Representing and interpreting: an HBIm protocol to document San miniato al monte

Giovanni Pancani, giovanni.pancani@unifi.it
Università degli Studi di Firenze
Matteo Bigongiari, matteo.bigongiari@unifi.it
Università degli Studi di Firenze
Luca Chiavacci, luca.chiavacci@unifi.it
Università degli Studi di Firenze

Keywords: BIM, Parametric modeling, Digital survey, Cultural heritage, Semantic enrichment.

1. Introduction

The representation and management of built heritage, challenged by rapid processes of urban and territorial transformation and the growing pressure of urbanization and cultural tourism, pose new challenges for the protection of historical architectural heritage (Minutoli 2018). Buildings inherited from the past are not merely material testimonies; they incorporate immaterial values, becoming cultural and identity resources. Their conservation is not limited to physical safeguarding but implies the restitution of knowledge through models based on representation codes that, much like in figurative apparatuses, translate and make the constructive and symbolic complexity of the asset legible (Roders and Hasebe 2019).

Management criticalities involve the fragmentation of documentation, the inadequacy of representative models, and the difficulty of accessing structured data, all of which hinder the understanding of the object. Evolution has led to the adoption of digital tools that, by integrating survey methodologies and information platforms, allow the complexity of the built environment to be addressed through acquisition, modeling, and management procedures (Volk, Stengel and Shultmann 2014). The documentation workflow takes shape with range-based and image-based surveying methodologies - laser scanner, terrestrial photogrammetry, and close-range drone photogrammetry - providing the cognitive basis for the development of Heritage Building Information Modeling (HBIM), a system suited for the documentation and management of cultural heritage (Banfi 2017).

The research tests an operative information modeling protocol applied to the case study of the Basilica of San Miniato al Monte in Florence (Pancani and Chiavacci 2024). The structure of the experiment serves two objectives: on the

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)
FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)
Giovanni Pancani, Matteo Bigongiari, Luca Chiavacci, *Representing and interpreting: an HBIM protocol to document San Miniato al Monte*, pp. 1172-1198, © 2026 Author(s), CC BY-NC-SA 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-1113-0.52

Rappresentare e interpretare: un protocollo HBIM per la documentazione di San Miniato al Monte

Giovanni Pancani, giovanni.pancani@unifi.it
Università degli Studi di Firenze
Matteo Bigongiari, matteo.bigongiari@unifi.it
Università degli Studi di Firenze
Luca Chiavacci, luca.chiavacci@unifi.it
Università degli Studi di Firenze

Keywords: BIM, modellazione parametrica, rilievo digitale, patrimonio culturale, arricchimento semantico.

1. Introduzione

La rappresentazione e la gestione del patrimonio costruito, messe alla prova dai rapidi processi di trasformazione urbana e territoriale e dalla crescente pressione di urbanizzazione e turismo culturale, pongono nuove sfide alla tutela del patrimonio architettonico storico (Minutoli 2018). Gli edifici ereditati dal passato non sono solo testimonianze materiali, ma incorporano valori immateriali, divenendo risorse identitarie e culturali. La loro conservazione non si limita alla salvaguardia fisica, ma implica la restituzione di conoscenza attraverso modelli fondati su codici di rappresentazione che, come negli apparati figurativi, traducono e rendono leggibile la complessità costruttiva e simbolica del bene (Roders e Hasebe 2019).

Le criticità della gestione riguardano la frammentazione della documentazione, l'inadeguatezza dei modelli rappresentativi e la difficoltà di accesso a dati strutturati, che ostacolano la comprensione dell'oggetto. L'evoluzione ha condotto all'adozione di strumenti digitali che, integrando metodologie di rilievo e piattaforme informative, permettono di affrontare la complessità del costruito tramite procedure di acquisizione, modellazione e gestione (Volk, Stegel e Schultmann 2014). Il percorso di documentazione prende forma con metodologie di rilevamento *range-based* e *image-based* - laser scanner, fotogrammetria terrestre e *close range* da drone – base conoscitiva per lo sviluppo *dell'Heritage Building Information Modeling* (HBIM), un sistema adatto alla documentazione e la gestione dei beni culturali (Banfi 2017).

La ricerca e sperimenta un protocollo operativo di modellazione informativa applicato al caso studio della Basilica di San Miniato al Monte a Firenze (Pancani e Chiavacci 2024). La struttura della sperimentazione risponde a due obiettivi:

one hand, to critically evaluate the potential and limitations of BIM application to historical heritage; on the other, to develop an information system capable of integrating metric, historical, and semantic data into a digital model. The morphological complexity, constructive variety, and temporal stratifications of the complex make San Miniato an ideal case study to test the application of BIM methodologies and parametric strategies to the historical built environment (Balzani 2017).

The experimentation is divided into four phases: data acquisition; dataset validation and organization; parametric modeling with differentiated levels of geometric and informational detail; semantic enrichment of the model with parameters, descriptive data sheets, and links to historical, archival, and iconographic documentation (Arrighetti, Pancani and Gentili 2019).

In studying the monumental complex, the dynamics of heritage representation are investigated to construct interpretive codes capable of conveying its historical, material, and symbolic complexity.

2. State of the art

The application of digital methodologies to architectural heritage has required experimenting with information modeling for historical buildings, progressively transforming the ways in which data derived from digital architectural surveys are managed and represented. The availability of digital tools today makes it possible to address the numerous criticalities linked to the representation, documentation, and management of built heritage. The use of three-dimensional information models is increasingly recognized as an effective resource for managing the complexity of architectural assets and their historical evolution (Balzani, Maietti and Medici 2016).

The experimentation with acquisition protocols, already highlighted by early experiences combining 3D surveying and information models, laid the groundwork for the development of the scan-to-BIM process (Dore and Murphy 2015). This approach, derived from adapting BIM processes to the existing built environment, has established itself as an environment for integrating geometries, material data, and documentary information, structuring them into a dynamic and queryable digital system (Apollonio, Gaiani and Garagnani 2024).

The potential of HBIM lies directly in its ability to aggregate heterogeneous data and enrich models with semantic attributes. The focus has shifted from the restitution of geometric appearance to the construction of informational structures capable of documenting historical evolution, construction processes, and the temporal stratifications that characterize heritage. This approach, oriented toward a critical knowledge of architecture, fosters an interdisciplinary dialogue, connecting the technical dimension of surveying with the historical-critical

da un lato, valutare criticamente potenzialità e limiti dell'applicazione BIM al patrimonio storico; dall'altro, sviluppare un sistema informativo capace di integrare dati metrici, storici e semantici in un modello digitale. La complessità morfologica, la varietà costruttiva e le stratificazioni temporali del complesso rendono San Miniato un caso studio dove testare l'applicazione delle metodologie BIM e delle strategie parametriche al costruito storico (Balzani 2017).

La sperimentazione si articola in quattro fasi: acquisizione dei dati; validazione e organizzazione dei *dataset*; modellazione parametrica con livelli differenziati di dettaglio geometrico ed informativo; arricchimento semantico del modello con parametri, schede descrittive e collegamenti a documentazione storica, archivistica e iconografica (Arrighetti, Pancani e Gentili 2019).

Nello studio del complesso monumentale vengono indagate le dinamiche della rappresentazione del patrimonio per la costruzione di codici interpretativi capaci di restituirne la complessità storica, materica e simbolica.

2. Stato dell'arte

L'applicazione delle metodologie digitali al patrimonio architettonico ha richiesto di sperimentare l'applicazione della modellazione informativa degli edifici storici, trasformando progressivamente le modalità di gestione e rappresentazione dei dati derivati dal rilievo architettonico digitale. La disponibilità di strumenti digitali consente oggi di affrontare le numerose criticità legate alla rappresentazione, documentazione e gestione del patrimonio costruito. L'impiego di modelli informativi tridimensionali è sempre più riconosciuto come una risorsa efficace per gestire la complessità dei beni architettonici e la loro evoluzione storica (Balzani, Maietti e Medici 2016).

La sperimentazione di protocolli di acquisizione, già evidenziata dalle prime esperienze che hanno coniugato rilievo 3D e modelli informativi, ha posto le basi per lo sviluppo del processo *scan-to-BIM* (Dore et al. 2015). Questo approccio, derivato dall'adattamento dei processi BIM al costruito esistente, si è affermato come ambiente in cui integrare geometrie, dati materici e informazioni documentarie, strutturandoli in un sistema digitale dinamico e interrogabile (Apollonio, Gaiani e Garagnani 2024).

Il potenziale dell'HBIM risiede nella capacità di aggregare dati eterogenei, direttamente nella possibilità di arricchire i modelli con attributi semantici. L'attenzione si è spostata dalla restituzione dell'aspetto geometrico alla costruzione di strutture informative in grado di documentare l'evoluzione storica, i processi costruttivi e le stratificazioni temporali che caratterizzano il patrimonio. L'approccio, orientato alla conoscenza critica dell'architettura, favorisce un dialogo interdisciplinare, mettendo in relazione la dimensione tecnica del rilievo con la lettura storico-critica dei manufatti, attraverso la loro trasposizione in

reading of artifacts through their transposition into digital models (Parrinello and Pettineo 2025).

Studies have highlighted the critical issues arising from applying the BIM language to the articulated and stratified dimension of historical heritage. Defining parametric objects capable of representing non-standardized morphologies requires adequate solutions, as does modeling architectural components characterized by formal uniqueness and managing irregular spatial configurations. This problem intertwines with the issue of correctly balancing the quantity and quality of data: an excess of informational detail can generate redundant and difficult-to-manage models, while a lack of detail compromises their documentary and operative effectiveness (Scianna, Gaglio and La Guardia 2020).

In response to these criticalities, research has progressively outlined methodological tools aimed at defining morphological coherence and model usability, with particular attention to classification systems and semantic coding strategies. The introduction of hierarchical structures and alphanumeric coding allows the model to be divided into functional subsystems, strengthening its organization, facilitating updating processes, and promoting optimal and structured data management (Parrinello, Sanseverino and Fu 2023). In parallel, the use of differentiated representation levels - defined through LOD (Level of Detail), LOI (Level of Information), and LOG (Level of Geometry) - has progressively consolidated, guiding modeling choices according to conservation and management goals (Brumana et al. 2018). Semantic enrichment transforms the geometric model into a queryable digital archive supporting representation, conservation, and knowledge.

3. Methodology

The methodological approach adopted for the information modeling of the monumental complex of San Miniato al Monte in Florence is based on the integration of digital survey techniques, three-dimensional modeling, and the semantic structuring of data.

The multilevel cognitive process, aimed at defining operative strategies for converting spatial and informational data into an as-built model, requires defining a point cloud segmentation strategy. This is intended for the identification and subsequent modeling of architectural components, accompanied by data hierarchization and semantization procedures, thereby enabling the model to support various levels of analysis and representation (Parrinello and Dell'Amico 2020).

The research pathway involved acquiring metric data via terrestrial laser scanner (TLS) and digital photogrammetry, which were subsequently processed in point cloud management software.

modelli digitali (Parrinello e Pettineo 2025).

Gli studi hanno messo in luce le criticità derivanti dall'applicazione del linguaggio BIM alla dimensione articolata e stratificata del patrimonio storico. La definizione di oggetti parametrici capaci di rappresentare morfologie non standardizzate richiede soluzioni adeguate, così come la modellazione di componenti architettonici caratterizzati da unicità formale e la gestione di configurazioni spaziali irregolari. Il problema si intreccia con la questione del corretto bilanciamento della quantità e qualità dei dati: un eccesso di dettaglio informativo può generare modelli ridondanti e difficili da gestire, mentre una carenza ne compromette l'efficacia documentaria e operativa (Scianna, Gaglio e La Guardia 2020).

In risposta a queste criticità, la ricerca ha progressivamente delineato strumenti metodologici finalizzati a definire la coerenza morfologica e la fruibilità dei modelli, con particolare attenzione ai sistemi di classificazione e alle strategie di codifica semantica. L'introduzione di strutture gerarchiche e di codifiche alfanumeriche consente di articolare il modello in sottosistemi funzionali, rafforzandone l'organizzazione, agevolando i processi di aggiornamento e favorendo una gestione ottimale e strutturata dei dati (Parrinello, Sanseverino e Fu 2023). In parallelo, si è progressivamente consolidato il ricorso a livelli differenziati di rappresentazione, definiti attraverso LOD (*Level of Detail*), LOI (*Level of Information*) e LOG (*Level of Geometry*), che guidano le scelte di modellazione in funzione delle finalità conservative e gestionali (Brumana et al. 2018).

L'arricchimento semantico trasforma il modello geometrico in un archivio digitale interrogabile a supporto della rappresentazione, della conservazione e della conoscenza.

3. Metodologia

L'approccio metodologico adottato per la modellazione informativa del complesso monumentale di San Miniato al Monte a Firenze si basa sull'integrazione tra tecniche di rilievo digitale, modellazione tridimensionale e strutturazione semantica dei dati.

Il processo conoscitivo multilivello, volto a definire strategie operative per la conversione di dati spaziali e informativi in un modello *as-built*, necessita della definizione di una strategia di segmentazione della nuvola di punti, finalizzato all'individuazione e alla successiva modellazione dei componenti architettonici, accompagnato da procedure di gerarchizzazione e semantizzazione dei dati, così da rendere il modello capace di supportare diversi livelli di analisi e rappresentazione (Parrinello e Dell'Amico).

Il percorso della ricerca ha previsto l'acquisizione di dati metrici tramite laser

The case of San Miniato al Monte constitutes an example where the application of the BIM language confronts the architectural, geometric, and informational complexity of built heritage. Proper modeling of the current state of a historical building cannot ignore an in-depth knowledge of its constructional and evolutionary phases, as such transformations are necessary moments for understanding its architectural and cultural value. The integration of surveying and modeling within the scan-to-BIM process makes it possible, on the one hand, to acquire geomorphological information through the survey, and on the other, to interpret it through modeling, conveying the morphological complexity of the object and encouraging a stratified reading of the monument and its components.

4. Acquisition of metric data: the integrated survey

Architectural surveying provides the practitioner and/or the scholar utilizing it with the morphological and descriptive basis of the architecture, which in turn acts as a necessary tool for identifying, analyzing, and recording the properties of a specific structure and the events it has undergone over time. Through careful documentary and archaeological analysis, starting from the building's current morphology, it is possible to clarify the various transformations that have occurred over time - from the original configuration to the current state - grasping its characteristic and anomalous elements, and highlighting its structural morphology, static conditions, and architectural values (Docci and Maestri 1999).

The planning of acquisition operations was calibrated to the morphological complexity of the site, adopting an integrated approach based on active and passive sensors, selected according to environmental conditions, material characteristics, and architectural scale. For the acquisition of the geometric structure, the use of terrestrial laser scanner (TLS) instrumentation was prioritized, guaranteeing a metric baseline.

The survey was conducted across multiple acquisition campaigns, each with a specific operative logic, aimed at analyzing the different structures of the complex. Each campaign was planned in continuity with the next, ensuring the coherence of the overall restitution, with targeted in-depth analyses of architectural details at a larger scale. TLS scans were planned following a path that approximated the topographical application of a closed traverse, allowing metric deviation data to emerge in the registration process and controlling the alignment by keeping deviations within established metric tolerances (Pancani and Bigongiari 2019).

RGB TLS acquisitions documented interior materials and decorations, while black-and-white scans were adopted outdoors to optimize survey times and dataset size.

Areas characterized by critical lighting conditions or particularly articulated geometries were documented with terrestrial photogrammetric acquisitions,

scanner terrestre (TLS) e fotogrammetria digitale, successivamente elaborati all'interno di programmi per la gestione delle nuvole di punti.

Il caso di San Miniato al Monte costituisce un esempio dove ci si confronta nell'applicazione del linguaggio BIM alla complessità architettonica, geometrica ed informativa del patrimonio costruito. Una corretta modellazione dello stato di fatto di un edificio storico non può prescindere dalla conoscenza approfondita delle sue fasi costruttive ed evolutive, in quanto tali trasformazioni costituiscono momenti necessari per la comprensione del suo valore architettonico e culturale. L'integrazione tra rilievo e modellazione, all'interno del processo *scan-to-BIM*, permette da un lato di acquisire informazione geomorfologiche attraverso il rilievo, e dall'altro di interpretarli mediante la modellazione, restituendo la complessità morfologica dell'oggetto e favorendo una lettura stratificata del monumento e delle sue componenti.

4. Acquisizione del dato metrico: il rilievo integrato

Il rilevamento architettonico, fornisce a chi lo esegue, e/o allo studioso che lo utilizza, la base morfologica e descrittiva dell'architettura che a sua volta si configura come uno strumento necessario per individuare, analizzare e registrare le proprietà di una determinata fabbrica e le vicende da essa subite nel tempo. Attraverso una attenta analisi documentaria e archeologica, a partire dalla morfologia attuale dell'edificio è possibile chiarire le varie trasformazioni verificatesi nel tempo, dalla originaria configurazione fino allo stato attuale, di coglierne gli elementi caratteristici e quelli anomali, di evidenziare la morfologia strutturale, le condizioni statiche e le valenze architettoniche (Docci e Maestri 1999).

La progettazione delle operazioni di acquisizione è stata calibrata sulla complessità morfologica del sito, adottando un approccio integrato basato su sensori attivi e passivi, selezionati in funzione delle condizioni ambientali, delle caratteristiche materiche e della scala architettonica. Per l'acquisizione della struttura geometrica, si è privilegiato l'impiego di strumentazione laser scanner terrestre (TLS), garantendo una base metrica.

Il rilievo è stato condotto attraverso più campagne di acquisizione, ciascuna con una logica operativa specifica, finalizzate ad analizzare le diverse fabbriche del complesso. Ogni campagna è stata progettata in continuità con la successiva, garantendo la coerenza della restituzione complessiva, con approfondimenti mirati a particolari architettonici a scala maggiore. Le scansioni TLS sono state pianificate seguendo un percorso che andasse a realizzare una geometria simile all'applicazione topografica del percorso poligonale chiuso, così da far emergere il dato di deviazione metrica nel processo di rototraslazione e controllare la registrazione contenendo gli scostamenti entro le tolleranze metriche stabilite

improving visual rendering and image control by adjusting parameters such as exposure and white balance.

The ground-acquired data was further integrated with photogrammetric surveys via UAV (Unmanned Aerial Vehicles) drones, used to document roofs and top portions of the complex that were otherwise inaccessible, ensuring the creation of a complete photographic database of the architectural organism. The acquired images were processed using Structure from Motion (SfM) algorithms, which allowed the generation of three-dimensional point models. These were subsequently scaled and georeferenced based on the TLS cloud and control points shared between the laser scanner and photogrammetric surveys, thereby systematically verifying metric reliability across the databases.

Once data conformity was verified against the alignment tolerances defined for the survey's representation scales, the acquisitions from the laser scanner, terrestrial photogrammetry, and UAVs were integrated into a single database, serving as the reference baseline for subsequent HBIM modeling phases. The morphological, material, and historical complexity of the site necessitated the adoption of a plurality of techniques and tools, following a logic of exhaustive documentation that is adaptable and scalable to cognitive objectives (Matrone and Lingua 2021).

Surveying does not merely assume the practical role of geometric acquisition; it constitutes a cognitive and interpretive act. The synergistic use of heterogeneous technologies, supported by informed architectural and historical reading, allows for the reconstruction of not only the forms of the built environment but also the restitution of its meanings stratified over time, through the critical analysis of materials, decorative elements, and spatial relations (Parrinello 2022).

5. Certification, processing, and classification of data for BIM modeling

The stratified nature of historical architecture requires the integrated management of heterogeneous data - metric, material, iconographic, and documentary - in order to convey the overall value of the asset. Adopting semantic models for cataloging and organizing data represents a fundamental methodological strategy, as it allows meanings, functions, and relationships to be associated with architectural elements, structuring an information system articulated through networks of cultural connections.

In the certification and validation of the survey, it is essential to analyze all phases contributing to the production of metric data: from the design of the acquisition campaign to the processing of the results. It is necessary to preliminarily evaluate the peculiarities of the artifact - morphological, material, and volumetric - in relation to cognitive purposes and the required level of accuracy. In digital models, this reflection translates into the definition of the expected Level of

(Pancani e Bigongiari 2019).

Le acquisizioni TLS RGB sono state utilizzate negli ambienti interni per documentare materiali e apparati decorativi, mentre all'esterno sono state adottate scansioni in bianco e nero per ottimizzare tempi di rilievo e dimensione dei *dataset*.

Le aree caratterizzate da condizioni di luce critiche o da geometrie particolarmente articolate sono state documentate con acquisizioni fotogrammetriche terrestri, migliorando la resa visiva e il controllo delle immagini mediante la regolazione di parametri quali esposizione e bilanciamento del bianco.

Il dato acquisito da terra è stato ulteriormente integrato con rilievi fotogrammetrici da drone UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*), impiegati per documentare coperture e porzioni sommitali del complesso, altrimenti non accessibili, garantendo la realizzazione di un *database* fotografico completo dell'organismo architettonico. Le immagini acquisite sono state elaborate tramite algoritmi di *Structure from Motion* (SfM), che hanno consentito la generazione di modelli tridimensionali di punti, successivamente scalati e georiferiti sulla base della nuvola TLS e di punti di controllo in comune tra il rilievo laser scanner e fotogrammetrico, verificando in questo modo puntualmente l'affidabilità metrica tra i *database*.

Verificata la conformità dei dati rispetto alle tolleranze di allineamento definite per le scale di rappresentazione del rilievo, le acquisizioni provenienti dal laser scanner, fotogrammetria terrestre e UAV sono state integrate in un unico *database*, base di riferimento per le successive fasi di modellazione HBIM. La complessità morfologica, materica e storica del sito ha reso necessaria l'adozione di una pluralità di tecniche e strumenti, secondo una logica di documentazione esaustiva, adattabile e scalabile agli obiettivi conoscitivi (Matrone e Lingua 2021).

Il rilievo non assume soltanto il ruolo pratico di acquisizione geometrica, ma si configura come un atto conoscitivo e interpretativo. L'impiego sinergico di tecnologie eterogenee, supportato da una lettura architettonica e storica consapevole, consente non solo di ricostruire le forme del costruito, ma anche di restituirne i significati stratificati nel tempo, attraverso l'analisi critica di materiali, apparati decorativi e relazioni spaziali (Parrinello 2022).

5. Certificazione, elaborazione e classificazione del dato in funzione della modellazione BIM

La natura stratificata dell'architettura storica impone la gestione integrata di dati eterogenei - metrici, materici, iconografici e documentali - al fine di restituire il valore complessivo del bene. L'adozione di modelli semantici per la catalogazione e l'organizzazione dei dati rappresenta una strategia metodologica

Accuracy (LOA), strictly connected to the graphical representation scale. If digital modeling is developed at true scale (1:1), in the graphical restitution phase the model is translated into a conventional representation scale, similar to CAD drawings, and is bound by the minimum graphical perception thresholds of a standard observer, generally between 0.2 and 0.3 mm (Parrinello 2024). In a three-dimensional environment, perceptual limits directly influence modeling: it is inconsistent to represent architectural details that describe elements with greater detail than the point spacing present in the acquisition mesh or the instrumental precision of the survey.

Laser scanner technology allows the production of extremely dense datasets, but operative effectiveness depends on verifying and certifying metric reliability. Without validation, any processing would lack scientific value (Pancani 2017).

Certification was conducted starting from the survey project and verified on section planes of the point cloud (section wires), obtained through 1 cm thick slices. These allowed the measurement of registration error, which was maintained within a 0.010 m margin, considered acceptable. Control was carried out on horizontal and vertical sections of the masonry, verifying alignments with misalignments between 2 and 10 mm, which are tolerable and consistent with the established levels of accuracy and detail.

The methodology involved structuring optimized datasets through decimation, subsampling, and data segmentation operations, facilitating the identification of morphometric units and the readability of architectural entities.

Subsampling was performed using an octree algorithm in CloudCompare, which divides the three-dimensional space into progressive cubic cells, selecting only one representative point for each cell. This technique reduces the density of the cloud while maintaining geometric legibility and is fundamental for managing large datasets, ensuring optimized data for subsequent BIM processing.

The cloud was divided into files corresponding to the main typological-functional units of the architectural complex: facade, choir, crypt, sacristy, central nave, side aisles, bell tower, and the bishop's palace. Each portion was further processed in Autodesk Recap Pro, distinguishing technological components (masonry, floors, paving, roofs) according to a classification logic consistent with the semantic categories of the BIM language. The macro-subdivision (by architectural units) and micro-segmentation (by building elements) made it possible to organize the geometric and semantic structure of the building, supported by a unique coding system defined in the preliminary phase. The methodological approach was oriented towards optimizing the workflow, built on the constructional specificities of the case study, interoperability needs, and logical-functional subdivision strategies of the model. Starting from the morphological and compositional analysis of the artifact, the multi-source database was organized and processed as the foundation for HBIM modeling (Lumini 2023).

fondamentale, in quanto consente di associare significati, funzioni e relazioni agli elementi architettonici, strutturando un sistema informativo articolato in reti di connessione culturali.

Nella certificazione e validazione del rilievo, risulta imprescindibile analizzare tutte le fasi che concorrono alla produzione del dato metrico: dalla progettazione della campagna di acquisizione fino all'elaborazione dei risultati. È necessario valutare preliminarmente le peculiarità del manufatto - morfologiche, materiche e volumetriche - in relazione alle finalità conoscitive e al livello di accuratezza richiesto. Nei modelli digitali, questa riflessione si traduce nella definizione del *Level of Accuracy* (LOA) atteso, strettamente connesso alla scala grafica di restituzione. Se la modellazione digitale si sviluppa in scala reale (1:1), nella fase di restituzione grafica il modello viene tradotto in una scala convenzionale di rappresentazione, analogamente ai disegni CAD, e risulta vincolato alle soglie minime di percezione grafica da parte dell'osservatore normodotato, generalmente comprese tra 0,2 e 0,3 mm (Parrinello 2024). In ambiente tridimensionale, i limiti percettivi influenzano direttamente la modellazione: risulta incoerente rappresentare dettagli architettonici che descrivono elementi con un dettaglio maggiore rispetto alla spaziatura dei punti presenti nella maglia di acquisizione oppure rispetto alla precisione strumentale del rilievo.

La tecnologia laser scanner consente la produzione di *dataset* estremamente densi, ma l'efficacia operativa dipende dalla verifica e dalla certificazione dell'attendibilità metrica. Senza validazione, ogni elaborazione risulterebbe priva di valore scientifico (Pancani 2017).

La certificazione è stata condotta a partire dal progetto di rilievo e verificata su piani di sezione della nuvola di punti (fili di sezione), ottenuti mediante *slice* di spessore 1 cm. Queste hanno consentito di misurare l'errore di registrazione, mantenuto entro un margine di 0,010 m, considerato accettabile. Il controllo è stato effettuato su sezioni orizzontali e verticali delle murature, verificando allineamenti con disallineamenti compresi tra 2 e 10 mm, tollerabili e coerenti con i livelli di accuratezza e di dettaglio stabiliti.

La metodologia ha previsto la strutturazione di *dataset* ottimizzati attraverso operazioni di decimazione, sottocampionamento e segmentazione del dato, facilitando l'individuazione delle unità morfometriche e la leggibilità delle entità architettoniche.

Il sottocampionamento è stato realizzato con algoritmo *octree* in *CloudCompare*, che suddivide lo spazio tridimensionale in celle cubiche progressive, selezionando un solo punto rappresentativo per ciascuna cella. Questa tecnica riduce la densità della nuvola mantenendo leggibilità geometrica ed è fondamentale per gestire *dataset* di grandi dimensioni, garantendo un dato ottimizzato per le successive elaborazioni BIM.

La nuvola è stata suddivisa in file corrispondenti alle principali unità tipologico-

6. Hierarchization and levels of detail of the information model

The information modeling of the San Miniato al Monte complex was based on a hierarchical data structure, calibrated to cognitive, operative, and representational objectives. In the HBIM language, the level of detail is the result of a process that combines informational quality, morphometrics, and semantic density in relation to the model's application purposes. Following this logic, the basilica body (the focus of the research) was modeled with a high level of detail, while secondary parts - such as the bell tower and the convent - were represented with lower levels. Process optimization selectively deepens the most relevant portions while keeping the model open to future enrichments.

The model was implemented considering regulatory references. The Italian standard UNI 11337:2017, although superseded by the LOIN (Level of Information Need) concept promoted by ISO 19650, served as a reference for defining the level of development of objects. The research adopted three main parameters: Level of Geometry (LOG), Level of Information (LOI), and Level of Accuracy (LOA), articulated in an informational matrix that modulates the degree of development of architectural components in relation to their documentary, functional, and conservative relevance (36). For the Basilica, a LOD equivalent to class "F" of UNI 11337 was reached, integrating geometric accuracy and informational articulation. Secondary structures were developed according to differentiated levels (LOD A and B), in line with the goal of spatial and volumetric contextualization.

This modeling strategy, based on levels of definition calibrated to cognitive priorities, fits within the methodological framework of Reverse LODs, which promotes an incremental and flexible approach: detail is not standardized a priori but is critically modulated based on historical, iconographic, and metric sources, in relation to the representation scale and model objectives (Pancani, Bigongiari e Chiavacci 2024). In this way, it was possible to selectively calibrate the informational level, avoiding over-modeling and prioritizing the critical restitution of components with the greatest historical-artistic relevance.

The HBIM model was structured through segmentation criteria and differentiated levels of detail.

7. From the point cloud to the HBIM model: parametric modeling

The modeling process configures itself as a critical and interpretive practice, where digital surveying, geometric structure, and historical knowledge converge in translating the built environment into a digital language.

Managing the massive amount of acquired data requires defining a methodological protocol useful for uniquely identifying, cataloging, and organizing the main architectural components. Planimetric analysis guided a

funzionali del complesso architettonico: facciata, coro, cripta, sacrestia, navata centrale, navate laterali, torre campanaria e palazzo dei vescovi. Ciascuna porzione è stata ulteriormente processata in *Autodesk Recap Pro*, distinguendo le componenti tecnologiche (murature, solai, pavimenti, coperture) secondo una logica di classificazione coerente con le categorie semantiche del linguaggio BIM. La macro-suddivisione (per unità architettoniche) e la micro-segmentazione (per elementi costruttivi) hanno permesso di organizzare la struttura geometrica e semantica dell'edificio, supportate da un sistema di codifica univoco definito in fase preliminare. L'approccio metodologico è stato orientato all'ottimizzazione del flusso operativo, costruito sulle specificità costruttive del caso studio, sulle esigenze di interoperabilità e sulle strategie di suddivisione logico-funzionale del modello. A partire dall'analisi morfologica e compositiva del manufatto, si è proceduto all'organizzazione della banca dati multi-sorgente e alla sua elaborazione come base per la modellazione HBIM (Lumini 2023).

6. Gerarchizzazione e livelli di dettaglio del modello informativo

La modellazione informativa del complesso di San Miniato al Monte si è basata su una struttura gerarchica del dato, calibrata sugli obiettivi conoscitivi, operativi e rappresentativi. Nel linguaggio HBIM, il livello di dettaglio è il risultato di un processo che combina qualità informativa, morfometrica e densità semantica rispetto ai fini applicativi del modello. Secondo questa logica, il corpo basilicale (fulcro della ricerca) è stato modellato con un livello di dettaglio elevato, mentre le parti secondarie - come la torre campanaria e il convento - sono state rappresentate con livelli inferiori. L'ottimizzazione del processo di modellazione approfondisce selettivamente le porzioni di maggiore rilevanza e mantiene il modello aperto a futuri arricchimenti.

Il modello è stato implementato considerando i riferimenti normativi. La normativa italiana UNI 11337:2017, pur superata dal concetto di LOIN (*Level of Information Need*) promosso dalla ISO 19650, ha costituito un riferimento per la definizione del livello di sviluppo degli oggetti. Nella ricerca sono stati assunti i tre parametri principali: *Level of Geometry* (LOG), *Level of Information* (LOI) e *Level of Accuracy* (LOA), articolati in una matrice informativa che modula il grado di sviluppo dei componenti architettonici in rapporto alla loro rilevanza documentaria, funzionale e conservativa (36). Per la Basilica è stato raggiunto un LOD equivalente alla classe "F" della UNI 11337, integrando accuratezza geometrica e articolazione informativa. Le fabbriche secondarie sono state sviluppate secondo livelli differenziati (LOD A e B), in funzione dell'obiettivo di contestualizzazione spaziale e volumetrica.

Questa strategia di modellazione, basata su livelli di definizione calibrati sulle priorità conoscitive, si colloca nel quadro metodologico del *Reverse LODs*, che

multi-level segmentation: main sectors, sub-sectors, and homogeneous functional units. Three macro-sectors were thus identified - the Basilica, the Bishop's Palace, and the Bell Tower - each coded using an alphanumeric system. The Basilica was further divided into sub-sectors corresponding to its functional macro-zones (facade, central nave, side aisles, crypt, choir, sacristy, and the Chapel of the Cardinal of Portugal), consistent with the typical spatial and liturgical layout of basilicas. Within this articulation, specific functional units were identified, categorized according to typological criteria: building units (masonry and load-bearing structures), plant units (wells), and artistic units (statues, furnishings, and decorations). A unique identification code was assigned to each to ensure full integration into the database. A further level of definition was introduced by coding technological units, associating alphanumeric combinations with constructive articulation, and allowing the relationships between different elements to be effectively represented and managed.

The optimized and segmented point cloud was imported into Autodesk Recap and managed in Autodesk Revit, allowing for constant comparison between modeled geometries and acquired survey data. The modeling environment was structured using horizontal levels and grids derived from orthogonal sections, thereby anchoring the main elements (masonry, pillars, roofs, openings) to a mesh consistent with the construction logic. The scan-to-BIM approach followed a logical path through the construction of standard parametric families, integrated by customized or nested families in more complex cases.

Modeling began with the envelope (masonry, floors, roofs) and progressively extended to secondary structures, vertical connections, and decorative elements, each enriched with informational parameters regarding dating, material, and function. In highly complex cases, such as stairs and vertical connections, composite parametric tools were adopted (sweeps, adaptive families, nested components), capable of capturing the constructional irregularity of historical structures.

Nave capitals were modeled individually as in-place families, highlighting the cataloging function of HBIM. Modeling followed simplification logics necessary to manage the geometric complexity inherent in these stone artifacts which, despite sharing the same structural and decorative function, each present an unrepeatable form, bearing uniqueness and formal specificity. Similarly, liturgical furnishings and wooden choirs were organized as nested parametric families, while marble claddings were modeled as additional layers with properties relating to material, chronology, and position. Similar attention was paid to the monumental altars, rendered through parametric families articulated into sub-components capable of representing their formal complexity.

The wooden truss roofs were modeled starting from custom-developed parametric families, adapted based on the point cloud and enriched with adjustable

promuove un approccio incrementale e flessibile: il dettaglio non è standardizzato a priori, ma modulato criticamente sulle fonti storiche, iconografiche e metriche, in relazione alla scala di rappresentazione e agli obiettivi del modello (Pancani, Bigongiari e Chiavacci 2024). In tal modo è stato possibile calibrare selettivamente il livello informativo, evitando un eccesso di modellazione e privilegiando la restituzione critica delle componenti di maggiore rilevanza storico-artistica.

Il modello HBIM è stato strutturato attraverso criteri di segmentazione e livelli di dettaglio differenziati.

7. Dalla nuvola di punti al modello HBIM: modellazione parametrica

Il processo di modellazione si configura come pratica critica e interpretativa, in cui rilievo digitale, struttura geometrica e conoscenza storica convergono nella traduzione del costruito in linguaggio digitale.

La gestione della grande mole di dati acquisiti necessita della definizione di un protocollo metodologico utile a identificare, catalogare e organizzare in maniera univoca le principali componenti architettoniche. L'analisi planimetrica ha guidato la segmentazione articolata su più livelli: settori principali, sub-settori e unità funzionali omogenee. Sono stati così individuati tre macrosettori - la Basilica, il Palazzo dei Vescovi e la Torre campanaria - ciascuno codificato tramite un sistema alfanumerico. La Basilica è stata ulteriormente suddivisa in sub-settori corrispondenti alle sue macro-zone funzionali (facciata, navata centrale, navate laterali, cripta, coro, sacrestia e Cappella del Cardinale del Portogallo), in coerenza con la distribuzione spaziale e liturgica tipica delle basiliche. All'interno di tale articolazione, sono state individuate unità funzionali specifiche, categorizzate secondo criteri tipologici: unità edilizie (murature e strutture portanti), unità impiantistiche (pozzi) e unità artistiche (statue, arredi e decorazioni). A ciascuna è stato attribuito un codice identificativo univoco per garantirne la piena integrazione nel *database*. Un ulteriore livello di definizione è stato introdotto attraverso la codifica delle unità tecnologiche, che associa combinazioni alfanumeriche all'articolazione costruttiva, consentendo di rappresentare e gestire con efficacia le relazioni tra i diversi elementi.

La nuvola di punti, ottimizzata e segmentata, è stata importata in *Autodesk Recap* e gestita in *Autodesk Revit*, consentendo il confronto costante tra geometrie modellate e dato acquisito dal rilievo. L'ambiente di modellazione è stato strutturato mediante livelli orizzontali e griglie ricavate da sezioni ortogonali, così da ancorare gli elementi principali (murature, pilastri, coperture, aperture) a una maglia coerente con la logica costruttiva. L'approccio *scan-to-BIM* ha seguito una logica attraverso la costruzione di famiglie parametriche standard, integrate da famiglie personalizzate o nidificate nei casi più complessi.

La modellazione è stata avviata dall'involucro (murature, solai, coperture) e

geometric parameters capable of capturing the structural variations of the wooden systems.

8. Development of an archive: structuring the information model

In structuring the HBIM model, informational enrichment surpasses the descriptive dimension to become an interpretive practice, where geometry, historical data, and semantic content converge in a knowledge platform. Informational implementation represents the maturation of the cognitive process: a process that builds a structured and relational archive capable of hosting semantic, chronological, material, and spatial instances vital for understanding the artifact (Parrinello, Picchio and La Placa 2024).

Semantic enrichment was conducted according to unique classification criteria, developed in the Autodesk Revit environment using shared parameters. Starting from a reflection on the ontology of the asset, customized information fields were introduced, coded as instance parameters and applicable to all object categories, ensuring a hierarchical reading of information. The semantic articulation was organized around five main cores: typology, localization, dating, geometric characteristics, and material characteristics. Each category contributes to building an information sheet capable of conveying identity, location, and historical-constructive context, essentially documenting the true identity of the element.

A fundamental operative tool was the use of parametric schedules, customized for each architectural category. In total, 13 schedules were drafted: eight referring to the sub-sectors of the Basilica and five to the main architectural typologies. Each schedule functioned as an input interface and verification tool, allowing constant cross-checking between information and geometry.

In some cases, the informational apparatus was expanded through hyperlinks between instances and in-depth sheets stored in a cloud database, including two-dimensional drawings, photographic reports, and historical sources. This extension made the model part of a distributed digital ecosystem, promoting usability and controlled data sharing with other actors in the knowledge process.

Semantic enrichment reflects the Heritage Building Information Modeling approach, which interprets the digital model as a device for representation, knowledge, and management. In the case of San Miniato al Monte, this led to the definition of a model that is not only consistent with the survey but also structured according to descriptive logics capable of conveying the cultural stratification of the artifact through an accessible, expandable platform open to future developments.

progressivamente estesa a strutture secondarie, collegamenti verticali ed elementi decorativi, ciascuno arricchito da parametri informativi su datazione, materia e funzione. Nei casi più complessi, come scale e collegamenti verticali, sono stati adottati strumenti parametrici compositi (estrusioni su percorso, famiglie adattive, componenti nidificati), capaci di restituire l'irregolarità costruttiva delle strutture storiche.

I capitelli delle navate sono stati modellati singolarmente come famiglie *in-place*, evidenziando la funzione catalografica dell'HBIM. La modellazione ha seguito logiche di semplificazione, necessarie a rendere gestibile la complessità geometrica propria di questi manufatti lapidei che, pur condividendo la stessa funzione strutturale e decorativa, presentano ciascuno una forma irripetibile, portatrice di unicità e specificità formale. Analogamente, arredi liturgici e cori lignei sono stati organizzati come famiglie parametriche nidificate, mentre i rivestimenti marmorei sono stati modellati come strati aggiuntivi con proprietà relative a materia, cronologia e posizione. Un'analoga attenzione è stata riservata agli altari monumentali, restituiti tramite famiglie parametriche articolate in sottocomponenti, capaci di rappresentarne la complessità formale.

Le coperture lignee con capriate sono state modellate a partire da famiglie parametriche sviluppate ad *hoc*, adattate sulla base della nuvola di punti e arricchite con parametri geometrici regolabili, capaci di restituire le variazioni strutturali dei sistemi lignei.

8. Sviluppo di un archivio: la strutturazione del modello informativo

Nella strutturazione del modello HBIM, l'arricchimento informativo supera la dimensione descrittiva per configurarsi come pratica interpretativa, in cui geometria, dato storico e contenuto semantico convergono in una piattaforma conoscitiva. L'implementazione informativa rappresenta la maturazione del processo conoscitivo: un processo che costruisce un archivio strutturato e relazionale, capace di ospitare istanze semantiche, cronologiche, materiche e spaziali funzionali alla comprensione del manufatto (Parrinello, Picchio e La Placa 2024).

L'arricchimento semantico è stato condotto secondo criteri di classificazione univoci, sviluppati in ambiente *Autodesk Revit* mediante parametri condivisi. A partire da una riflessione sull'ontologia del bene, sono stati introdotti campi informativi personalizzati, codificati come parametri d'istanza e applicabili a tutte le categorie di oggetti, garantendo una lettura gerarchica delle informazioni. L'articolazione semantica è stata ordinata attorno a cinque nuclei principali: tipologia, localizzazione, datazione, caratteristiche geometriche e materiche. Ogni categoria concorre alla costruzione di una scheda informativa capace di restituirne identità, collocazione e contesto storico-costruttivo, documentando la

9. Criteria and protocols for the geometric validation of the HBIM model

Geometric accuracy is not merely a requirement, but an essential condition for the reliability of the information model. Modeling requires a critical reflection on the metric quality of data, regarding its ability to render the morphological and constructive particularities of the historical artifact.

In the case of the Basilica of San Miniato al Monte, the verification of the model's geometric adherence to the surveyed data was conducted according to LOA criteria within the Specification Guide of the U.S. Institute of Building Documentation (USIBD). This comparison between the metric precision of the survey and the adherence of the restitution (the representative component) emphasizes how the model's fidelity depends not only on data density but on its capacity to coherently represent the constructive nature of the asset.

Validation was performed via direct comparison between the HBIM model and the point cloud, superimposed within the modeling environment to identify significant and morphologically complex areas. Measurements allowed for quantifying the standard deviation and assigning the model a documentable LOA level, attesting to deviations within the tolerances defined by the USIBD protocol and consistent with as-built HBIM models (LOA20).

Accuracy takes on critical value as it dictates the possibility of using the model as a device for knowledge and conservation. The transition from a representational to an informational logic implies a methodological responsibility in defining tolerances, simplifications, and modeling criteria. The result achieved guarantees not only metric adherence within expected limits but, above all, a methodological coherence that legitimizes the model as a tool for the transmission of knowledge, respecting conservative and representational logics (Pancani and Carissimo 2026).

10. Conclusions

Within the framework of reflections on the relationship between digitalization, knowledge, and design, the information modeling experience of the San Miniato al Monte complex serves as a methodological contribution aimed at bridging the domains that characterize graphical restitution and the interpretation of architectural data, the study of historical documents, and their representation. HBIM, understood not as a simple translation of design language towards existing structures but as an investigative tool, has allowed the informational structure of the historical artifact to be reformulated according to relational, queryable, and dynamic logics (Brusaporci et al. 2023).

The articulation of the process - from morphometric surveying to parametric modeling and semantic enrichment - made it possible to build a digital model that not only renders the material conformation of the asset but interprets its historical

vera e propria identità dell'elemento.

Strumento operativo fondamentale è stato l'impiego degli abachi parametrici, personalizzati per ciascuna categoria architettonica. In totale sono stati redatti 13 abachi, otto riferiti ai sub-settori della Basilica e cinque alle principali tipologie architettoniche. Ogni abaco ha funzionato come interfaccia di *input* e strumento di verifica, permettendo un costante controllo tra informazione e geometria.

In alcuni casi, l'apparato informativo è stato ampliato tramite collegamenti ipertestuali tra istanze e schede di approfondimento archiviate in un *database* in *cloud*, comprendente disegni bidimensionali, *report* fotografici e fonti storiche. Questa estensione ha reso il modello parte di un ecosistema digitale distribuito, favorendo la fruibilità e la condivisione controllata dei dati con altri attori del processo di conoscenza.

L'arricchimento semantico riflette l'approccio dell'*Heritage Building Information Modeling*, che interpreta il modello digitale come dispositivo di rappresentazione, conoscenza e gestione. Nel caso di San Miniato al Monte, ciò ha condotto alla definizione di un modello non solo coerente con il rilievo, ma anche strutturato secondo logiche descrittive capaci di restituire la stratificazione culturale del manufatto attraverso una piattaforma consultabile, ampliabile e aperta a futuri sviluppi.

9. Criteri e protocolli per la validazione geometrica del modello HBIM

L'accuratezza geometrica non è solo un requisito, ma una condizione essenziale per l'affidabilità del modello informativo. La modellazione impone una riflessione critica sulla qualità metrica dei dati, in funzione della loro capacità di restituire le particolarità morfologiche e costruttive del manufatto storico.

Nel caso della Basilica di San Miniato al Monte, la verifica dell'aderenza geometrica del modello al dato rilevato è stata condotta secondo i criteri del LOA all'interno delle *Specification Guide dell'U.S. Institute of Building Documentation* (USIBD). Tale confronto tra precisione metrica del rilievo e aderenza della restituzione (componente rappresentativa), sottolinea come la fedeltà del modello dipenda non solo dalla densità del dato, ma dalla sua capacità di rappresentare in modo coerente la natura costruttiva del bene.

La validazione è stata eseguita tramite confronto diretto tra modello HBIM e nuvola di punti, sovrapposti in ambiente di modellazione per individuare aree significative e morfologicamente complesse. Le misurazioni hanno permesso di quantificare la deviazione standard e di attribuire al modello un livello LOA documentabile, attestando scostamenti compresi entro le tolleranze definite dal protocollo USIBD e coerenti con modelli HBIM di tipo *as-built* (LOA20).

L'accuratezza assume un valore critico poiché condiziona la possibilità di utilizzare il modello come dispositivo di conoscenza e conservazione. Il passaggio dalla logica rappresentativa a quella informativa implica una

and constructional density through an information platform capable of enabling new forms of reading, management, and representation.

In the case of the Basilica, the modelling process required a balance between the need for synthesis and respect for the building's formal specificity. The use of parametric design, albeit within the limitations imposed by the software, made it possible to maintain methodological and semantic consistency, producing a readable and interoperable information system without compromising on metric precision. Verifications carried out in accordance with USIBD protocols documented the model's geometric reliability, ensuring its validation. The value of the model lies in its openness as a dynamic knowledge platform, bridging the gap between documentation and design. The integration of surveying techniques, digital tools and disciplines - from architecture to history, from representation to conservation - suggests an operational paradigm capable of restoring to heritage projects an interpretative depth that is now more necessary than ever. The 'virtual construction of designed architecture' transcends the static dimension of projective drawing to assume the role of multidimensional writing, where the knowledge of the past meets the possibilities of the present (Carbonara, Centofanti and Mingucci 2015).

The refined scan-to-BIM process is not limited to documenting a heritage asset, but offers a systemic and transformative interpretation, situating itself within the long-term process of understanding and transmitting heritage values. In addition to restoring a specific architectural identity, the work defines a replicable operational protocol capable of adapting to other contexts of historical and architectural heritage.

responsabilità metodologica nella definizione di tolleranze, semplificazioni e criteri di modellazione. Il risultato raggiunto garantisce non solo un'aderenza metrica entro i limiti previsti, ma soprattutto una coerenza metodologica che legittima il modello come strumento per la trasmissione della conoscenza, nel rispetto delle logiche conservative e rappresentative (Pancani e Carissimo 2026).

10. Conclusioni

Nel quadro delle riflessioni sul rapporto tra digitalizzazione, conoscenza e progetto, l'esperienza di modellazione informativa del complesso di San Miniato al Monte si configura come contributo metodologico volto ad avvicinare gli ambiti che caratterizzano la restituzione grafica e l'interpretazione dei dati architettonici, lo studio dei documenti storici e la loro rappresentazione. L'HBIM, inteso non come semplice traslazione del linguaggio progettuale verso l'esistente, ma come strumento di indagine, ha consentito di riformulare la struttura informativa del manufatto storico secondo logiche relazionali, interrogabili e dinamiche (Brusaporci et al. 2023).

L'articolazione del processo - dal rilievo morfometrico alla modellazione parametrica, fino all'arricchimento semantico - ha permesso di costruire un modello digitale che non restituisce soltanto la conformazione materica del bene, ma ne interpreta la densità storica e costruttiva attraverso una piattaforma informativa capace di abilitare nuove forme di lettura, gestione e rappresentazione.

Nel caso della Basilica, la modellazione ha richiesto un equilibrio tra esigenze di sintesi e rispetto della specificità formale. L'adozione del linguaggio parametrico, pur nei limiti imposti dai *software*, ha consentito di preservare coerenza metodologica e semantica, restituendo un sistema di informazioni leggibile e interoperabile, senza rinunciare alla precisione metrica. Le verifiche condotte secondo i protocolli USIBD hanno documentato l'affidabilità geometrica del modello, garantendo la sua validazione.

L'integrazione tra tecniche di rilievo, strumenti digitali e discipline - dall'architettura alla storia, dalla rappresentazione alla conservazione - suggerisce un paradigma operativo capace di restituire al progetto sul patrimonio una profondità interpretativa oggi più che mai necessaria. La "costruzione virtuale dell'architettura progettata" supera la dimensione statica del disegno proiettivo per assumere il ruolo di scrittura multidimensionale, dove i saperi del passato incontrano le possibilità del presente (Carbonara, Centofanti e Mingucci 2015).

Il processo *scan-to-BIM* elaborato non si limita a documentare un bene, ma propone una lettura sistemica e trasformativa, collocandosi nel lungo processo di conoscenza e trasmissione dei valori del patrimonio. Oltre a restituire una specifica identità architettonica, il lavoro definisce un protocollo operativo replicabile, capace di adattarsi ad altri contesti del patrimonio storico-architettonico.

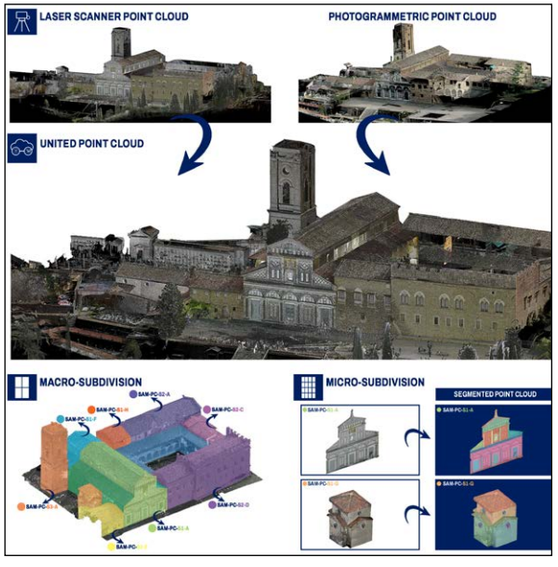


Figure 1 - Integration of laser scanner and photogrammetric point clouds aligned in a single three-dimensional database and segmentation of the point cloud and relative file encoding according to the protocol defined for the case study.

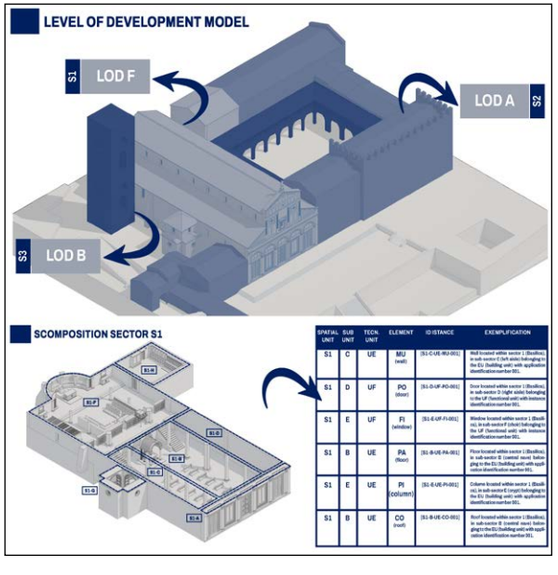


Figure 2 - Outline of the Levels of Detail (LOD) adopted in accordance with the UNI 11337 classification, and the hierarchical structure, organisation and coding of the information model.

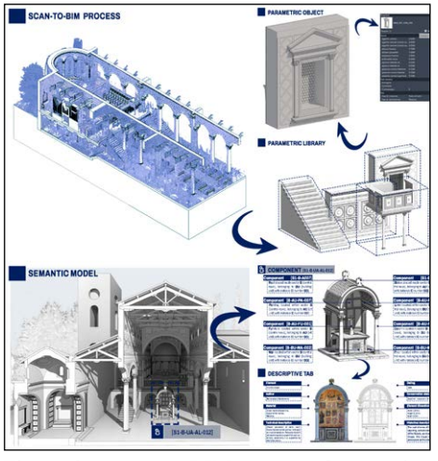


Figure 3 - Scan-to-BIM process for creating parametric libraries and linking the information to the model.

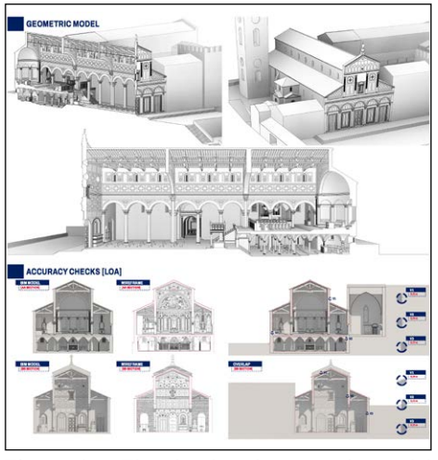


Figure 4 - The developed geometric model and the procedures for verifying the Level Of Accuracy (LOA).

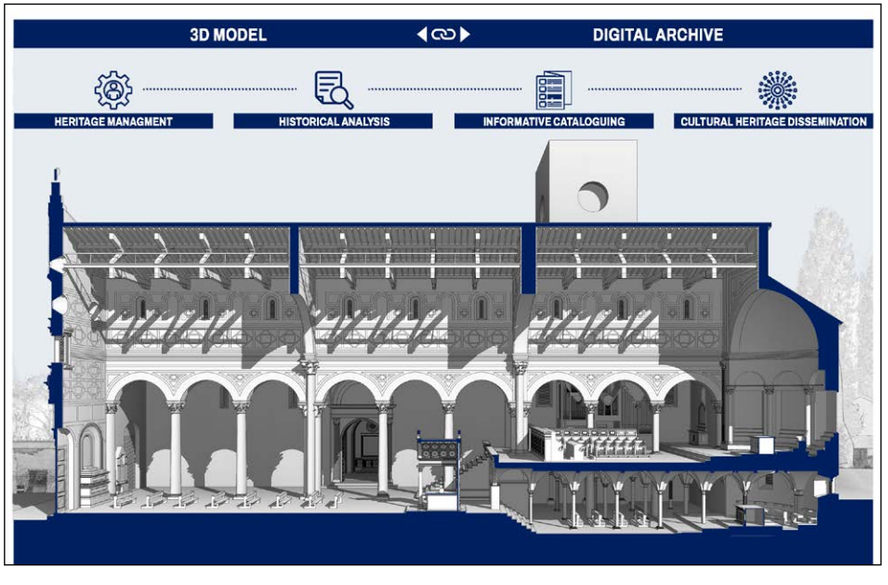


Figure 5 - From the model to the information system: towards a knowledge platform.

Bibliography

Apollonio, Fabrizio Ivan, Marco Gaiani, e Simone Garagnani. 2024. “Beyond the frame: a multifaceted approach to Cultural Heritage 3D models through levels of iconicity and user-centric visualization tools.” *DISEGNARECON* 17 (32): 1-11.

Arrighetti, Andrea, Giovanni Pancani, e Marta Gentili. 2019. “La Pieve di Santa Maria a Buiano in Casentino. rilievo e lettura archeologica delle architetture per il progetto HBIM.” In *Archeologia dell’Architettura*, vol. XXIV, 157-176.

Balzani, Marcello, Federica Maietti, e Marco Medici. 2016. “La rappresentazione BIM per la documentazione e l’analisi storico-critica del patrimonio modernista.” *DISEGNARECON* 9 (16): 8.1-8.7.

Balzani, Marcello. 2017. “Procedure integrate di analisi e rilievo dell’Arco di Traiano a Benevento per il restauro e la valorizzazione.” *Restauro Archeologico* 25 (1): 4-19. https://doi.org/10.13128/RA-21007.

Banfi, Fabrizio. 2017. “BIM orientation: grades of generation and information for different type of analysis and management process.” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 42: 57-64.

Brumana, Raffaella, Stefano Della Torre, Mattia Previtali, Luigi Barazzetti, Lorenzo Cantini, Daniela Oreni, e Fabrizio Banfi. 2018. “Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): Surveying, preservation, site intervention—The Basilica di Collemaggio (L’Aquila).” *Applied Geomatics* 10 (4): 545-567.

Brusaporci, Stefano, Pamela Maiezza, Adriana Marra, Alessandra Tata, e Luca Vespasiano. 2023. “Scan-to-HBIM reliability.” *Drones* 7 (7): 426.

Carbonara, Giovanni, Mario Centofanti, e Roberto Mingucci. 2015. “Design for Restoration: beyond the survey.” *DISEGNARECON* 8 (14): 1-3.

Docci, Mario, e Diego Maestri. 1999. *Manuale di rilevamento architettonico*. Roma: Laterza.

Dore, Conor, e Maurice Murphy. 2015. “Historic building information modelling (HBIM).” In *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, 233-73. Hershey: IGI Global.

Lumini, Andrea. 2023. “The integrated digital survey of the Florence Air Warfare School. HBIM-based protocols for documentation and information management.” *DISEGNARECON* 16 (30): DW1.

Matrone, Francesca, e Andrea Maria Lingua. 2021. “Tecniche di deep learning per la segmentazione semantica di nuvole di punti del patrimonio architettonico.” In *ASITA Academy 2021*, 302-304.

Minutoli, Giovanni. 2018. “Naso: valutazioni sulla vulnerabilità sismica del centro storico.” *Archeologia dell’Architettura* XXIII: 49-62.

Pancani, Giovanni. 2017. “The historic centre of Poppi, an urban-scale analysis for assessment of seismic risk.” *DISEGNARECON* 10 (18): 9.1-9.10. (ISSN 1828-5961).

Pancani, Giovanni, e Matteo Bigongiari. 2019. “The Integrated Survey of the Pergamum by Nicola Pisano in the Cathedral of Pisa.” In *Digital Cultural Heritage*, 373-388. Cham: Springer International Publishing.

Pancani, Giovanni, e Luca Chiavacci. 2024. “Rilievo e modello HBIM della Basilica di San Miniato al Monte.” *TRIBELON - Journal of Drawing and Representation of Architecture, Landscape and Environment* 1 (1): 113-115.

Pancani, Giovanni, Matteo Bigongiari, e Luca Chiavacci. 2024. “Methodologies for HBIM Representation and Management for Small Artifacts of Significant Artistic and Architectural Value: The Case Study of the Ciborium by Giovanni di Michelozzo in the Basilica of San Miniato al Monte in Florence.” In *Proceedings of the 21st International Conference on Culture and Computer Science: from Humanism to Digital Humanities*, 1-10.

Pancani, Giovanni, e Mariangela Carissimo. 2026. “Scan-to-HBIM Approach for Digital Management and Virtual Fruition.” *Heritage* 9 (4): 151.

Parrinello, Sandro, e Anna Dell’Amico. 2020. “From survey to parametric models: HBIM systems for enrichment of cultural heritage management.” In *From Building Information Modelling to Mixed Reality*, 89-107. Cham: Springer International Publishing.

Parrinello, Sandro. 2022. “Modelli informativi della città per la gestione delle trasformazioni urbane / City information models for the management of urban transformation.” *Disegno, Rilievo e Progettazione* 23-35.

Parrinello, Sandro, Anna Sanseverino, e Hangjun Fu. 2023. “HBIM modelling for the architectural valorisation via a maintenance digital eco-system.” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 48: 1157-1164.

Parrinello, Sandro. 2024. “La permanenza del segno in un linguaggio senza contorni e in continua evoluzione.” *TRIBELON* 1: 4-7.

Parrinello, Sandro, Francesca Picchio, e Silvia La Placa. 2024. “The Construction of an Informative 3D Model for the Monitoring of City Heritage Risk.” In *Reviving Aleppo: Urban, Legal and Digital Approaches for Post-War Recovery*, 243-274. Cham: Springer International Publishing.

Parrinello, Sandro, e Alberto Pettineo. 2025. “Databases and Information Models for Semantic and Evolutionary Analysis in Fortified Cultural Heritage.” *Heritage* 8 (1): 29.

Pereira Roders, Ana, e Toshiya Hasebe. 2019. *Reshaping Urban Conservation*. Singapore: Springer.

Scianna, Andrea, Giuseppe Fulvio Gaglio, e Marcello La Guardia. 2020. “HBIM data management in historical and archaeological buildings.” *Archeologia e Calcolatori* 31 (1).

Volk, Rebekka, Julian Stengel, e Frank Schultmann. 2014. “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs.” *Automation in Construction* 38: 109-27.