

# Historic Building Information Modeling towards building diagnostic data management. A case study

Silvana Bruno\*, Mariella De Fino, Fabio Fatiguso

---

## Highlights

Material-constructive characterization and building condition assessment supported by on-site diagnostic tests is a topic insufficiently investigated in Historic Building Information Modeling (HBIM) methodology.

An approach for integrating diagnostic activities in HBIM methodology, for refurbishment of historic buildings, is proposed.

---

## Abstract

The article proposes a methodology for acquisition and management of integrated knowledge for refurbishment of architectural heritage, belonged to the Apulian construction tradition. The acquisition phase is based on historical-archival analysis and visual inspections, to proceed with the subsequent planning and execution of diagnostic surveys. Successively, the handling of information collation and archiving follows criteria of Historic Building Information Modeling (HBIM), an innovative approach for coordinating refurbishment process, which, in the specific study, contributes to the systematization of knowledge about materials, constructive techniques and residual performance levels about architectural components, limiting uncertainty of interpretation.

---

## Keywords

HBIM, Historic buildings, Non-destructive tests, Wooden and wattle vaults, Wooden slabs

---

## 1. INTRODUCTION

The design of appropriate refurbishment succeeds on the basis of an accurate knowledge about the building, and its transformations over time [1][2]. Firstly, assessment activity includes the execution of complementary sub-activities for gaining information, and subsequently, diagnosis for identifying causes of detected anomalies, by objectifying the criteria of information analysis, comparison and interpretation. However, being data and information contained in independent documents, their correlation often makes critical the diagnosis phase. On this point, an integrated information management approach is required. A new paradigm, already validated for new buildings, demonstrates its potentialities in managing knowledge; it consists in Building Information Modeling (BIM), which becomes Historic Building Information Modeling (HBIM) for structured knowledge exchange about existing artefacts.

### Silvana Bruno

DICATECh - Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Ambientale,  
Territoriale, Edile e Chimica,  
Politecnico di Bari, via E.  
Orabona 4, Bari, 70126, Italia

### Mariella De Fino

DICATECh - Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Ambientale,  
Territoriale, Edile e Chimica,  
Politecnico di Bari, via E.  
Orabona 4, Bari, 70126, Italia

### Fabio Fatiguso

DICATECh - Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Ambientale,  
Territoriale, Edile e Chimica,  
Politecnico di Bari, via E.  
Orabona 4, Bari, 70126, Italia

\* Corresponding author  
e-mail: silvana.bruno@poliba.it

Knowledge, once acquired through analytical studies, and diagnostic and monitoring tests, is made entirely consultable during refurbishment design and execution, extending its effective availability over the entire building life cycle [3][4].

In addition, progressive developments in Information & Communication Technology (ICT) move BIM in the direction of streamlining and automating workflows.

Indeed, nowadays, the insertion and use of data is performed at different levels of digitization. The first one, which we call Object Information Level (Ob-IL), occurs through the creation of attributes in parametric objects within the digital model [5]. The second method allows real-time data acquisition, archiving and management into databases or web-based platforms linked to the model, for a continuous monitoring and updating of information [6]. The name Real-Time Monitoring Information Level (RTM-IL) is assigned to this level.

Recent research aims to integrate Internet of Things (IoT) into BIM methodology in order to eliminate informal controls and reduce uncertainties [7]. The actual use of information ensues through methods and tools for the Operational Information Level (Op-IL), such as the navigation of BIM model, or Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR), for rapid and user-friendly consultation [8][9].

Therefore, the diagnosis phase of historic buildings can be effectively managed through HBIM and information digitization. In that scenario, this research work initiates with the state of the art that highlights limited studies in literature about protocols for including diagnostic information and building condition assessment in an integrated HBIM-aided refurbishment project. In the next section, a structured framework about diagnostic data management, employing currently available software tools, is shown. The validation of this proposed procedure has been performed on a representative case study, the eighteenth-century Palazzo Palmieri in Monopoli (Bari, Southern Italy). In particular, the study focuses on wooden slabs and vaults, located on the noble floor, for selected limitation of scopes.

## 2. STATE OF THE ART

The concept of HBIM originates with Murphy's research [10], which includes the creation of a library of architectural components modeled in parametric objects, after geometric surveys carried out with photogrammetric and laser scanning techniques. Acquired point clouds and raster images are processed with reverse engineering algorithms for three-dimensional or orthophoto

### 1. INTRODUZIONE

*La progettazione di coerenti interventi di recupero avviene sulla base di una conoscenza accurata dell'edificio e delle trasformazioni subite nel tempo [1][2]. L'attività conoscitiva comporta, dapprima, l'esecuzione di sub-attività complementari di acquisizione delle informazioni, e successivamente, la diagnosi che conduce alla identificazione delle cause delle anomalie rinvenute, attraverso l'oggettivazione dei criteri di analisi, confronto ed interpretazione. Tuttavia, trattandosi di dati e informazioni riportati in supporti documentali indipendenti, spesso la correlazione di questi rende critica la fase di diagnosi. Un approccio alla gestione integrata delle informazioni, già validato per le nuove costruzioni, è il Building Information Modeling (BIM) che si configura come Historic Building Information Modeling (HBIM), nella fattispecie, una metodologia di collaborazione e scambio strutturato della conoscenza sul manufatto esistente. Tale conoscenza, una volta acquisita attraverso indagini documentali, analitiche, e test diagnostici e di monitoraggio, viene resa integralmente disponibile durante la progettazione e l'esecuzione di interventi, estendendo la sua efficace reperibilità durante l'intero ciclo di vita [3][4].*

*Inoltre, grazie ai progressivi sviluppi, l'Information & Communication Technology (ICT) sta portando il BIM nella direzione dello snellimento e dell'automatizzazione del flusso di attività che coinvolge gli attori del processo.*

*Difatti, l'operazione di inserimento ed utilizzo di dati ora avviene a differenti livelli di digitalizzazione. Il primo, che denominiamo Object Information Level (Ob-IL), avviene attraverso la creazione di attributi negli oggetti parametrici di cui è costituito il modello digitale [5]. Il secondo metodo permette l'acquisizione, l'archiviazione e la gestione di dati, in tempo reale, all'interno di database o piattaforme web-based collegati al modello, per un continuo monitoraggio e aggiornamento delle informazioni, e di conseguenza, del modello [6]. A tale livello viene assegnata la denominazione di Real-Time Monitoring Information Level (RTM-IL).*

*Le più recenti ricerche puntano ad integrare l'Internet of Things (IoT) alla metodologia BIM per eliminare i controlli informali e ridurre le incertezze [7]. L'effettivo utilizzo delle informazioni avviene con metodi e strumenti per l'Operative Information Level (Op-IL), ovvero attraverso la navigazione del modello BIM o Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata (AR) per una consultazione rapida e user-friendly [8][9].*

*Dunque, la fase di diagnosi di edifici storici da conservare e mantenere può essere efficacemente gestita attraverso l'HBIM e il processo di digitalizzazione delle informazioni. In tale scenario, il lavoro parte dallo stato dell'arte che evidenzia la limitatezza di studi in letteratura inerente protocolli di inclusione delle informazioni diagnostiche e di valutazione dello stato dei luoghi in un progetto integrato di recupero in*

reconstructions that accurately capture shapes, geometries and textures in “as damaged” conditions. The next step is converting three-dimensional reconstructions into parametric objects, process called “scan-to-BIM” or “point-to-BIM” [11], a still open research topic because of the required definition of algorithms for segmentation and automatic recognition of each single components [12][13]. The recognition methods have been implemented in applications for direct conversion of such building and technical components characterized by regular geometries. Whereas, this operation is difficult for modelling existing buildings characterized by complex and irregular shapes; for instance, limestone masonry buildings present non-constant cross sections and out-of-plumbs (for limiting loads and moving the center of gravity to the lowest level), and vaults of complex geometry [14].

Although the photo-reconstructions contain geometric data and information about degradation conditions, such as cracks and humidity patterns, their direct re-use into simulation software products is incompatible, limiting their usage as consultable sources for design and programming (times and costs) of energy retrofiting, structural consolidations, seismic improvements and functional transformations. This is because data is visible but not computable within controlled, automated and bidirectional import/export operations, objectives of BIM approach. For this last detail, in spite of the complexity of accurate parametric reconstruction, creating a BIM model of existing building is worth because it should provide greater control of design decisions in terms of performance, cost and time, thanks to capabilities of quantifying the extension of decay patterns, calculating costs of intervention alternatives and managing performance parameters (thermal, mechanical, etc.).

Subsequently, BIM model is populated with attributes inherent materials, structural properties, and considerations about the state of conservation, activity belonged to the first digitization level (Ob-IL), which falls under the HBIM process called semantic enrichment. Nevertheless, a limited number of studies have dealt with the structuring of such data within the model [11][4], in order to contribute to the definition of guidelines for the information exchange and to widespread the adoption of this new paradigm in refurbishment. In this perspective, Bruno and Fatiguso, 2017 [4] formalized the information requirements for non-destructive diagnostic tests to be included into the model, in the specific, metadata and measurements generated with the application of GPR tests on limestone masonry, for assessing degradation conditions and monitoring the effects of former consolidation interventions.

Equally, continuous performance monitoring supports design and execution of refurbishment. Some monitoring applications, integrated in BIM for

*ottica HBIM. Nella sezione successiva, si illustra un quadro strutturato della metodologia di gestione dei dati diagnostici con gli strumenti software disponibili al momento sul mercato. In particolare, la procedura proposta viene validata su un flusso di attività diagnostiche effettuato su un caso di studio rappresentativo, il settecentesco Palazzo Palmieri di Monopoli (Bari, Sud Italia) ed, in particolare, per brevità di trattazione, inerente gli orizzontamenti lignei e le volte del piano nobile.*

## 2. STATO DELL'ARTE

*Il concetto di HBIM ha origine con la ricerca di Murphy [10], che comprende la creazione di una libreria di componenti architettonici modellati in oggetti parametrici, sulla base dei rilievi geometrici effettuati con tecniche fotogrammetriche e laser scanning. I dati acquisiti, nuvole di punti o immagini raster, vengono processati con algoritmi di reverse engineering per ottenere ricostruzioni tridimensionali o ortofoto che catturano, in maniera accurata, forme, geometrie e texture nelle condizioni “as damaged”. La fase successiva è la conversione delle ricostruzioni tridimensionali in oggetti parametrici, denominata “scan-to-BIM” o “point-to-BIM” [11], tema aperto di ricerca per la definizione di algoritmi di segmentazione e riconoscimento automatico dei singoli componenti [12][13].*

*Tuttavia, si tratta di metodologie che sono state implementate in applicativi per la conversione diretta di componenti edilizi e tecnici, caratterizzati da geometrie regolari. Contrariamente, questa operazione risulta difficoltosa nella modellazione di edifici esistenti con strutture di forme complesse ed irregolari, come ad esempio, nel caso degli edifici in muratura di pietra calcarea che, secondo la tradizione costruttiva, presentano sezioni trasversali non costanti e profili altimetrici a scarpa (per limitare i carichi in elevazione e spostare il baricentro ai livelli inferiori), e volte di complessa geometria [14].*

*Nonostante sia possibile estrarre, dalle fotorecostruzioni, dati geometrici e informazioni inerenti lo stato di degrado, quali quadri lesionativi e umidi, è ancora complessa la condivisione diretta di questa conoscenza nei programmi di simulazione adoperati per la progettazione e la programmazione (tempi e costi) di retrofit energetici, consolidamenti strutturali e adeguamenti o miglioramenti sismici e trasformazioni funzionali. Questo perché risultano dati consultabili ma non computabili in operazioni di import/export controllato, automatizzato e bidirezionale, obiettivi dell'approccio BIM. Per tal motivo, nonostante la difficoltà di ricostruzione parametrica dettagliata, la costruzione di un modello BIM dell'edificio esistente può garantire maggiori controlli delle scelte progettuali in termini prestazionali, di costi e tempi, dunque quantificando l'estensione delle patologie, considerando i costi delle alternative di intervento e tenendo memoria dei parametri prestazionali (termici, meccanici, etc.).*

existing buildings, concern Building Automation and Building Energy Management for managing thermal and energy performance of mechanical systems, controlling temperature, humidity and energy consumption and simulating energy retrofits [15]. Nonetheless, the identification of decays and risk situations, controlling cracks or dynamical behavior, could be likewise useful in calibrating structural simulative BIM models.

### 3. METHODOLOGY

The organization of BIM workflow observes well-defined rules. In the United States context, these are defined in the National BIM Standard - United States® Version 3 [16], while the English BIM Task Group established the BIM Protocol [17] and PAS 1192-2 [18]. In Italy, UNI 11137:2017 is the guideline for the digital management of information processes, in BIM optics [19]. In this article, a systematic framework of HBIM approach is suggested, with particular interest in material-construction characterization and building condition assessment. According to American regulations, before launching a project, the BIM Execution Plan (BEP) is required for defining the uses of BIM and information exchanges within the process phases, in this case related to refurbishment. A BEP planning category is the BIM Process Design, consisting in business process mapping and information exchange definition with the specification Business Process Management and Notation (BPMN). The specific methodology involves integration, management and use of diagnostic information (Fig.1).

Preliminary design activity in BIM optics is the ontological structuration of knowledge (1\_Ontology Knowledge Structuration [OKS]), specifically the definition of required data and information, their encoding, ontological relationships, fundamental aspects for structuring Industry Foundation Classes (IFCs) schemas contained in the Model View Definition (MVD), specification employed for *tool-to-tool* information exchange [5]. This structuration generates effects on team organizations (1.1\_Work Organization [WO]) and process breakdown structure.

Before constructing the model, the retrieval of knowledge is carried out in archivist and bibliographic documents in order to have preliminary information on architectural typology and construction techniques, materials and distribution of rooms (2\_Preliminary Knowledge Collection [PKC]). Then, correlating this preliminary knowledge with measurements gathered via geometric and photographic sensing. If geometric survey is performed with innovative contactless techniques, such as photogrammetry or laser scanning, the next step concerns reverse engineering (3\_Reverse engineering

*Successivamente, il modello BIM viene popolato di attributi inerenti materiali, proprietà strutturali, ed anche considerazioni sullo stato di conservazione dei luoghi, attività del primo livello di digitalizzazione (Ob-LL), che ricade nella fase del processo HBIM denominata arricchimento semantico. Tuttavia, un numero limitato di studi si è occupato della strutturazione di tali dati all'interno del modello [11][4], al fine di contribuire alla definizione di linee guida allo scambio di informazioni e all'adozione del nuovo paradigma. A tal riguardo, Bruno and Fatiguso, 2017 [4] hanno formalizzato i requisiti informativi inerenti le prove diagnostiche non distruttive, da includere nel modello, nello specifico inerenti metadati e misurazioni effettuate con la tecnica GPR sulle murature in pietra calcarea, per valutare condizioni di degrado e monitorare gli effetti di interventi di consolidamento pregressi. In ugual misura, il monitoraggio continuo delle prestazioni supporta il progetto e l'esecuzione di interventi di recupero. L'identificazione di deterioramenti e situazioni di rischio, attraverso strumenti di monitoraggio delle fessurazioni o dei comportamenti alle forzanti dinamiche, risulta utile alla calibrazione dei modelli BIM di simulazione strutturale. Alcune applicazioni di monitoraggio integrate nel BIM per gli edifici esistenti riguardano la Building Automation e il Building Energy Management, per gestire le prestazioni degli impianti meccanici e tenere sotto controllo temperatura, umidità e consumi energetici [15].*

### 3. METODOLOGIA

*L'organizzazione del flusso di lavoro, secondo i criteri dell'approccio BIM, osserva regole ben precise. Nel contesto statunitense, queste sono definite nel National BIM Standard - United States® Version 3 [16], mentre il BIM Task Group inglese ha istituito il BIM Protocol [17] e le PAS 1192-2 [18]. In Italia, la UNI 11137:2017 è la linea guida formulata per la gestione digitale dei processi informativi, in ottica BIM [19]. In questo articolo, viene proposto un quadro sistematico dell'approccio HBIM, con particolare interesse alla fase di caratterizzazione materico-costruttiva e valutazione dello stato dei luoghi. Secondo le normative, prima di avviare un progetto, viene richiesta la pianificazione del BIM Execution Plan (BEP) che definisce gli usi del BIM e gli scambi informativi relativi alle fasi del processo, in tal caso di recupero. Una categoria di pianificazione del BEP è il BIM Process Design, ovvero lo sviluppo di mappe di processo delle attività e di definizione degli scambi informativi in Business Process Management and Notation (BPMN). Nella specifica metodologia rientrano l'integrazione, la gestione e l'utilizzo delle informazioni diagnostiche (Fig.1). L'attività preliminare alla progettazione in ottica BIM è la strutturazione ontologica della conoscenza (1\_Ontology Knowledge Structuration [OKS]), ovvero la definizione di dati ed informazioni richiesti, la loro codifica, le relazioni ontologiche, fondamentali alla*

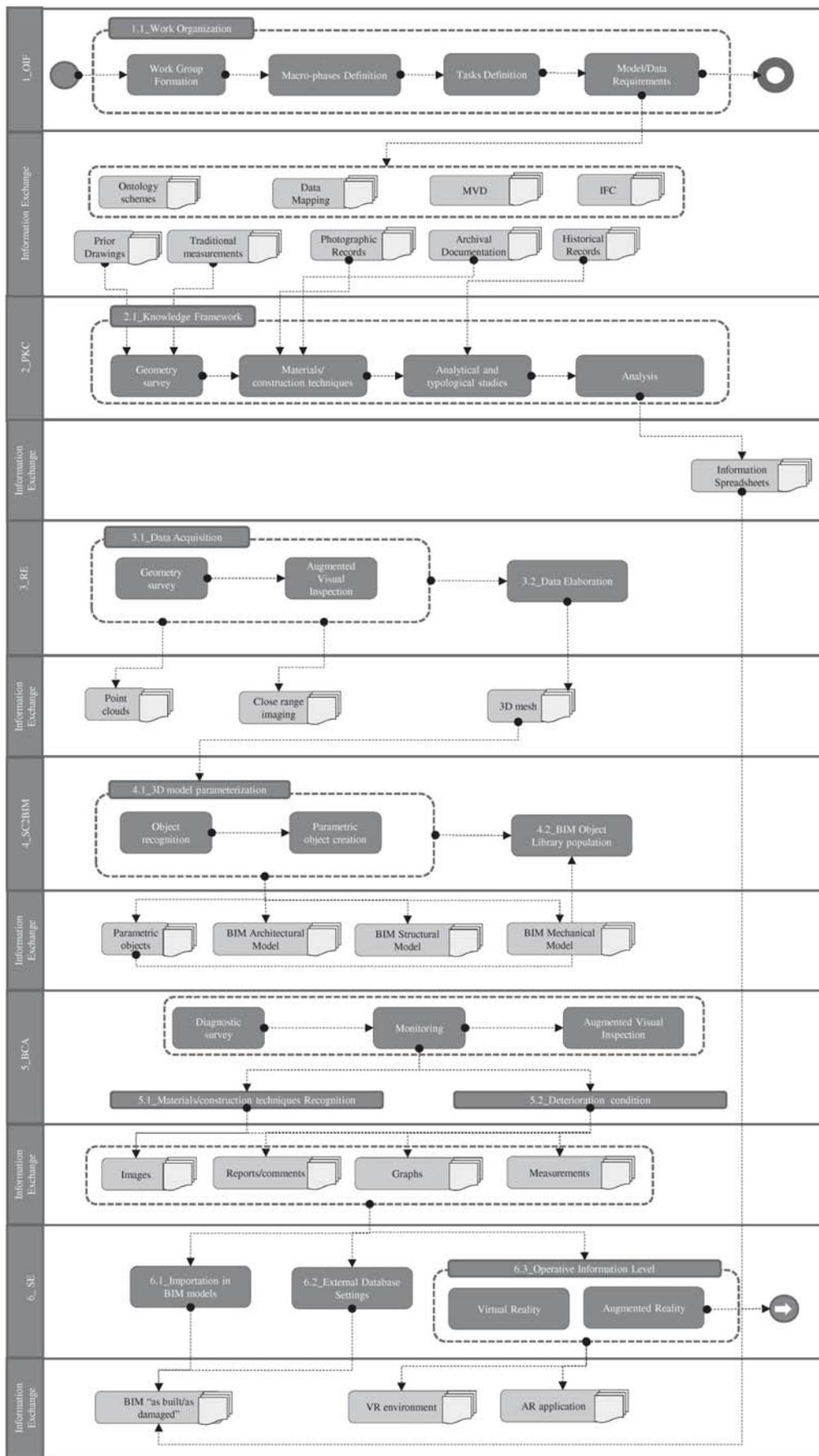


Figure 1. BPMN structuration about knowledge acquisition and refurbishment in HBIM process.

[RE]). In the case study, the BIM model is built with reference of CAD drawings, elaborated in previous studies. Therefore, in this HBIM process, the “Scan-to-BIM” or “Point-to-BIM” phase (4\_Sc2BIM) is absent for generating the parametric model from three-dimensional meshes. However, the selection and creation of parametric families for modelling walls, decorative elements, doors, windows and slabs are mandatory steps. The core of the illustrated methodology is the execution of diagnostic tests for confirming or re-evaluating preliminary assumptions about material-constructive characterization and building condition assessment (BCA). The inclusion of diagnostic data within BIM model takes place in form of attributes and descriptions about equipment, execution methodology, results and observations, upstream elaborated comparing preliminary analysis [4]. The workflow, thus set, is developed for assessing technical-constructive characteristics and the state of conservation of horizontal slabs and vaults on the noble floor of Palazzo Palmieri, a residential complex of the eighteenth century. The planning and execution of non-destructive in-situ investigations provided detailed analysis of preliminary investigations, with the scope of creating a comprehensive knowledge framework.

#### 4. RESULTS

Palazzo Palmieri is a noble residence of the eighteenth century, located in Monopoli, southern Italy (Fig.2). Expanded between 1769 and 1772 with the aggregation of some contiguous dwellings, the building acquired the character of an 18th century house, in Late-Baroque style, with influences of Neapolitan architecture. Palmieri family owned the building until 1921, when it was ceded to a charity congregation for becoming a school of arts and crafts. In 1926 and 1928, the building underwent consolidation and transformation works into a public school, in accordance with regulations of that era, with significant impacts on the last level, above the noble floor, where cracks and moisture infiltration had heavily compromised the wooden slabs, partially replaced, and partially recovered.

Further works, on the last level, were carried out on several occasions in the years 1950-1960, such as the construction of hollow-core concrete roofs. The illustrative technical documentation also refers to interventions on the horizontal wooden slabs, in terms of increasing the resistance section, in order to adapt the structures to public and school buildings. Nevertheless, the consolidation techniques, adopted for this purpose, are not completely described.

*strutturazione degli schemi Industry Foundation Classes (IFC) contenuti nel Model View Definition (MVD) di riferimento per lo scambio delle informazioni tool-to-tool [5]. La strutturazione si riflette sull'organizzazione del gruppo di lavoro (1.1 Work Organization [WO]) e sulla decomposizione del processo in fasi e attività.*

*Prima della costruzione del modello, viene effettuata una ricognizione della conoscenza collezionata in passato in documenti archivistici e bibliografici, al fine di avere informazioni preliminari circa la tipologia edilizia e costruttiva, i materiali adoperati e la distribuzione degli ambienti (2 Preliminary Knowledge Collection [PKC]). Correlando, quanto analizzato, con le misurazioni ottenute per via di rilevamento geometrico e fotografico. La fase successiva riguarda l'ingegneria inversa (3 Reverse engineering [RE]), qualora il rilevamento geometrico venga effettuato con tecniche innovative senza contatto, quali fotogrammetria o laser scanning; nel caso di studio, il modello BIM viene ricostruito sulla base dei disegni CAD elaborati in precedenti studi. Pertanto, in questo processo HBIM è assente la fase “Scan-to-BIM” o “Point-to-BIM” (4\_Sc2BIM) che, dal modello tridimensionale costituito da mesh, porta alla creazione del modello parametrico. Tuttavia, rimane ferma l'attività di selezione e creazione di famiglie parametriche per la modellazione di muri, apparati decorativi, porte, finestre e orizzontamenti. La parte fondamentale della metodologia illustrata è la conduzione di prove diagnostiche per confermare o rivalutare le ipotesi preliminari di caratterizzazione materico-costruttiva e la valutazione dello stato di degrado (5 Building Condition Assessment [BCA]). L'inclusione dei dati attinenti l'indagine diagnostica, all'interno del modello BIM, avviene nella forma di attributi e descrizioni della strumentazione, metodologia di esecuzione, risultati ed osservazioni e valutazioni elaborate a monte del confronto con i risultati dell'analisi preliminare [4].*

*Il flusso di lavoro, così impostato, viene sviluppato, come detto, per la valutazione delle caratteristiche tecnico-costruttive e dello stato di conservazione degli orizzontamenti piani e voltati del piano nobile di Palazzo Palmieri, complesso residenziale nobiliare del XVIII secolo. La programmazione e la conduzione di indagini non distruttive in situ hanno costituito il necessario approfondimento alle ricerche preliminari di tipo documentale, nell'ottica di ricomporre un quadro conoscitivo compiuto.*

#### 4. RISULTATI

*Palazzo Palmieri è una residenza nobiliare del settecento, sita a Monopoli, nel sud Italia (Fig.2). Ampliato tra il 1769 e il 1772 attraverso l'aggregazione di talune abitazioni contigue, l'edificio acquisì i caratteri di dimora settecentesca, in stile tardo-barocco leccese, con influssi dell'architettura napoletana. L'edificio restò di proprietà della famiglia Palmieri fino al 1921, quando*



Figure 2. Palazzo Palmieri, Monopoli (Bari, Italy).

After planning in-situ tests based on archival information, wooden slabs and vaults on the noble floor, most of which adorned with fine decorative motifs (Fig.3), have been investigated with an integrated system of investigation, including metric and photographic survey, mapping of cracks patterns and superficial alterations.

In addition, instrumental tests have been performed, such as thermographic acquisition of intrados and georadar of extrados of floors, with the aim of evaluating characteristics and conditions of components. In particular, two aspects have emerged as particularly interesting.

The first, as detected by radar scanners (IDD DAD Fastwave Control Unit and 2GHz Antenna) relates the presence of a structural system, consisting of discontinuous elements, above the wooden beams of slabs, installed with interaxis of about 80 cm, deep 10 cm from the upper floor surface. These overlapped components are offset of 40 cm, from the original ones, and immediately below the pavements. These elements are reasonably attributable to reinforcing metal profiles, interpreting distance and amplitude of hyperbolas where electromagnetic signal is reflected (Fig.4).

The second concerns the comparability of the radar response, in correspondence of both wooden slabs and vaults. Such comparability suggests non-bearing functionalities of vaults, indeed installed to the consolidated wooden slabs, similar to those not covered.

The hypothesis is proved by the results of thermography (FLIR T430sc thermocamera) taken from the vault intrados. The tests evidence the structure of wooden and wattle vaults (Fig.5), confirmed by the analysis of cracks patterns, not developed along the generative lines of a pavilion vault, but configured as widespread and random micro-cracks (Fig.5), effect of degradation of covering support.

venne ceduto ad una congregazione di carità perché lo destinasse a scuola di arti e mestieri. Nel 1926 e 1928, l'edificio ha subito interventi di consolidamento e trasformazione in destinazione pubblica scolastica, nel rispetto dei regolamenti dell'epoca, con impatti significativi soprattutto sull'ultimo livello, al di sopra del piano nobile, laddove fenomeni lesionativi e quadri umidi di infiltrazione avevano fortemente compromesso le coperture lignee, in parte sostituite, in parte recuperate. Ulteriori interventi sull'ultimo livello furono condotti, a più riprese, negli anni 1950-1960, con rifacimento delle coperture in latero-cemento. La documentazione tecnica illustrativa degli interventi sopra richiamati, fa altresì riferimento a interventi sulle chiusure orizzontali oggetto di questo studio, in termini di incremento della sezione resistente, per adeguare le strutture alla categoria di carico che la normativa del tempo assegnava ai luoghi pubblici e scolastici, soggetti ad affollamento. Tuttavia, non risultano compiutamente descritte le tecniche di consolidamento adottate per tale scopo.

Sulla base delle informazioni preliminari desunte dalle fonti archivistiche, gli orizzontamenti piani e voltati del piano nobile, la maggior parte dei quali caratterizzati da raffinati motivi decorativi a tempera (Fig.3), sono stati interessati da un sistema integrato di metodi di indagine, comprensivi di rilievo grafico e fotografico, mappature tematiche dei quadri lesionativi e delle alterazioni superficiali e prove strumentali, di tipo termografico da intradosso e georadar da estradosso, nell'ottica di valutare caratteristiche e condizioni dei componenti costruttivi. In particolare, due aspetti sono emersi come particolarmente interessanti. Il primo, come rilevato attraverso le scansioni radar (unità di controllo IDS DAD Fastwave e antenna a 2GHz) riguarda l'evidenza, al di sopra delle travi degli orizzontamenti lignei - poste a passo di 80 cm e a circa 10cm di profondità dal calpestio - di un sovrasisistema strutturale a elementi discontinui, sfalsati rispetto agli elementi originari di 40 cm e immediatamente al di sotto del piano di calpestio. Tali elementi, per interasse e ampiezza delle iperboli



Figure 5. Vault and eighteenth-century wooden slab on the noble floor.

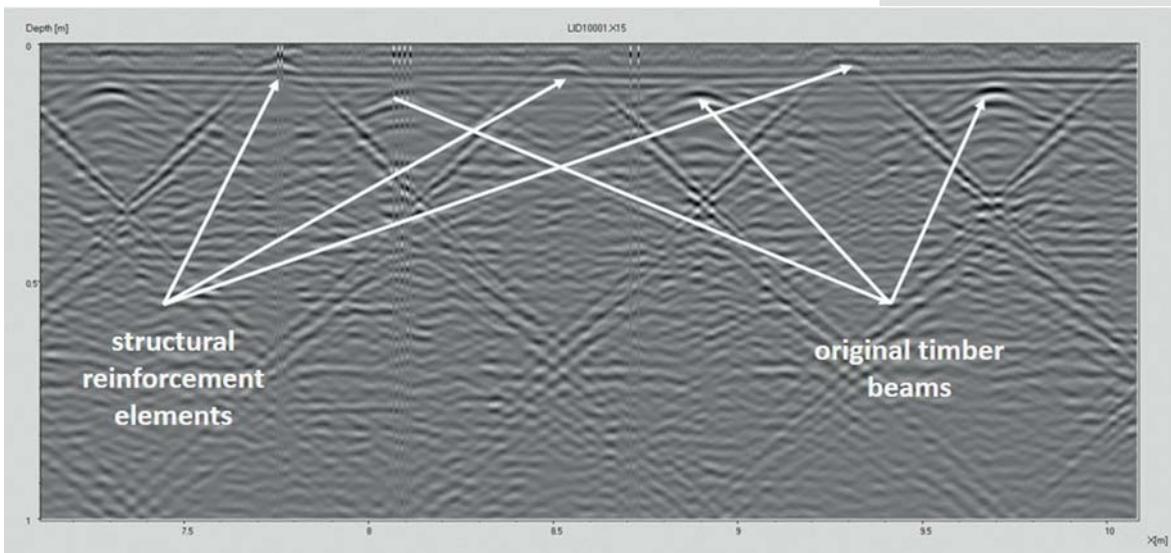


Figure 4. Response type of radar survey on wooden slabs.

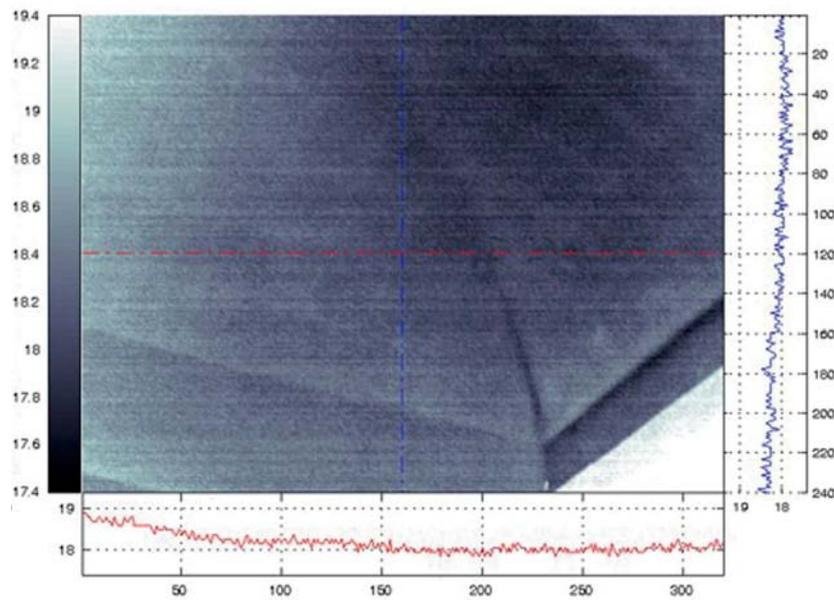


Figure 5. Thermography of a vault.

This information has been structured before being inserted as parameter-attributes related to BIM objects, defining its denomination, properties group and data type (numeric value, property and relative unit of measurement, image, URL, etc.). In the case of study, the BIM model was constructed from the available CAD drawings and it consists on the aggregation of parametric objects that model vaults (finishing and wood structure), wooden floor, moldings and decorative structures, windows and doors (Fig.6).

The attributes inherent the GPR investigations are organized within the group “Data” of instances about longitudinal profile type “GPR\_ProfileX\_L0n” and transversal profile “GPR\_ProfileX\_L0n” generated as a custom family, starting from an adaptive generic model (Fig.7).

*di riflessione, sono ragionevolmente riconducibili a profilati metallici di rinforzo (Fig.4).*

*Il secondo riguarda la confrontabilità della risposta radar, in corrispondenza tanto dei solai lignei quanto delle volte. Tale confrontabilità fa supporre che le volte non siano portanti, ma portate da solai lignei consolidati del tutto simili a quelli a vista. L'ipotesi è comprovata dalla risposta dell'intradosso delle volte in termografia (termocamera FLIR T430sc), da cui si legge la tessitura della soluzione costruttiva ad “incannucciato” (Fig.5), come pure dall'analisi dei quadri lesionativi mappati, che non seguono le generatrici delle volte a padiglione, ma si configurano come microfessurazioni diffuse e casuali (Fig.3), per effetto del degrado generalizzato del supporto del plafone.*

*Tali informazioni sono state strutturate prima di essere inserite*



Figure 6. BIM model, front elevation, noble floor and third floor.

## 5. CONCLUSIONS

The planning and execution of preliminary and diagnostic surveys, such as radar and thermography, about historical buildings affect uncertainty and interpretative reliability of material-constructive characterization and building condition assessment. In addition, methods of archiving and re-using the acquired information contribute to successful completion of diagnosis. Therefore, this research work has implemented BIM methodology for a

*come parametri-attributi negli oggetti BIM, definendone la denominazione, il gruppo di proprietà di appartenenza e il tipo di dato (numerico, valore e relativa unità di misura, immagine, URL, etc.). Nel caso di studio, il modello BIM è stato costruito a partire dagli elaborati CAD disponibili e costituito dall'aggregazione degli oggetti parametrici che modellano volte in incannucciato (finitura e struttura in legno), il solaio in legno, le modanature e gli apparati decorativi, finestre e porte dai caratteri originali (Fig.6). Gli attributi inerenti le investigazioni GPR vengono organizzate all'interno del gruppo “Dati” delle istanze del*

## SHARING MODES

### 1\_Attributes chart browser

### 2\_Schedules

<Comments about GPR AA Profiles>		
A	B	C
Tipo	Commenti	Immagine
GPR_ProfiloAA_L01	The evidence above the beams of the wooden horizons, set at 80 cm step and about 10 cm in depth fro	AA_L01_070.png

### 3\_Reports in digital files and databases

GPR Equipment and Methodology		
Tipo	GPR_Acquisition Equipment	GPR_Acquisition Methodology
GPR_ProfiloAA_L01	Sistema radar IDS DAD FastWave monocanale a 16bit. Antenna IDS TR600V 2000MHz	GPR survey performed on the extrados of the third floor. Two longitudinal profiles (60 cm apart from the perimeter walls of the room) and three transversal (reciprocal distances 120 cm) were performed.

**Comments about GPR AA Profiles**

Tipo	Comments	GPR Acquisition
GPR_ProfiloAA_L01	The evidence above the beams of the wooden horizons, set at 80 cm step and about 10 cm in depth from the footstep. In addition, a structural over-structure with discontinuous elements, offset from the original elements of 40cm and immediately below the plane of trampling. These elements, by the distance and amplitude of the reflection hyperbolas, are reasonably due to reinforcing metal profiles	

**IR thermography**

Tipo	Comments	IR Acquisition
	The hypothesis that vaults are not structural systems, but carried by consolidated wooden slabs, is confirmed by the response of the IR thermography on the intrados of floors, from which we read the texture of the constructive solution of "wooden and wattle vaults" as well as from the analysis of mapped cracks, which do not follow the pavilion head generators, but they are configured as diffuse and random micro-cracks due to the general degradation of the plaque support.	

Figure 7. Management and sharing methods of attributes with BIM.

case study, highlighting the potential for knowledge management before proceeding with decisions about refurbishment interventions. Specifically, this article introduces the building condition assessment (BCA) phase within HBIM, starting from its first configurations analyzed in literature.

In this article, activities for integrating diagnostic knowledge were validated according to the criteria defined for the first digitization level, namely the

tipo profilo longitudinale "GPR\_ProfiloX L0n" e profilo trasversale "GPR\_ProfiloX L0n", generati come famiglia personalizzata a partire da un modello generico adattivo (Fig.7).

## 5. CONCLUSIONI

La programmazione e l'esecuzione di indagini preliminari e diagnostiche, quali radar e termografia, per edifici storici, incidono sull'incertezza e sulla affidabilità interpretativa per la caratterizzazione materico-

insertion of diagnostic information, in form of attributes, within modeled parametric objects (Ob-IL). This information is used navigating model and properties within instances, or reading reports and tables generated with BIM tools (Fig. 7). Nevertheless, knowledge sharing is more effective if supported by bi-directional link among BIM model and databases or web-based platforms, methods and tools that require further research in the field of refurbishment. As well, it is evident the importance of switching to RTM-IL level, for real-time data updating, and to Op-IL level, in order to ease model consultation through Virtual Reality and Augmented Reality, allowing proactive decisions, even in case of emergencies.

## 6. REFERENCES

- [1] F. Fatiguso, M. De Fino, A. Sciotti, *Performance Assessment Of Italian School Heritage Architecture By Non-destructive Investigation*, Int. J. Herit. Archit. 1 (2017) 564–579. doi:10.2495/HA-V1-N4-564-579.
- [2] M. De Fino, A. Sciotti, R. Rubino, F. Fatiguso, *Assessment of historic buildings by radar techniques*, Struct. Surv. 34 (2016) 73–94. doi:10.1108/SS-07-2015-0035.
- [3] N.A. Megahed, *Towards a Theoretical Framework for HBIM Approach in Historic Presevation and Management*, Int. J. Archit. Res. 9 (2015) 130–147.
- [4] S. Bruno, F. Fatiguso, *BUILDING ASSESSMENT CONDITIONS OF BUILT HERITAGE IN HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELLING*, Int. J. Sustain. Dev. Plan. 12 (2017).
- [5] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd Edition, 2011.
- [6] C. Achille, F. Fassi, L. Fregonese, *4 Years history: From 2D to BIM for CH - The main spire on Milan Cathedral*, Proc. 2012 18th Int. Conf. Virtual Syst. Multimedia, VSMM 2012 Virtual Syst. Inf. Soc. (2012) 377–382. doi:10.1109/VSMM.2012.6365948.
- [7] A. Krylovskiy, M. Jahn, E. Patti, *Designing a Smart City Internet of Things Platform with Microservice Architecture*, Proc. - 2015 Int. Conf. Futur. Internet Things Cloud, FiCloud 2015 2015 Int. Conf. Open Big Data, OBD 2015. (2015) 25–30. doi:10.1109/FiCloud.2015.55.
- [8] J. Lee, J. Lee, J.W. Kim, K. Kang, M.H. Lee, *Virtual reconstruction and interactive applications for Korean traditional architectures*, SCIRES-IT - Sci. Res. Inf. Technol. 6 (2016) 5–14. doi:10.2423/I22394303V6N1P5.
- [9] J.S. Goulding, F.P. Rahimian, X. Wang, *Virtual reality-based cloud BIM platform for integrated AEC projects*, J. Inf. Technol. Constr. 19 (2014) 308–325.
- [10] M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia, *Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 76 (2013) 89–102. doi:10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006.
- [11] R. Volk, J. Stengel, F. Schultmann, *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs*, Autom. Constr. 38 (2014) 109–127. doi:10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- [12] C. Wang, Y.K. Cho, C. Kim, *Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications*, Autom. Constr. 56 (2015) 1–13. doi:10.1016/j.autcon.2015.04.001.
- [13] Y. Liu, *Robust segmentation of raw point clouds into consistent surfaces*, Sci. China Technol. Sci. 59 (2016) 1156–1166. doi:10.1007/s11431-016-6072-8.
- [14] D. Oreni, R. Brumana, A. Georgopoulos, B. Cuca, *HBIM FOR CONSERVATION AND MANAGEMENT OF BUILT HERITAGE: TOWARDS A LIBRARY OF VAULTS AND WOODEN BEAN FLOORS*, in: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., 2013.
- [15] N. Nisbet, J. Cartwright, M. Aizlewood, *Energy modelling of existing facilities*, in: eWork Ebus. Archit. Eng. Constr. - Proc. 11th Eur. Conf. Prod. Process Model. ECPPM 2016, 2016.

costruttiva e la valutazione dello stato di conservazione. Inoltre, i metodi di archiviazione ed utilizzo delle informazioni acquisite contribuiscono alla buona riuscita della diagnosi. Pertanto, nell'articolo la metodologia HBIM è stata implementata ad uno caso di studio, evidenziandone le potenzialità per la gestione della conoscenza sul manufatto prima di procedere alla scelta dell'intervento di recupero. Nello specifico, questo articolo introduce la fase di valutazione dello stato dei luoghi (BCA) alla metodologia HBIM, a partire dalle sue prime configurazioni analizzate in letteratura. In questo articolo, le attività di integrazione della conoscenza diagnostica sono state eseguite secondo i criteri definiti per il primo livello di digitalizzazione, ovvero l'inserimento di informazioni e di dati diagnostici, in forma di attributi, all'interno degli oggetti parametrici modellati (Ob-IL). La consultazione di queste informazioni avviene per navigazione del modello e delle proprietà delle istanze, oppure con la lettura di report e tavole redatte con gli strumenti BIM adoperati (Fig.7). La condivisione della conoscenza viene supportata, in maniera più efficace, dal collegamento bidirezionale del modello BIM a database o piattaforme web-based, metodi e strumenti che necessitano ulteriori ricerche nell'ambito del recupero. Così come risulta evidente l'importanza di passare al livello RTM-IL, per l'aggiornamento dei dati in tempo reale, e al livello Op-IL, per rendere più rapida la consultazione del modello attraverso la Realtà Virtuale e la Realtà Aumentata, permettendo scelte proattive anche in caso di emergenze.

- [16] BuildingSMARTAlliance, Nbims-Us\_V3, (2013).
- [17] Construction Industry Council, BUILDING INFORMATION MODEL (BIM) PROTOCOL. Standard Protocol for use in projects using Building Information Models, (2013) 15. <http://cic.org.uk/download.php?f=the-bim-protocol.pdf>.
- [18] PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling, 2013. <http://shop.bsigroup.com/Navigate-by/PAS/PAS-1192-22013/>.
- [19] Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 1: Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi, (2017). <http://store.uni.com/magento-1.4.0.1/index.php/uni-11337-1-2017.html>.