di archi e porte, a partire dai quali è stato possibile combinare l'interno e l'esterno grazie a punti di controllo dentro l'edificio, ma anche fuori e lontano da esso. Come indicato da Corso e Roca [Corso, Roca 2013], le informazioni TLS consentono l'analisi geometrica delle facciate e dei materiali che le compongono, analisi che può essere effettuata sia in 3D che in 2,5D e 2D. Il vantaggio che ne deriva è che le analisi bidimensionali possono essere sovrapposte, integrando le informazioni RGB e l'intensità con le informazioni geometriche e l'analisi della facciata. Una volta ottenute le nuvole di punti esterne e interne, queste sono state allineate, raffinate e unite per produrre una nuvola di punti globale, utilizzata successivamente come base per il modello HBIM (fig. 5).

Modellazione di un prototipo tipologico della Lonja

La fase successiva ha riguardato la ricostruzione geometrica e semantica della Lonja. A partire dalla nuvola di punti ottenuta con le tecnologie di rilievo digitale integrate descritte, è stato creato, attraverso l'approccio Scan-to-BIM, un modello parametrico all'interno della piattaforma Autodesk Revit (fig. 6). Poiché i punti di forza della metodologia si basano, tra l'altro, sulla standardizzazione, si è deciso di ottimizzare il processo per iterazione, ovvero di sperimentare un approccio parametrico semplificato che preveda la futura riproducibilità degli elementi costitutivi.

La creazione di un modello BIM per edifici esistenti è fondamentalmente una metodologia di *reverse engineering*, un processo che prevede la 'scomposizione' dell'oggetto architettonico per analizzarlo in dettaglio, al fine di ricostruirne la logica sottostante e reinterpretarlo [Parinello, Dell'Amico 2021].

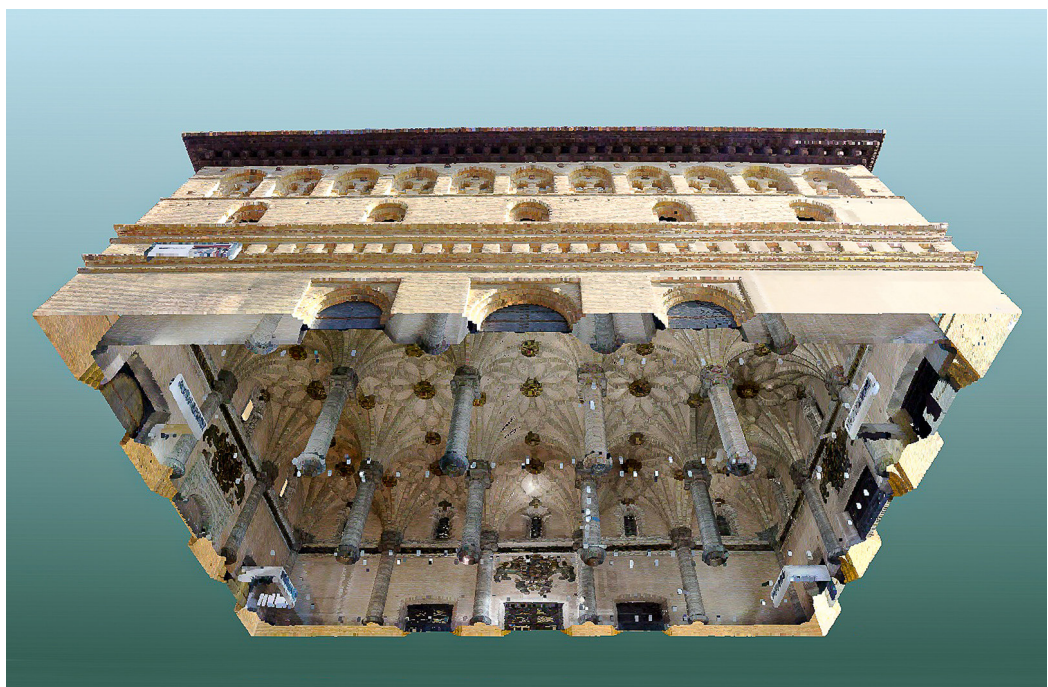
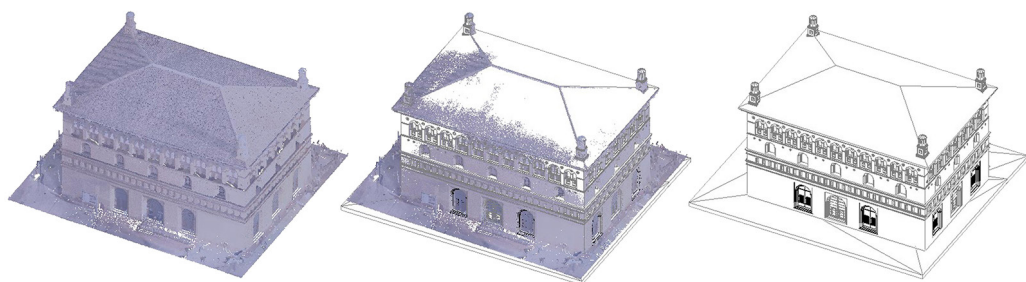


Fig. 5. Integrazione dei dati fotogrammetrici e laser scanning. Elaborazione grafica di Luis Agustín Hernández.

Fig. 6. Il workflow implementato, Scan-to-BIM, dalla nuvola al modello. Elaborazione grafica di Floriana Rocco, coordinamento di Barbara Messina e Carla Ferreyra.



Nell'ambito di questa ricerca l'analisi storica e tipologica del caso studio ha permesso di individuare alcuni degli elementi più caratteristici della *Lonja* aragonese, come i portali, le colonne, le volte. Pertanto, basandosi sul modello ricavato dalla nuvola di punti debitamente segmentata, è stata effettuata la ricostruzione di questi elementi, ricorrendo a regole o algoritmi pre-programmati, noti come parametri associati, che ne consentiranno a posteriori la riproducibilità (fig. 7).

La complessità del caso studio – con le sue geometrie irregolari, i materiali non omogenei, la morfologia variabile, le modifiche non documentate e il susseguirsi di varie fasi di costruzione – ha determinato la scelta dell'approccio alla modellazione. Sulla base di un'analisi formale sono state distinte diverse geometrie, da quelle più semplici, come muri o colonne riferibili a oggetti 3D standard, a quelle più complesse, come volte o elementi decorativi che difficilmente possono essere modellate a partire da oggetti predefiniti. A tale riguardo va osservato che la comunità scientifica nazionale e internazionale sta lavorando alla conversione automatica dei punti di una nuvola in *mesh* e/o NURBS [Wang, Cho, Kim 2015; Barazzetti 2016; Banfi 2019; Andriasyan et al., 2020]. Tuttavia, il processo non è ancora del tutto efficiente per le forme complesse, quindi con riferimento alla *Lonja* la modellazione è stata eseguita interamente con un approccio diretto basato sulla nuvola.

In particolare, per importare la nuvola di punti integrata e georeferenziata in Autodesk Revit è stato necessario, come passaggio intermedio, decimarla e gestirla in Autodesk Recap Pro, al fine di rimuovere i punti sparsi e generare regioni con cui segmentare la nuvola di punti in zone omogenee. Tale processo facilita la fase di modellazione isolando, caso per caso, le aree di interesse e preservando la gestibilità dell'insieme. Sulla base dell'ispezione visiva e dell'uso efficiente delle regioni, sono stati identificati elementi di riferimento primari e secondari. È

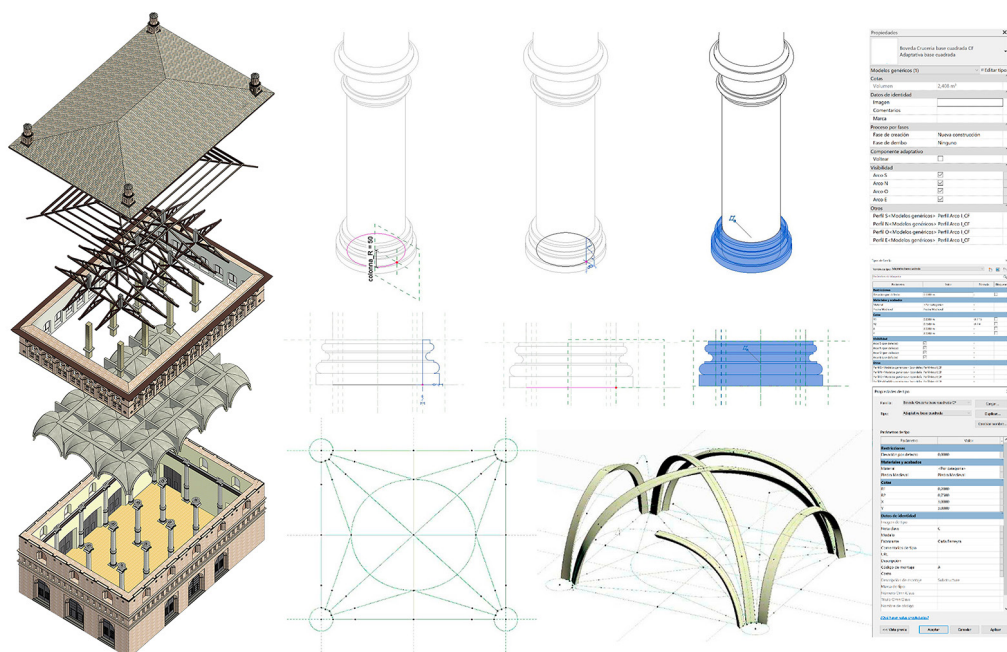


Fig. 7. Modellazione degli oggetti parametrici della *Lonja* in ambiente BIM. Elaborazione grafica di Floriana Rocco, coordinamento di Barbara Messina e Carla Ferreyra.

stato utilizzato un approccio 'dal generale al particolare', ricorrendo a famiglie esistenti o create *ad hoc*.

In base agli obiettivi del processo di modellazione digitale, è stato necessario prendere in considerazione la definizione dei contenuti geometrici e degli attributi di informazione utili per una descrizione più completa dell'elemento.

Così, ad esempio, le volte – elementi che caratterizzano la tipologia *Lonja* – sono state modellate come famiglie parametriche adattabili, una volta definite le piante, gli elementi costitutivi e le loro proporzioni, semplificando infine la geometria in archi e semiarchi. I portali ad arco acuto e semi-arco nelle pareti sono stati creati come vuoti parametrici, con dimensioni variabili, cioè altezza e larghezza.

Gli elementi complementari e decorativi sono stati creati all'interno dell'ambiente dell'editor di famiglia in fasi successive, a partire da file DXF; questi disegni CAD rappresentano una base geometrica precisa, risultato della vettorializzazione di specifiche ortoimmagini ottenute dal rilievo fotogrammetrico, o anche dalla stessa nuvola di punti integrata. Le scelte alla base del processo di modellazione descritto derivano, in generale, dalla consapevolezza che in un flusso di lavoro BIM, disporre di una libreria di famiglie semplifica notevolmente la fase di modellazione, poiché permette di automatizzare i processi di documentazione e descrizione grafica di un monumento. L'utilizzo di librerie di elementi parametrici, che possono essere adattati alle esigenze del caso specifico, aumenta infatti la produttività nella fase di *editing* del modello.

Per il modello digitale così generato è stato poi implementato un database informativo a esso associato, contenente informazioni – anche di tipo diacronico – relative ad aspetti storici, tecnologici, strutturali, allo stato conservativo, all'accessibilità dell'edificio o di alcuni suoi ambienti. Ciò ha permesso, tra l'altro, di comprendere e visualizzare in maniera efficace e immediata le principali trasformazioni che l'edificio ha subito nel tempo, anche con riferimento al contesto urbano.

Conclusioni

Come è noto, l'approccio parametrico proprio di un modello BIM si basa sull'utilizzo di elementi 'intelligenti', cioè forniti di attributi grafici, dati, regole parametriche e un insieme di altre informazioni che ne descrivono le proprietà e il comportamento [Lo Turco, Giovannini, Tomalini 2022; Sanseverino et al. 2022]. L'uso di oggetti intelligenti garantisce la coerenza complessiva del modello, e appare particolarmente utile per modellare oggetti simili per tipologia e configurazione.

L'approccio parametrico applicato al caso studio ha evidenziato alcuni dei problemi ben noti di un flusso di lavoro HBIM, come la mancanza di librerie specifiche di oggetti parametrici per gli edifici storici, l'esistenza di limitazioni nella modellazione e parametrizzazione di determinati elementi architettonici, o ancora l'assenza di una classificazione completa [Brumana et al. 2020].

Tuttavia, con i software disponibili, si riescono oggi a creare forme tridimensionali piuttosto complesse, partendo da famiglie adattive che possono essere ripetute e adattate nel modello attraverso punti di controllo. In particolare, i componenti adattivi possono avere uno o più punti di inserimento e la loro geometria si adegua alle coordinate selezionate.

L'indagine integrata ha permesso, nel caso specifico, di aggiornare la documentazione dell'edificio in studio (figg. 8, 9) e di fornire una ricostruzione digitale metricamente accurata, anche nel tempo, dell'oggetto architettonico secondo la logica di una modellazione intelligente. Il risultato dell'approccio proposto è dunque un modello HBIM in cui gli elementi architettonici, benché semplificati, sono in grado di garantire l'accuratezza di dati e informazioni per la gestione dello spazio e la conservazione dei valori architettonici del monumento. Questa scelta, sebbene svantaggiosa in termini di precisione – in quanto la modellazione parametrica è meno flessibile nella rappresentazione di forme geometriche complesse e irregolari – permette comunque di configurare il comportamento dei componenti e di stabilire vincoli e relazioni topologiche utili nella gestione del modello 3D [Bruno, Roncella 2019]. Con

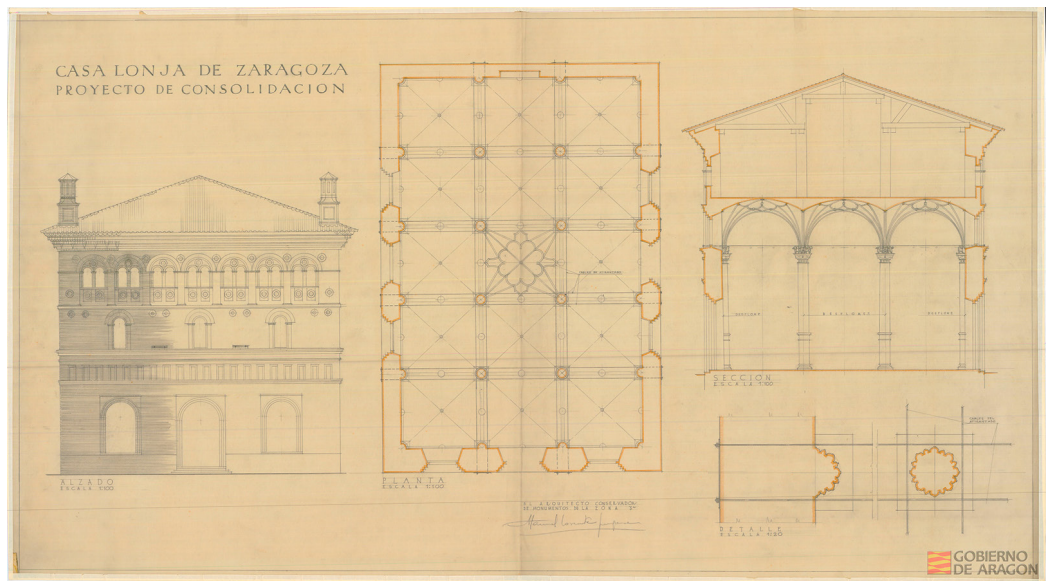


Fig. 8. Manuel Lorente Janquera, *Casa Lonja de Zaragoza*, 1942. Elaborati per il progetto di consolidamento della *Lonja*. Archivo Histórico Provincial de Zaragoza, ES/AHPZ - P/002987/013 (CC BY-NC-SA 4.0).

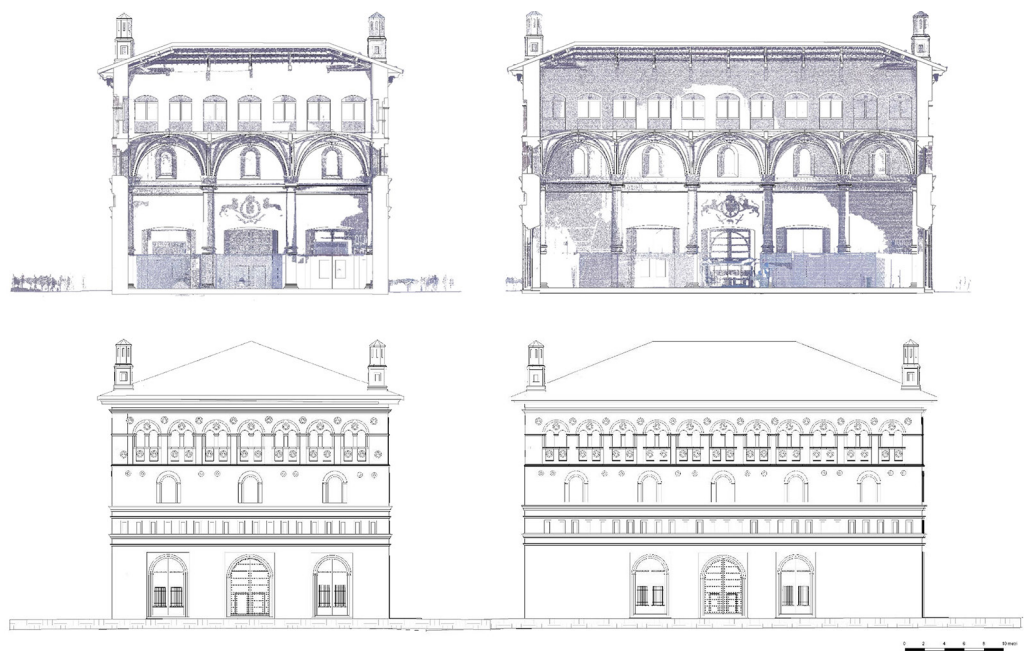


Fig. 9. *Lonja de Zaragoza*. Documentazione grafica tratta dal modello BIM. Sezioni trasversale e longitudinale; prospetti sud ed est. Elaborazione grafica di Floriana Rocco, coordinamento di Barbara Messina e Carla Ferreyra.

tale obiettivo, per l'edificio storico è stato definito un *database* multidimensionale contenente diverse informazioni collegate a spazi o elementi architettonici. Questi ultimi, nel loro insieme, costituiscono poi il modello tridimensionale informativo dell'oggetto (fig. 10), archiviato in un file condiviso e facilmente aggiornabile. Un *database* tridimensionale, dunque, interrogabile in modo intelligente e utilizzato per ricerche anche di tipo interdisciplinare su edifici analoghi. Il che rappresenta la premessa per la creazione di un modello HBIM che possa essere, da un lato, un prototipo da replicare in oggetti di tipologia simile; dall'altro, la base di partenza per la implementazione del *digital twin* dell'edificio considerato, ovvero un modello 'dinamico' che, sfruttando tecniche del tipo IoT, ne consenta un monitoraggio continuo nel tempo e una più efficace tutela.

La ricerca condotta ha permesso, in sintesi, di sperimentare un *workflow* applicabile al patrimonio architettonico di interesse storico, proponendo dunque un approccio di indagine integrata in grado di supportare il processo di documentazione e di valorizzazione del *Cultural Heritage* in generale [Osello, Lucibello, Morgagni 2018].

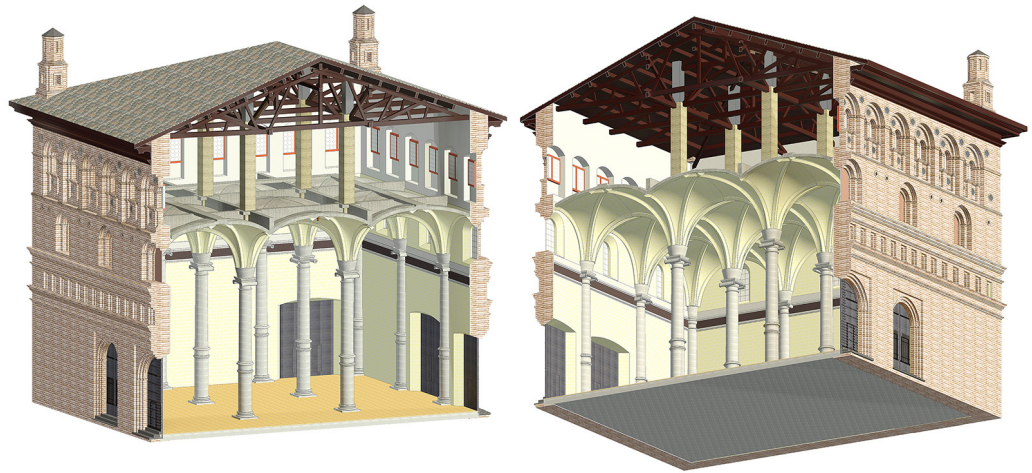


Fig. 10. Lonja de Zaragoza. Spaccati assonometrici del modello HBIM. Elaborazione grafica di Floriana Rocco, coordinamento di Barbara Messina e Carla Ferreyra.

Ai fini della validazione della metodologia proposta, l'architettura scelta quale specifico oggetto di indagine è apparsa emblematica. Essa, infatti – in virtù della non accessibilità di alcuni ambienti interni, della complessità morfologica di alcune sue parti, nonché dei vincoli storici e architettonici necessari per la tutela del bene – ha permesso, da un lato, di sperimentare una efficace integrazione di sistemi di cattura di dati: operazione, questa, spesso necessaria quando siano in studio monumenti o episodi architettonici di particolare interesse. Dall'altro ha consentito di definire un prototipo di modello semantico, identificativo di una tipologia architettonica specifica della Corona aragonese, la *Lonja*. Il modello HBIM elaborato rappresenta, dunque, un sistema di conoscenza integrato e una base informativa di riferimento efficacemente riproponibile, seppure con le dovute variazioni puntuali, per l'intero *corpus* tipologico a cui esso è riconducibile.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento va a Floriana Rocco, che ha contribuito alla modellazione della *Lonja*, oggetto di ricerca della propria tesi di laurea in Ingegneria Edile-Architettura discussa presso l'Università degli Studi di Salerno e sviluppata in collaborazione con l'Università di Zaragoza [Rocco 2023]. Gli autori ringraziano anche l'Ayuntamiento de Zaragoza che, nell'ambito delle attività svolte presso la *catedra* in *Lugares Digitales* dell'Universidad de Zaragoza, ha collaborato al progetto di rilievo del patrimonio architettonico della città.

Riferimenti bibliografici

- Andriasyan M., Moyano J., Nieto-Julián J.E., Antón D. (2020). From Point Cloud Data to Building Information Modelling: An Automatic Parametric Workflow for Heritage. In *Remote Sensing*, vol. 12, n. 7, 1094, pp. 1-22.
- Banfi F. (2019). The Integration of a Scan-To-Hbim Process in Bim Application: The Development of an Add-In to Guide Users in Autodesk Revit. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, pp. 141-148.
- Barazzetti L. (2016). Parametric as-built model generation of complex shapes from point clouds. *Advanced Engineering Informatics*, vol. 30, n. 3, pp. 298-311.
- Barba S., Di Benedetto A., Fiani M., Gujski L. (2022). A method to improve the accuracy of sparse UAV point cloud applied to the Amphitheater of Pompeii. In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2204, n. 1, 012081, pp. 1-7.
- Brumana R., Oreni D., Barazzetti L., Cuca B., Previtali M., Banfi F. (2020). Survey and Scan to BIM Model for the Knowledge of Built Heritage and the Management of Conservation Activities. In B. Daniotti, M. Gianinetto, S. Della Torre (a cura di). *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*, pp. 391-400. Cham: Springer.
- Bruno N., Roncella R. (2019). HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling. In *Remote Sensing*, vol. 11, n. 15, pp. 1-24.
- Corso J.M., Roca J. (2013). Herramientas para el análisis morfológico de Fabra i Coats en Barcelona: procesamiento de imágenes a partir de la tecnología de escáner láser terrestre. In *M: revista de la división de artes*, vol. 10, n. 2, pp.84-99.
- Gómez Urdáñez C. (2005). La lonja de Zaragoza (1541-1551) en contexto. In *Speciale LEXICON. Storie e architettura in Sicilia e*

nel Mediterraneo. *Les llotges comercials a la Corona d'Aragó* (s. XIV-XVI). Numero speciale della rivista semestrale, n. 1, pp. 145-177.

Lo Turco M., Giovannini E.C., Tomalini A. (2022). Parametric and Visual Programming BIM Applied to Museums, Linking Container and Content. In *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 11, n. 7, pp. 1-14.

Osello A., Lucibello G., Morgagni F. (2018). HBIM and Virtual Tools: A New Chance to Preserve Architectural Heritage. In *Buildings*, vol. 8, n. 1, pp. 1-12.

Parrinello S., Dell'Amico A. (2021). From Survey to Parametric Models: HBIM Systems for Enrichment of Cultural Heritage Management. In C. Bolognesi, D. Villa (a cura di). *From Building Information Modelling to Mixed Reality*. Cham: Springer.

Rocco F. (2023). *Modellazione della Lonja di Zaragoza in HBIM come base per la gestione del patrimonio culturale*. Tesi di laurea in Ingegneria Edile-Architettura, relatore B. Messina, correlatore C. Ferreyra, tutor scientifico della tesi sperimentale all'estero L.A. Hernández. Università degli Studi di Salerno.

Rodríguez Navarro P. (2012). La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. In *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, vol. 17, n. 20, pp. 100-111.

Sanseverino A., Messina B., Limongiello M., Guida C.G. (2022). An HBIM Methodology for the Accurate and Georeferenced Reconstruction of Urban Contexts Surveyed by UAV: The Case of the Castle of Charles V. In *Remote Sensing*, vol. 14, n. 15, pp. 1-23.

Villalobos Gómez A. (2020). Principios para la tutela efectiva del patrimonio cultural. In *Revista PH Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, n. 101, pp. 355-357.

Wang C., Cho Y.K., Kim C. (2015). Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. In *Automation in Construction*, n. 56, pp. 1-13.

Autori

Luis Agustín Hernández, Universidad de Zaragoza, lagustin@unizar.es

Carla Ferreyra, Università degli Studi di Salerno, cferreyra@unisa.it

Barbara Messina, Università degli Studi di Salerno, bmessina@unisa.it

Per citare questo capitolo: Hernández Luis Agustín, Ferreyra Carla, Messina Barbara (2023). Processo di digitalizzazione in HBIM per la gestione ampliata del patrimonio culturale. *La Lonja de Zaragoza/Digitization Process in HBIM for Extended Cultural Heritage Management. The Lonja de Zaragoza*. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 707-726.



Digitization Process in HBIM for Extended Cultural Heritage Management. The *Lonja de Zaragoza*

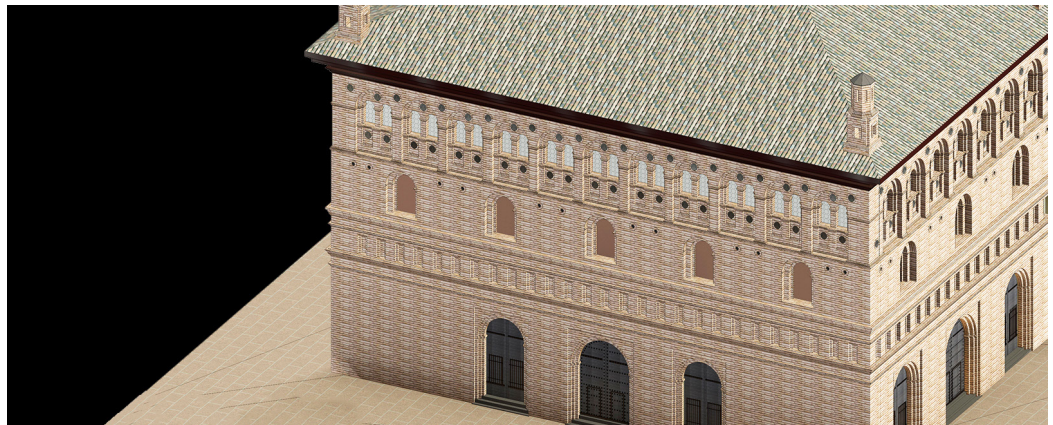
Luis Agustín Hernández
Carla Ferreyra
Barbara Messina

Abstract

The paper illustrates the outcomes of a research project about the *Lonja de Zaragoza*, conducted in synergy by the teams of *Disegno* and *Expresión Gráfica* of the Universities involved. The work is aimed at testing a workflow applicable in general to architectural heritage of historical significance. The proposed methodology, which moves within the framework of established research experiences, involves on the one hand, the experimentation of data capture systems integration; and on the other hand, it allows the definition of a HBIM model prototype, identifying a specific architectural typology of the Aragonese Crown, the Lonja. The goal is, therefore, to develop a semantic model that can be understood as an integrated knowledge system and as a reference base that can be effectively repurposed, though with due punctual variations, for the entire typological *corpus* to which it is referable. In conclusion, an integrated survey approach is proposed that can support the process of documentation and enhancement of Cultural Heritage in general.

Keywords

Photogrammetry, terrestrial laser scanner, HBIM, typological prototype, digital documentation.



Lonja de Zaragoza.
HBIM Model. Graphic
elaboration by
the authors.

Introduction

The protection of architectural heritage is among the responsibilities of public administrations. Protection, knowledge, dissemination, and maintenance of buildings are the basis of this operation, and this implies the implementation of specific initiatives. According to Aurora Villalobos [Villalobos Gómez 2020], these initiatives are summarized in integrating all the heritage dimensions, as monument (aesthetic value), document (scientific value), identity (symbolic value), and resource (economic value); in addressing the changes required by the social concept of heritage; in balancing the preservation of cultural heritage and services for users; and in placing people at the center of heritage interventions; in creating synergies with all stakeholders; in promoting actions in coordination between multiple sectors; in planning medium-to long term conservation interventions; in evaluating actions to optimize resources and generate public value; in transferring knowledge and best practices between professionals and administrations; and finally in disseminating conservation processes to generate a free and responsible heritage culture.

Implementing these initiatives requires research, development and transfer of data and knowledge. Any action to preserve the architectural heritage must start with careful documentation. This consists, on the one hand, of historical documentation, which considers economic, political, and social factors; and, on the other, of architectural documentation, which considers factors such as location, form, space, use or even techniques employed, conditions of deterioration and so on.

For the purposes of architectural documentation, the geometric characterization of the object is significant, which can be enriched by the definition of additional data, including, for example, the materials and technologies used. This makes possible the implementation of an HBIM methodology aimed at the elaboration of a virtual reproduction of the building, i.e., a 3D model containing all the information that connotes the monument.

In this paper, the process of arriving at a digital replica of a real monument considered emblematic for digitization purposes is described. In this sense, it first focuses on the process of acquiring the geometry of the building, both internal and external, and generating the point cloud, defined by six coordinates for each point (the XYZ position coordinates and the RGB color coordinates). Information, the latter, obtained by remote sensing techniques such as close-range photogrammetry, UAV photogrammetry and terrestrial laser scanning (TLS). From the acquired data, a parametric HBIM model (LOD 300) is developed, in which data of different natures are stored and integrated, to establish a prototype that allows its replication in further cases of similar typology (fig. 1).

Research methodology: the geometric acquisition of the building

The research proposes a sequence of procedural steps for moving from a real case study to its digital model. The process is divided into two steps: the first involves the acquisition of geometry, color, and texture; the second implements the virtual replication in HBIM. The case study is the *Lonja de Zaragoza* (fig. 2), built between 1541 and 1551 to house economic activities resulting from trade in the Spanish city. Responsible for its design and construction was Juan de Sariñena, one of the city's leading architects; the interior decoration was done by Gil Morlanes. The *Lonja* consists of a hypostyle hall of 3x5 naves, following the pattern of a Roman *basilica*, with brick perimeter walls. Above the hall is then an attic that is today inaccessible from the inside. According to Gómez [Gómez Urdáñez 2005], the *Lonja* represents the last of the great commodity exchanges of the capitals of the Crown of Aragon, understood according to the models of Valencia and Barcelona.

The objective of the work is to obtain a 3D digital model of the *Lonja* of high accuracy (regarding geometry, texture, and color), enriched by a database associated with the shape and georeferenced.

A high-precision point cloud was created to capture the geometry. The coordinates and actual color of the points were accurately determined to be later used as the basis for a



Fig. 1. *Lonja de Zaragoza*. Aerial photograph of the case study. Photograph by the authors.

detailed 3D model. As Rodriguez Navarro [Rodriguez Navarro 2012] reminds us, one solution for obtaining 3D models is automated digital photogrammetry. This is based on the use of conventional images, taken in principle with any camera and from any point of view, but provided that all parts of the model are visible from at least two different angles. For the acquisition of data of the building exterior, facades, and roofs, it was decided to use precisely an automated digital photogrammetry approach, which was adequate for the purpose because of the large amount of data to be handled and the different photographic sources of the images.

For the terrestrial photographs, a Nikon D810 SLR camera and a NIKKOR 24-70 mm f/2.8G ED lens were used, obtaining photographs in RAW format, which were later processed to



Fig. 2. *Lonja de Zaragoza*. Terrestrial shot with Nikon D810 camera. Photograph by the authors.

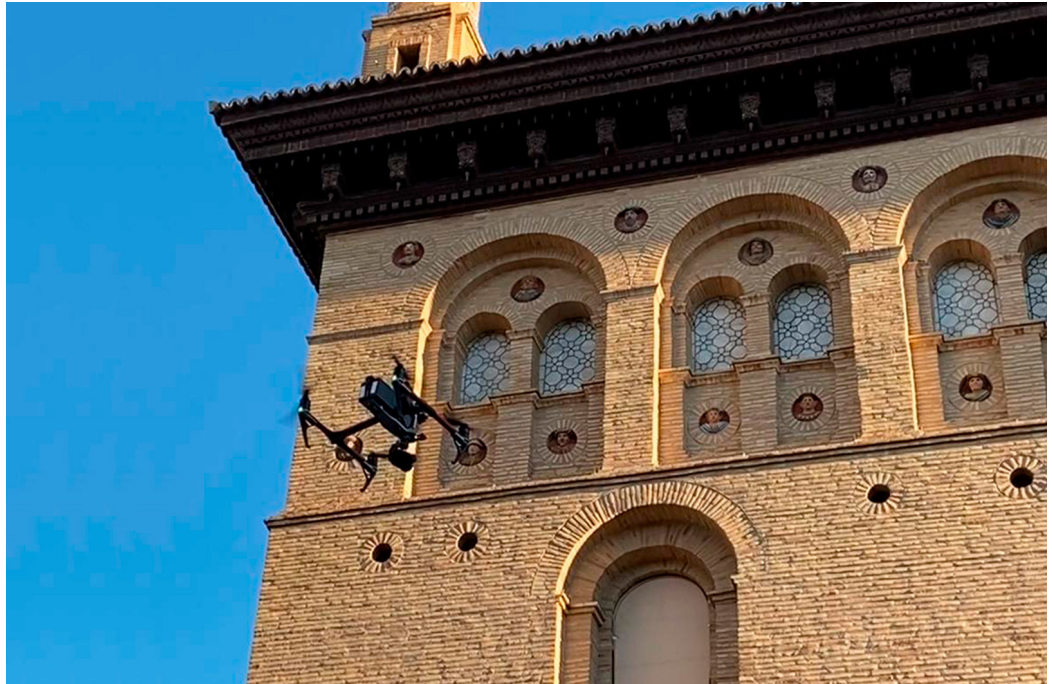


Fig. 3. DJI INSPIRE 2, Instrumentation used for the aerophotogrammetric survey. Photograph by the authors.

reveal their true colors and to which masks were applied to remove the shadows produced by the glass and crop the sky. A DJI INSPIRE 2, with a Zenmuse X5S camera and a 45 mm lens, was used for the aerial shots (fig. 3). The images were processed as those obtained by terrestrial photogrammetry. A total of 549 photographs were processed, in different pieces, and a point cloud of the exterior volume was obtained (fig. 4).

Terrestrial Laser Scanning (TLS) was used to survey interior spaces, as the specialized literature has extensively documented how these are better captured by a radiant *focus*, compared to exterior spaces where photogrammetry is preferred [Barba et al. 2022]. However, often, depending on the geometric characteristics of the building and its size, the two technologies are used for both exteriors and interiors. For the interior survey, a Faro FocusM 70 scanner was used, which allows scanning up to 70 meters, with an accuracy of ± 3 mm. Scanning was performed on both floors of the building.

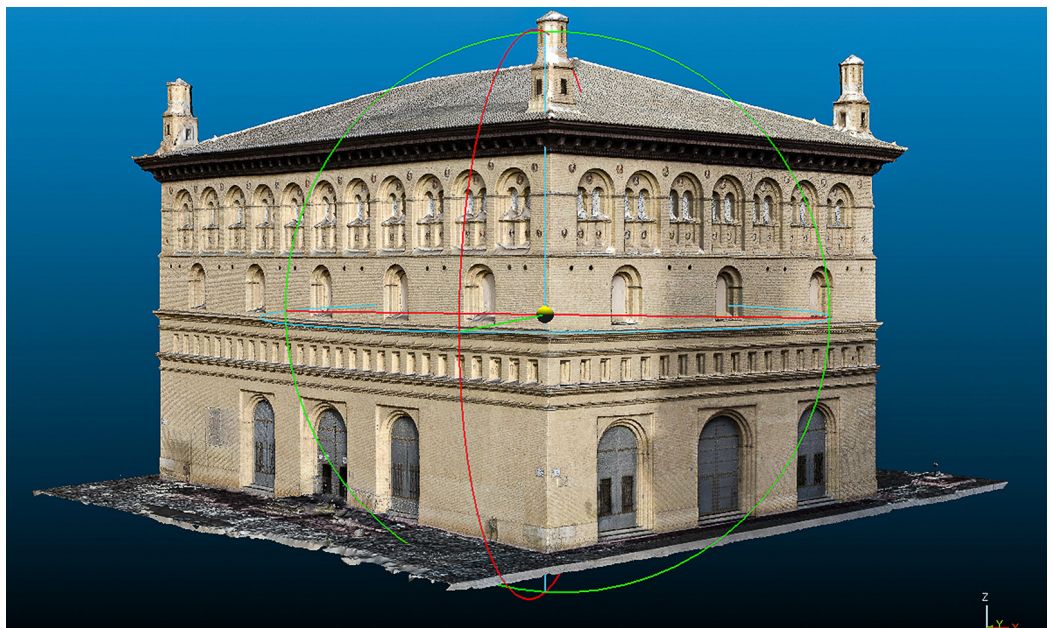


Fig. 4. Lonja de Zaragoza. Integrated point cloud. Graphic elaboration by Luis Agustín Hernández.

The main critical issue in aligning point clouds of different origins, especially in the case study, was the correlation between internal and external clouds. To this end, special attention was paid to the arches and doors, from which it was possible to combine the interior and exterior thanks to control points both inside the building and outside and away from it. As pointed out by Corso and Roca [Corso, Roca 2013], TLS information allows the geometric analysis of facades and their constituent materials, an analysis that can be done in 3D as well as in 2.5D and 2D. The advantage of this is that two-dimensional analyses can be overlaid, integrating RGB and intensity information with geometric information and facade analysis. Once the exterior and interior point clouds were obtained, they were aligned, refined, and merged to produce a global point cloud, which was then used as the basis for the HBIM model (fig. 5).

Modeling of a typological prototype of the *Lonja*

The next phase involved the geometric and semantic reconstruction of the *Lonja*. From the point cloud obtained with the integrated digital survey technologies described, a parametric model was created within the Autodesk Revit platform through the scan-to-BIM approach (fig. 6). Since the strengths of the methodology are based on standardization, it was decided to optimize the process by iteration, i.e., to experiment with a simplified parametric approach that provides for future reproducibility of the building elements.

The creation of a BIM model for existing buildings is basically a reverse engineering methodology, a process that involves the architectural object decomposition to analyze it in detail to reconstruct its underlying logic and reinterpret it [Parrinello, Dell'Amico 2021].

In the context of this research, the historical and typological analysis of the case study made it possible to identify some of the most characteristic elements of the Aragonese *Lonja*, such as portals, columns and vaults. Therefore, on the basis of the model obtained from the appropriately segmented point cloud, these elements were reconstructed, using associated parameters, which will allow their subsequential reproducibility (fig. 7).

The complexity of the case study – with its irregular geometries, nonhomogeneous materials, variable morphology, undocumented modifications, and succession of different construction phases – determined the selection of the modeling approach. Based on a formal analysis, different geometries were distinguished, from the simplest ones, such as walls or columns traceable to standard 3D objects, to the most complex ones, such as vaults or decorative

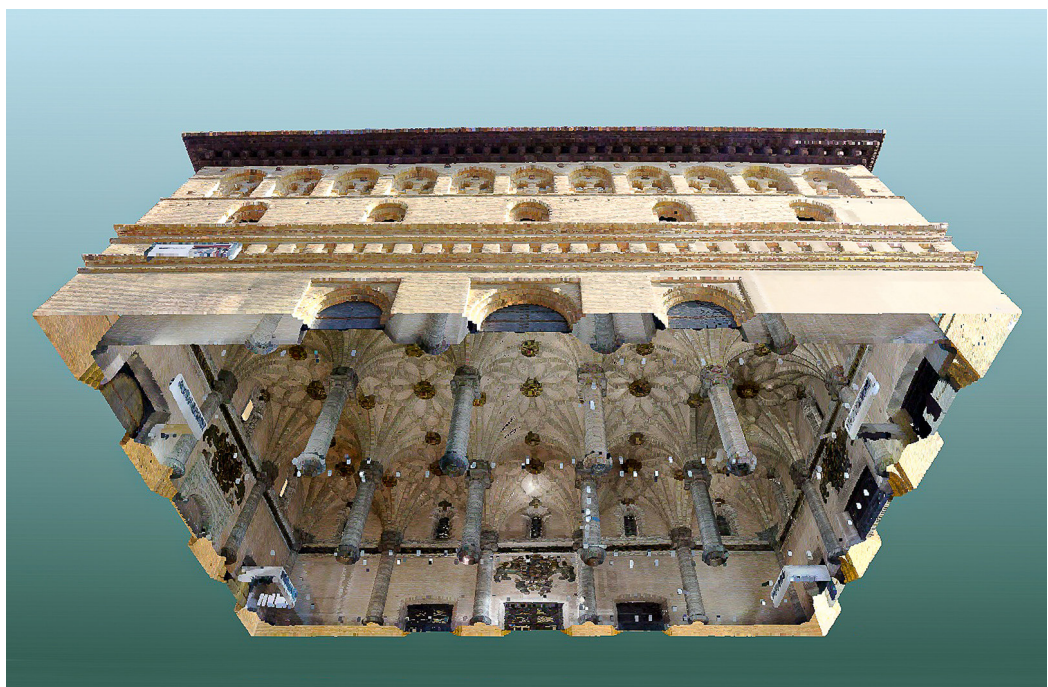
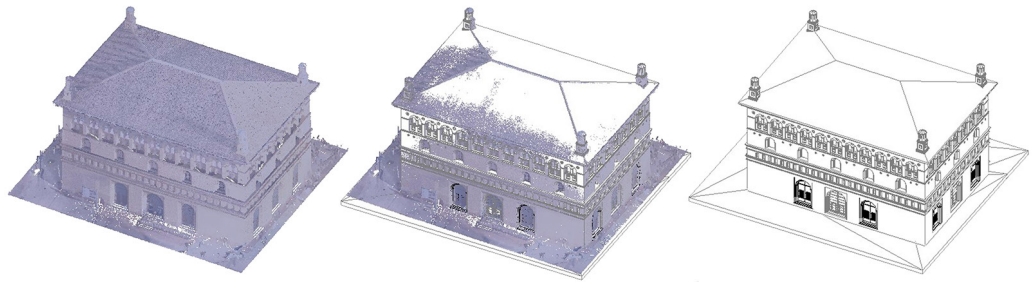


Fig. 5. Integration of photogrammetric and terrestrial laser scanning data. Graphic elaboration by Luis Agustín Hernández.

Fig. 6. The implemented Scan-to-BIM workflow, from cloud to model. Graphic elaboration by Floriana Rocco, coordination by Barbara Messina and Carla Ferreyra.



elements that can hardly be modeled from predefined objects. In this regard, it should be mentioned that the national and international scientific community is working on the automatic conversion of cloud points into meshes and/or NURBS [Wang, Cho, Kim 2015; Barazzetti 2016; Banfi 2019; Andriasyan et al., 2020]. However, the process is not yet fully efficient for complex shapes, so with reference to *Lonja*, modeling was performed entirely with a direct cloud-based approach.

Specifically, to import the integrated, georeferenced point cloud into Autodesk Revit, it was necessary, as an intermediate step, to decimate and manage it in Autodesk Recap Pro to remove scattered points and generate regions with which to segment the point cloud into homogeneous zones. This process facilitates the modeling phase by isolating, on a case-by-case basis, areas of interest and preserving the manageability of the whole. Based on visual inspection and efficient use of regions, primary and secondary reference elements were identified. A 'general to particular' approach was used, making use of existing or ad hoc created families.

Based on the objectives of the digital modeling process, it was necessary to consider the definition of geometric content and information attributes useful for a more complete description of the element.

Thus, for example, the vaults – elements that characterize the *Lonja* typology – were modeled as adaptable parametric families, once the plans, constituent elements and their proportions were defined, finally simplifying the geometry into arches and semi-arches. The pointed arch portals and semi-arches in the walls were created as parametric voids, with variable dimensions, i.e., height and width. The complementary and decorative elements were created in the family editor environment in successive stages, starting from

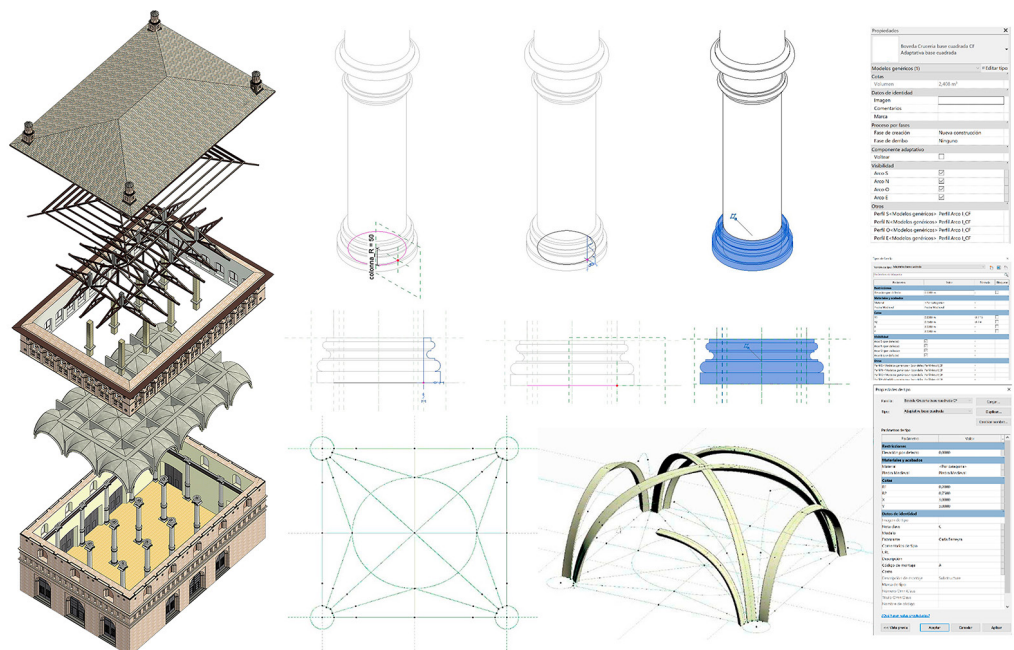


Fig. 7. Modeling of *Lonja* parametric objects in BIM environment. Graphic elaboration by Floriana Rocco, coordination by Barbara Messina and Carla Ferreyra.

DXF files; these CAD drawings represent a precise geometrical basis, derived from the vectorization of specific orthoimages obtained from the photogrammetric survey, or even from the integrated point cloud itself. The choices underlying the modeling process described derive, in general, from the realization that, in a BIM workflow, having a library of families greatly simplifies the modeling phase, since it allows to automate the processes of documentation and graphic description of a monument. In fact, the use of parametric element libraries, which can be adapted to the needs of the specific case, increases productivity in the model editing phase.

An information database associated with the digital model thus generated was then implemented, containing information – including diachronic information – related to historical, technological, structural, state of conservation and accessibility aspects of the building or some of its surroundings. This made it possible, among other things, to understand and visualize in an effective and immediate manner the main transformations that the building has undergone over time, also in reference to the urban context.

Conclusions

As is well known, the parametric approach inherent to a BIM model is based on the use of 'smart' elements, i.e., provided with graphical attributes, data, parametric rules, and a set of other information describing their properties and behavior [Lo Turco, Giovannini, Tomalini 2022; Sanseverino et al. 2022]. The use of smart objects ensures the overall consistency of the model and seems particularly useful for modeling objects similar in type and configuration.

The parametric approach applied to the case study highlighted some of the well-known problems of an HBIM workflow, such as the lack of specific parametric object libraries for historic buildings, the existence of limitations in the modeling and parameterization of certain architectural elements, or even the absence of a complete classification [Brumana et al. 2020].

However, with the available software, it is now possible to create quite complex three-dimensional shapes from adaptive families that can be repeated and adapted in the model by means of control points. Specifically, adaptive components can have one or more insertion points, and their geometry is adapted to the selected coordinates.

In this specific case, the integrated survey made it possible to update the documentation of the case study (figs. 8, 9) and provide a metrically accurate digital reconstruction of it, even over time, according to the logic of smart modeling.

The result of the proposed approach is thus an HBIM model in which the architectural elements, although simplified, are able to guarantee the accuracy of data and information for land management and preservation of the monument's architectural values. This choice, although disadvantageous in terms of accuracy – as parametric modeling is less flexible in the representation of complex and irregular geometric shapes – still allows to configure the behavior of components and to establish constraints and topological relationships useful in the management of the 3D model [Bruno, Roncella 2019]. With this objective, a multidimensional database was defined for the historic building containing different information related to spaces or architectural elements. These, taken together, then constitute the informative three-dimensional model of the object (fig. 10), stored in a shared file and easily updated. A three-dimensional database, then, that can be intelligently queried and used for even interdisciplinary research on similar buildings. Which is the premise for the creation of an HBIM model that can be, on the one hand, a prototype to be replicated in objects of a similar type; on the other hand, the starting point for the implementation of the digital twin of the building under consideration, i.e., a 'dynamic' model that, by exploiting IoT-type techniques, allows its continuous monitoring over time and more effective protection. In summary, the research conducted allowed to test a workflow applicable to

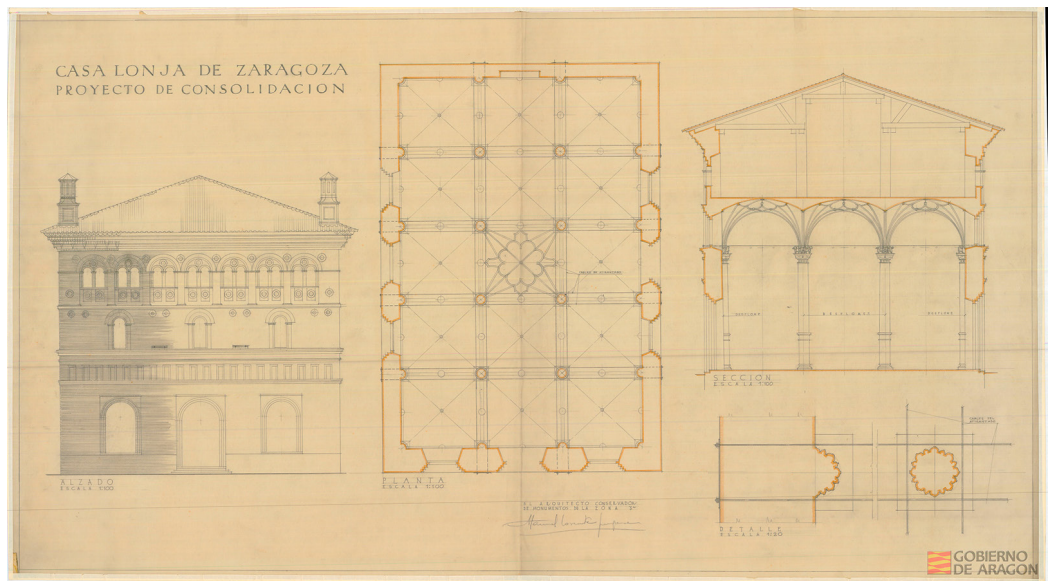


Fig. 8. Manuel Lorente Janquera, Casa Lonja de Zaragoza, 1942. Drawings for the consolidation project of the Lonja. Archivo Histórico Provincial de Zaragoza, ES/AHPZ - P/002987/013 (CC BY-NC-SA 4.0).

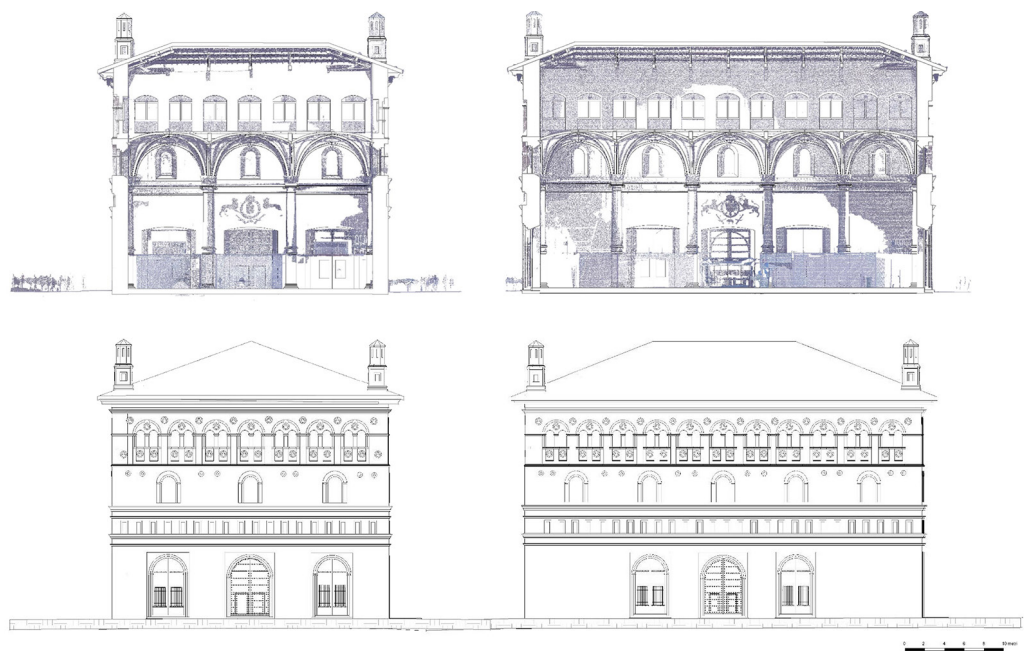
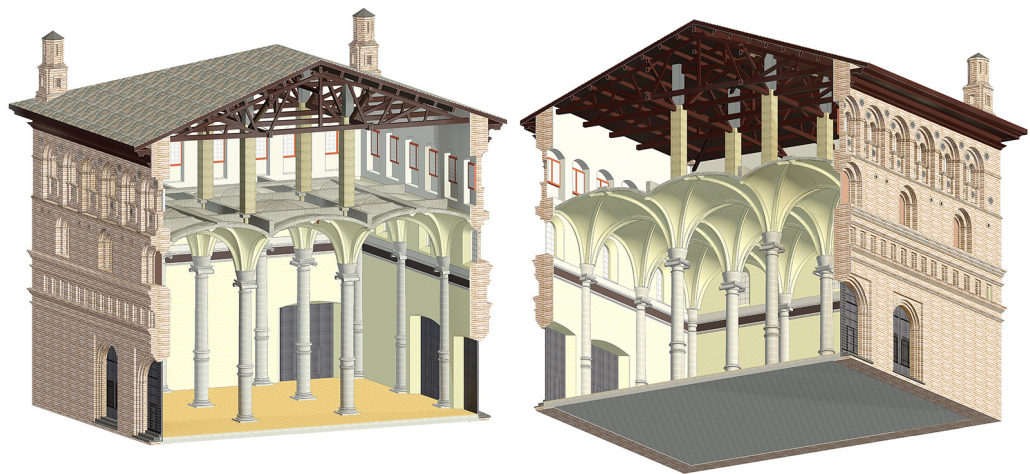


Fig. 9. Lonja de Zaragoza. Graphic documentation obtained from the BIM model. Transverse and longitudinal sections; south and east elevations. Graphic elaboration by Floriana Rocco, coordination by Barbara Messina and Carla Ferreyra.

architectural heritage of historical interest, thus proposing an integrated survey approach capable of supporting the process of documentation and enhancement of Cultural Heritage in general [Osello, Lucibello, Morgagni 2018].

For the purposes of validating the proposed methodology, the architecture chosen as the specific object of investigation appeared emblematic. It, in fact – by virtue of the non-accessibility of some of its interior spaces, the morphological complexity of some of its parts, as well as the historical-architectural constraints necessary for the protection of the property – allowed, on the one hand, to test an effective integration of data acquisition systems: an operation, this one, often necessary when monuments or architectural episodes of particular interest are the object of study. On the other, it allowed to define a prototype semantic model, identifying a specific architectural typology of the Aragonese Crown, the *Lonja*. Thus, the elaborated HBIM model represents an integrated knowledge system and a reference information base that can be effectively reproduced, with necessary punctual variations, for the entire typological corpus to which it is referable.

Fig. 10. Lonja de Zaragoza. Axonometric cross-sections of the HBIM model. Graphic elaboration by Floriana Rocco, coordination by Barbara Messina and Carla Ferreyra.



Acknowledgements

Our most sincere gratitude goes to Floriana Rocco, who contributed to the modeling of the *Lonja*, the object of research of her dissertation in Building Engineering-Architecture discussed at the University of Salerno and developed in collaboration with the University of Zaragoza [Rocco 2023]. The authors also acknowledge the Ayuntamiento de Zaragoza, which, as part of the activities of the *catedra* in *Lugares Digitales* of the Universidad de Zaragoza, collaborated on the project to survey the city's architectural heritage.

References

- Andriasyan M., Moyano J., Nieto-Julián J.E., Antón D. (2020). From Point Cloud Data to Building Information Modelling: An Automatic Parametric Workflow for Heritage. In *Remote Sensing*, Vol. 12, No. 7, pp. 1-22.
- Banfi F. (2019). The Integration of a Scan-To-Hbim Process in Bim Application: The Development of an Add-In to Guide Users in Autodesk Revit. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, pp. 141-148.
- Barazzetti L. (2016). Parametric as-built model generation of complex shapes from point clouds. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 30, No. 3, pp. 298-311.
- Barba S., Di Benedetto A., Fiani M., Gujski L. (2022). A method to improve the accuracy of sparse UAV point cloud applied to the Amphitheater of Pompeii. In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 2204, No. 1, 012081, pp. 1-7.
- Brumana R., Oreni D., Barazzetti L., Cuca B., Previtali M., Banfi F. (2020). Survey and Scan to BIM Model for the Knowledge of Built Heritage and the Management of Conservation Activities. In B. Daniotti, M. Gianinetti, S. Della Torre (Eds.). *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*, pp. 391-400. Cham: Springer.
- Bruno N., Roncella R. (2019). HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling. In *Remote Sensing*, Vol. 11, No. 15, pp. 1-24.
- Corso J.M., Roca J. (2013). Herramientas para el análisis morfológico de Fabra i Coats en Barcelona: procesamiento de imágenes a partir de la tecnología de escáner láser terrestre. In *M: revista de la división de artes*, Vol. 10, No. 2, pp.84-99.
- Gómez Urdáñez C. (2005). La lonja de Zaragoza (1541-1551) en contexto. In *Speciale LEXICON. Storie e architettura in Sicilia e nel Mediterraneo. Les Ilotges comercials a la Corona d'Aragó (s. XIV-XVI)*. Special issue, No. 1, pp.145-177.
- Lo Turco M., Giovannini E.C., Tomalini A. (2022). Parametric and Visual Programming BIM Applied to Museums, Linking Container and Content. In *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 11, No. 7, pp. 1-14.
- Osello A., Lucibello G., Morgagni F. (2018). HBIM and Virtual Tools: A New Chance to Preserve Architectural Heritage. In *Buildings*, Vol. 8, No. 1, 12, pp. 1-12.
- Parrinello S., Dell'Amico A. (2021). From Survey to Parametric Models: HBIM Systems for Enrichment of Cultural Heritage Management. In C. Bolognesi, D. Villa (Eds.). *From Building Information Modelling to Mixed Reality*. Cham: Springer.
- Rocco F. (2023). *Modellazione della Lonja di Zaragoza in HBIM come base per la gestione del patrimonio culturale*. Master's thesis in Ingegneria Edile-Architettura, supervisor B. Messina, co-supervisor C. Ferreyra, scientific tutor L.A. Hernández. University of Salerno.
- Rodríguez Navarro P. (2012). La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. In *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, Vol. 17, No. 20, pp. 100-111.

Sanseverino A., Messina B., Limongiello M., Guida C.G. (2022). An HBIM Methodology for the Accurate and Georeferenced Reconstruction of Urban Contexts Surveyed by UAV: The Case of the Castle of Charles V. In *Remote Sensing*, Vol. 14, No. 15, pp. 1-23.

Villalobos Gómez A. (2020). Principios para la tutela efectiva del patrimonio cultural. In *Revista PH Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, No. 101, pp. 355-357.

Wang C., Cho Y.K., Kim C. (2015). Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. In *Automation in Construction*, No. 56, pp. 1-13.

Authors

Luis Agustín Hernández, Universidad de Zaragoza, lagustin@unizar.es

Carla Ferreyra, Università degli Studi di Salerno, cferreyra@unisa.it

Barbara Messina, Università degli Studi di Salerno, bmessina@unisa.it

To cite this chapter: Hernández Luis Agustín, Ferreyra Carla, Messina Barbara (2023). Processo di digitalizzazione in HBIM per la gestione ampliata del patrimonio culturale. *La Lonja de Zaragoza*/Digitization Process in HBIM for Extended Cultural Heritage Management. *The Lonja de Zaragoza*. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (Eds.), *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 707-726.