

Nuovi strumenti di gestione della qualità nel tempo per gli edifici storici e monumentali

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Roberto Di Giulio¹, Beatrice Turillazzi², Andre van Delft³, Oana Schippers-Trifan³,

¹ Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara, Italia

² Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Italia

³ DEMO Consultants B.V., The Netherlands

dgr@unife.it

beatrice.turillazzi@unibo.it

andre@demobv.nl

oana@demobv.nl

Abstract. Nonostante la comunità internazionale abbia da tempo preso atto dei gravi rischi ai quali è esposto il patrimonio culturale, l'efficacia delle strategie di salvaguardia, conservazione e manutenzione dei preziosissimi assets dell'ingente patrimonio concentrato in Europa rappresenta ancora una sfida che molti paesi affrontano con mezzi insufficienti o inadeguati. Le caratteristiche del contesto nel quale si opera richiedono l'acquisizione di dati e conoscenze che vanno ben oltre le caratteristiche tecniche e costruttive degli edifici. L'articolo illustra un sistema innovativo di gestione degli interventi finalizzati al monitoraggio e alla manutenzione degli edifici storici e monumentali, sviluppato nell'ambito del progetto di ricerca europeo Horizon 2020 INCEPTION (Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling).

Parole chiave: Cultural Heritage; Historic Building Information Modelling; Conservazione; Manutenzione; Digitalizzazione.

Introduzione e contesto di riferimento

La definizione dei parametri per valutare la qualità degli edifici in relazione al loro ciclo di vita,

gli strumenti per programmare la caduta tendenziale dei livelli prestazionali e le procedure operative per gestire i processi di obsolescenza sono un settore di ricerca oramai consolidato in Europa.

Le nozioni di durata, affidabilità, adattabilità e manutenibilità, sono state recentemente rilette con maggiore attenzione in merito alla loro applicabilità sui beni storici, beni per i quali il concetto di ciclo di vita utile assume un significato profondamente diverso. Per operare correttamente sui siti del patrimonio storico è necessaria inoltre l'acquisizione di dati e conoscenze che vanno ben oltre le caratteristiche tecniche e costruttive degli edifici.

I programmi di manutenzione conservativa applicati al patrimonio culturale devono dunque basarsi su due aspetti collegati tra

Innovative management tools of quality performance over time for historical and monumental buildings

Abstract. The success of the strategies for safeguarding, preserving and maintaining the precious assets of the huge European Cultural Heritage still represents a challenge that many countries tackle with limited or inadequate actions or systems, despite the fact that the international community is now aware of the serious risks endangering its heritage. The nature of this fragile context requires the knowledge of data and information other than the technical and construction characteristics of buildings. The paper describes an innovative management tool for inspection and maintenance of historical and monumental buildings, developed within the Horizon 2020 European research project INCEPTION (Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling).

Keywords: Cultural Heritage; Historic Building Information Modelling; Conservation; Maintenance; Digitisation.

loro: l'identificazione dei valori storici e architettonici dei beni sui quali si interviene e la valutazione della loro consistenza fisica, entrambi rivolti a decisioni da prendere in merito alle procedure e alle tecnologie con le quali mettere in atto gli interventi di conservazione (Simeone *et al.*, 2019).

Le decisioni sulle modalità di intervento dipendono strettamente dallo stato di conservazione (Osello *et al.*, 2018): il programma di ispezione e valutazione diventa quindi significativo per definire possibili interventi di riparazione, manutenzione e prevenzione dei fenomeni di degrado o per individuare e predefinire le dinamiche secondo le quali tali fenomeni si manifestano ed evolvono.

Le ricerche e le esperienze maturate nel settore della manutenzione preventiva programmata hanno evidenziato, del resto, che le regolari attività di ispezione offrono sostanziali vantaggi, quali l'identificazione preventiva di situazioni di rischio emergenti, il costante aggiornamento delle conoscenze sulle dinamiche secondo le quali si manifestano ed evolvono i fenomeni di degrado, sia naturale che patologico, e il miglioramento e l'aggiornamento del programma di manutenzione.

Le attività ispettive consistono principalmente in visite finalizzate a valutare lo stato di conservazione dei manufatti per stabilirne le condizioni, esaminare i rischi ai quali risultano più esposti, individuare i punti critici più vulnerabili.

Oltre ai rilevamenti diretti condotti durante le ispezioni e i controlli, un gran numero di dati vengono rilevati strumentalmente da sistemi di monitoraggio installati in situ periodicamente o in modo permanente.

Introduction and background

The definition of the parameters to assess the quality of buildings in relation to their life cycle, the tools to evaluate the downgrading of performance levels and the operative procedures to manage the processes of obsolescence are a consolidated research area in Europe.

The principles of durability, reliability, adaptability and maintainability have recently been reviewed with greater attention to their usability on historical assets, assets whose concept of useful life cycle implies a deeply different meaning.

In order to act properly on historical heritage sites, it is also necessary to acquire data and knowledge other than the technical and construction conditions of the buildings.

The conservation maintenance programmes applied to cultural heritage

must accordingly be based on two linked aspects: the definition of the historical and architectural values of the assets to be addressed and the evaluation of their physical consistency, both aiming at decisions to be taken regarding the procedures and technologies with which to implement conservation interventions (Simeone *et al.*, 2019).

The decisions on procedures to be taken directly depend on the state of conservation (Osello *et al.*, 2018): thus, the inspection and evaluation programme becomes relevant in defining possible repair, maintenance and prevention of degradation phenomena or in identifying and forecasting the mechanisms upon which these phenomena occur and evolve.

Research and expertise in the field of preventive scheduled maintenance has shown that regular inspection ac-

I dati rilevati, generalmente gestiti con database più o meno sofisticati, devono essere costantemente aggiornati (in particolare a valle di interventi di manutenzione, riparazione o restauro) e archiviati utilizzando formati e applicazioni che consentano di accedere, contemporaneamente, a informazioni di vario tipo come testi, valori numerici, immagini collegate ad aree o parti specifiche di un manufatto.

Il processo di digitalizzazione del patrimonio culturale, ormai da diversi anni all'ordine del giorno nel nostro paese come nel resto della comunità europea, apre nuovi interessanti scenari anche nel campo delle strategie di manutenzione programmata dei siti e degli edifici storici.

Gestione della qualità con i digital twins

In questo quadro e in armonia con le linee strategiche di Horizon 2020 nel campo della digitalizzazione per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio culturale europeo, il progetto di ricerca INCEPTION (Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling) ha introdotto diverse importanti innovazioni nel campo della realizzazione, della gestione e dell'interoperabilità dei modelli tridimensionali; in particolare ha messo a punto:

- nuovi sistemi di rilievo basati sull'uso del Laser Scanner 3D e di trasformazione dei dati rilevati in modelli tridimensionali;
- metodologie, procedure e protocolli innovativi per la realizzazione di modelli 3D nei quali le proprietà delle singole parti, i dati geometrici degli elementi costruttivi, le informazioni storiche e innumerevoli altri dati sono direttamente collegati, in forma di "metadati", agli oggetti tridimensionali di cui è fatto il modello digitale;

tivities offer considerable advantages, such as the preventive identification of emerging risk situations, the regular updating of awareness of the processes under which degradation phenomena, both natural and pathological, occur and evolve, and the implementation and updating of the maintenance programme.

Inspection activities mainly consist of surveys aimed at assessing the conservation status of artefacts in order to establish their condition, evaluate the risks they are most exposed to, and identify the most vulnerable critical points.

In addition to direct inspections and controls, a large amount of data is digitally collected by monitoring systems installed on site, either periodically or permanently.

The acquired data, generally managed with quite advanced databases, have

to be regularly updated (especially after maintenance, repair or restoration interventions) and recorded using formats and applications allowing access, at any time, to various types of information, such as texts, numerical values and images linked to specific areas or parts of an artefact.

The process of digitisation of cultural heritage, which has been on the agenda in Italy and in the rest of the European community for several years now, offers new interesting scenarios even in the field of preventive maintenance strategies for historic sites and buildings.

Quality management with digital twins

According to the strategic vision of the EU Framework Programme for Research and Innovation - Horizon 2020 in the area of digitisation for conserva-

- strumenti per l'accesso alle informazioni tramite procedure di ricerca semantiche, basate cioè su strumenti in grado di comprendere il significato dei dati contenuti nei modelli e quindi soddisfare in modo mirato le richieste poste dall'utente (un approccio simile a quello con il quale accediamo ai dati in Internet);
- modelli tridimensionali interattivi, nei quali l'utente acquisisce dati e informazioni semplicemente selezionando parti del modello.

Gli obiettivi alla base del progetto INCEPTION si sono concentrati sulle potenzialità dei *software* di modellazione tridimensionale BIM (Building Information Modelling) e sulle opportunità che i modelli BIM offrono nella creazione di applicazioni basate sulla loro interoperabilità, ovvero sulla loro capacità di interagire con altre applicazioni condividendo il grande numero di informazioni che, in forma di metadati, possono essere collegati agli "oggetti" del modello. "Oggetti" che corrispondono a delle vere e proprie "repliche digitali" degli elementi costruttivi dell'edificio reale che il modello 3D riproduce in ambiente virtuale (Fig. 1).

Gli strumenti messi a punto da INCEPTION consentono dunque di accedere e interagire con i modelli tridimensionali, scaricarli o caricarli con l'inserimento di nuove proprietà, acquisire ed elaborare i dati dei singoli "oggetti" di cui sono composti. I modelli sono ospitati in una piattaforma digitale la cui funzione non è, quindi, di sola archiviazione.

I modelli tridimensionali realizzati con le tecnologie BIM vengono costruiti assemblando "oggetti" corrispondenti ai componenti e ai materiali dell'edificio reale del quale il modello rappresenta, come abbiamo detto, la "replica digitale" (*digital twin*). Ad ogni oggetto possono quindi essere assegnati degli attributi e

tion and valorisation of the European Cultural Heritage, the INCEPTION (*Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling*) research project has pioneered several important innovations in the field of creation, management and interoperability of three-dimensional models:

- new surveying methods based on the use of the 3D Laser Scanner and the conversion of the captured data into three-dimensional models;
- innovative methodologies, procedures and protocols for creating 3D models in which both the properties and the geometric data of each single construction element, the historical information and many other data are directly connected, as "metadati", to the three-dimensional digital objects;
- tools to obtain information using semantic search procedures, based

on systems able to understand the meaning of the data contained in the models and then to meet the requests made by the user in a targeted manner (an approach resembling the one used to access data on the internet);

- interactive three-dimensional models, which allow the user to acquire data and information simply by selecting parts of the model.

The objectives at the basis of the INCEPTION project focused on the power of three-dimensional BIM (Building Information Modelling) software, and on the opportunities offered by BIM models for the creation of applications based on their interoperability. These models allow to interact with other applications exchanging a large amount of information (metadati) that can be linked to the "objects" of the model. "Objects" corresponding to authentic

collegati un gran numero di informazioni in forma di metadati. La struttura semantica della piattaforma INCEPTION consente di accedere a questi dati secondo una modalità mutuata dal *semantic web*: con una architettura, cioè, in cui le relazioni, le proprietà e la composizione dei “nodi” delle informazioni non sono riportate come semplice elenco o database ma sono associate in modo da facilitarne interrogazione e interpretazione automatica da parte di un motore di ricerca.

Oltre alla documentazione storica e ai dati relativi alle caratteristiche tecniche dei manufatti, la piattaforma consente di accedere ai dati rilevati da sensori e sistemi di monitoraggio che permettono di “osservare” in tempo reale le condizioni degli edifici e di ogni loro singola parte. Il manifestarsi e l’evolversi di eventuali processi di degrado vengono rilevati in sito e “replicati” sul modello tridimensionale che può essere osservato e analizzato in remoto. Le opportunità offerte dall’interoperabilità dei modelli BIM caricati sulla piattaforma INCEPTION ha consentito dunque lo sviluppo di una applicazione completamente dedicata alla gestione delle ispezioni e la programmazione degli interventi di manutenzione e riparazione.

L’applicazione consiste nelle procedure di scambio dati tra la piattaforma INCEPTION e RE-Suite, un pacchetto software sviluppato diversi anni fa da uno dei partner del progetto, dedicato alla gestione dei patrimoni immobiliari.

Lo scopo principale dell’applicazione, denominata *Cultural Heritage - Asset Management (CH-AM)*, è quello di sfruttare le potenzialità offerte dal BIM per ottimizzare le procedure di ispezione degli edifici e consentire che le successive fasi di analisi dei dati rilevati e di valutazione delle azioni da intraprendere possano essere fatte in remoto lavorando sul modello virtuale (che si

“digital twin” of the components of the real building that the 3D model replicates in a virtual environment (Fig. 1). Therefore, the tools developed by INCEPTION allow to access and interact with three-dimensional models – downloading or loading them with the addition of new properties – to acquire and to process the data of the single “objects” they are made of. The models are hosted in a digital platform, whose function is, then, more than mere archiving.

The three-dimensional models made using BIM techniques are built by assembling “objects” corresponding to the components and materials of the real building the model represents, as previously mentioned, the “digital twin”. Attributes can then be assigned to each object as well as the link to a large amount of information in the form of metadata. The semantic struc-

ture of the INCEPTION platform allows access to this data using a method mutated from the semantic Web: that is an architecture where relations, properties and composition of the “nodes” of information are not reported as a simple list or database but are associated to facilitate automatic querying and interpretation by a search engine. In addition to the historical documentation and data related to the technical characteristics of the buildings, the platform also provides access to data collected by sensors and monitoring systems, enabling real time assessment of the conditions of the buildings and of their single parts. Any emerging and evolving degradation processes are detected onsite and “replicated” on the three-dimensional model, which can be observed and analysed remotely. The opportunities offered by the interoperability of BIM-based models



aggiorna continuamente e che consente anche di leggere in tempo reale i dati del monitoraggio strumentale fatto con dispositivi installati in loco) con la possibilità di simulare scenari diversi e confrontare i risultati di strategie di intervento alternative.

L’applicazione Cultural Heritage - Asset Management (CH-AM)

Il prototipo CH-AM sviluppato nel progetto di ricerca è una soluzione che consente agli *stakeholder* coinvolti nella gestione e conservazione dei beni storico-monumentali di dotarsi di strumenti economici per valutarne le condizioni tecniche e li supporta nel processo decisionale in merito alle strategie di conservazione e alla programmazione della manutenzione.

Lo strumento CH-AM si basa, come premesso, sul software RE-Suite: una piattaforma per la gestione delle informazioni immobiliari sviluppata dalla società olandese DEMO Consultants. Nel corso del progetto INCEPTION, lo standard olandese di valutazione delle condizioni (NEN2767), integrato nella RE-Suite, è stato potenziato e reso applicabile anche al patrimonio culturale. In questo contesto, lo strumento CH-AM, sviluppato e testato su un caso studio in Olanda (la chiesa di St. Nicholas ad Obergum, vedi figura 2), supporta il proprietario e/o il gestore dei beni culturali nel rispondere alle seguenti esigenze:

stored on the INCEPTION platform have, therefore, enabled the development of an application fully dedicated to the management of inspections and the scheduling of maintenance and repair interventions.

The software application consists of data exchange procedures between the INCEPTION platform and RE-Suite, a software solution designed and developed several years ago by one of the project partners, focused on the management of real estate assets.

The main purpose of the application, named Cultural Heritage - Asset Management (CH-AM), is the exploitation of capabilities offered by the BIM to optimise building inspection procedures, and to allow the following phases of data analysis and evaluation of the needed actions to be performed by remotely working on the virtual model (which is continuously

updated, also including real-time instrumental monitoring data made with devices installed in the building), with the opportunity to simulate different scenarios and to compare the results of alternative intervention strategies.

The Cultural Heritage - Asset Management (CH-AM) tool

The CH Asset Management (AM) Tool developed within INCEPTION is a solution that would not only equip CH stakeholders involved in CH preservation with cost-effective instruments to assess the technical condition of their cultural assets but will support them in the decision-making process related to their conservation strategy and maintenance planning. The CH AM tool is based on the RE-Suite solution. A software platform for real estate information management developed by DEMO Consultants, NL. The

- ottenere modelli 3D dell'edificio affidabili e completi, in grado di colmare la mancanza di dati aggiornati (ad es. disegni, dettagli tecnici);
- disporre del quadro delle effettive condizioni generali e tecniche dell'edificio e della relativa stima dei rischi;
- conoscere in via preliminare l'importo dell'investimento economico a breve e a lungo termine per le attività di restauro e conservazione dell'edificio.

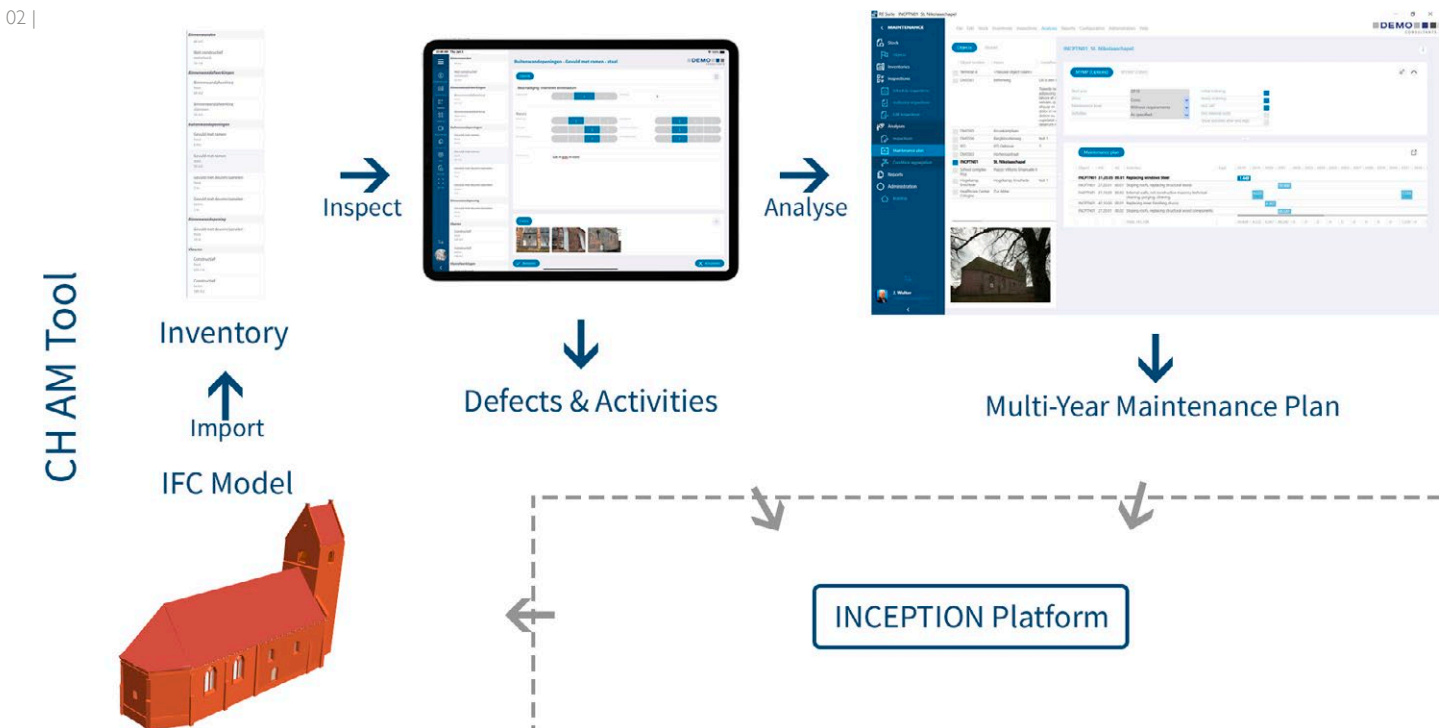
La prima esigenza è soddisfatta attraverso l'integrazione del BIM – a scopo analitico – all'interno dello strumento software CH-AM, ottenendo un archivio unificato di informazioni che può servire a vari attori coinvolti nelle diverse fasi del ciclo di vita della struttura. A tal fine le informazioni tecniche vengono incorporate nelle proprietà del modello IFC (*Industry Foundation Classes*, un formato dati aperto nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori consent l'interscambio di un modello informativo senza perdita o distorsione di dati o informazioni). La seconda esigenza è garantita dal modulo di valutazione delle condizioni e dall'applicazione mobile associati allo strumento CH-AM. Infine, la terza esigenza è supportata dalla funzionalità di analisi dei costi inclusa nell'applicazione.

Dunque, il vantaggio principale risulta l'impiego strategico dei dati rilevanti contenuti nel modello BIM per accelerare e migliorare la qualità delle ispezioni degli edifici e la relativa documentazione / reportistica attraverso la piattaforma INCEPTION.

CH-AM è stato infatti concepito per connettersi e utilizzare i contenuti della piattaforma INCEPTION, grazie alla sua struttura semantica, direttamente in loco. L'applicazione si connette alla piattaforma, individua il modello BIM dell'immobile storico e utilizza i dati di questo modello come base per la procedura di valutazione delle condizioni. Una volta effettuata questa valutazione vengono definiti gli interventi e le operazioni di manutenzione e i dati di questa completa programmazione vengono ricaricati e collegati al modello all'interno della piattaforma. In sintesi, la "connessione interattiva" eseguita e implementata avviene secondo la seguente procedura:

1. il modello IFC elaborato sulla base della nuvola di punti 3D viene caricato sulla piattaforma INCEPTION;
2. in fase di ispezione, l'applicazione CH-AM seleziona il modello e riorganizza gli oggetti BIM in base alla classificazione definita delle norme tecniche per la valutazione delle condizioni; le informazioni ottenute durante l'ispezione vengono collegate ai singoli oggetti del modello;
3. il modello, arricchito in modo semantico da tali informazioni, viene ricaricato nella piattaforma;
4. questo modello si definisce *As-inspected BIM* e può essere utilizzato per ulteriori analisi tecniche sia con l'applicazione CH-AM stessa che con altri software.

Nel processo di validazione olandese, l'arricchimento semantico del modello BIM dell'immobile storico ha riguardato informa-





zioni tecniche destinate esclusivamente ai tecnici e ai proprietari, quindi utenti esperti dello strumento (la figura 3 descrive il processo e il flusso di informazioni tra CH-AM e la piattaforma INCEPTION).

La comunicazione con la piattaforma INCEPTION viene condotta in modo automatico e programmato, senza l'intervento manuale da parte dell'utente finale; lo strumento CH-AM ha il ruolo di richiedente/*uploader* e la piattaforma INCEPTION

il ruolo di server/ricevitore di informazioni. La comunicazione viene gestita dalle *API-endpoint* (*Application Programming Interface-endpoint*) della piattaforma, quindi la comunicazione tra lo strumento-utente finale e la piattaforma è bidirezionale.

Le informazioni che vengono caricate sulla piattaforma INCEPTION sono collegate al modello IFC dell'edificio anziché essere contenute all'interno del modello stesso. Ciò significa che il modello dell'edificio può essere modificato indipendentemente

Dutch condition assessment standard (NEN2767), which is integrated in the RE Suite, is enhanced in INCEPTION and made applicable for CH.

In this context, the CH AM tool developed and validated on the demonstration case in the Netherlands (St. Nicholas church in Obergum, see figure 2) supports the CH asset owner and managers in dealing with the following needs:

- attain reliable and complete 3D information models of the building since there is no up-to-date information (i.e., drawings, technical details);
- gain insight into the actual technical condition of the building and the associated risk estimation;
- have a preliminary indication of the short-term investment and long-term costs for restoration and conservation activities of the building.

The first need is met through the integration of BIM within the CH AM software tool for analytical purposes, creating a single unified information repository that can serve various actors involved at different stages of the facility's life cycle. Technical information has been embedded in the properties of the IFC BIM model (Industry Foundation Classes is an open data format meant to facilitate interoperability between different operators and aimed at enabling the exchange of an information model without either loss or distortion of data or information). The second need is facilitated by the condition assessment module and by the associated mobile app as part of the CH AM tool. While the third need is supported by the cost analysis function of the tool.

Thus, the main advantage of the tool is to leverage the existing relevant data

in BIM to expedite and enhance the quality of building inspections and its reporting in an understandable way by making use of the INCEPTION Platform.

As end-user application developed in project INCEPTION, the CH AM was envisioned to connect to and use the contents of the INCEPTION platform for its deployment on site. This platform contains a unique combination of BIM-models featuring both a physical and a semantic representation of the real estate object and additional semantics linked to this model through semantic web technology.

In this context, the CH AM tool has been developed to establish a connection with the INCEPTION platform and to retrieve the BIM-model for a CH real estate object, using the data within this model as the foundation for the condition assessment process.

Once this assessment has been performed, maintenance activities have been defined, and a holistic maintenance strategy has been formulated, this data is subsequently uploaded to the INCEPTION platform again and linked to the building model.

Briefly, the "interactive connection" followed and implemented can be explained as follows:

1. IFC model created based on 3D point cloud will be stored on the INCEPTION Platform;
2. the CH AM tool will retrieve this model to be used for building inspection based on the BIM object decomposition according to the applied technical norms for condition assessment;
3. the CH AM tool will link the information resulting from building inspection to the IFC model;
4. the inspection results are uploaded

dai dati ad esso collegati, che rimangono quindi invariati. I dati dell'ispezione semantica vengono caricati nell'archivio dati semantici come "triple", mentre le fotografie dell'ispezione e il piano di manutenzione pluriennale vengono caricati nell'archivio "documenti" della piattaforma. Poiché questi dati vengono forniti alle API-endpoint della piattaforma, la distribuzione dei dati caricati nei particolari archivi viene effettuata dalla piattaforma solo dopo l'effettivo caricamento (Figg. 4, 5, 6).

La comunicazione dei risultati delle ispezioni sulla piattaforma INCEPTION è classificata come segue.

Aspetti tecnici (As Inspected BIM):

- Modello IFC contenente la semantica tecnica, come i materiali e le informazioni strutturali, sulla base dei requisiti BIM.
- Dati di ispezione per la valutazione delle condizioni di conservazione legati a specifici elementi costruttivi del modello.
- Fotografie di ispezione (comprese le informazioni nel formato EXIF EXchangeable Image File) collegate a specifici elementi costruttivi del modello.
- Misure di manutenzione da intraprendere per rimediare ai difetti individuati durante la valutazione delle condizioni legate a specifici elementi costruttivi del modello.

Gestione del patrimonio culturale:

- Piano pluriennale di manutenzione per il caso dimostrativo olandese nel suo complesso (Fig. 7).
- Piano di trasformazione.

Archivio:

- Documentazione di notifica del patrimonio.
- Documentazione catastale.
- Documentazione storica (sull'inventario e l'architettura).

Visualizzazione:

- Fotografie a 360° geograficamente collegate al As-Inspected BIM.
- Modelli di visualizzazione da utilizzare per applicazioni turistiche e didattiche.
- Esportazione Collada (COLLABorative Design Activity) da modello BIM testurizzato.
- Collada generato da pointcloud, cioè la generazione di geometria poligonale e texture (mappatura) dalla ottenuta E57-pointcloud (scansione laser in loco).

Potenzialità, limiti e sfide aperte

I risultati raggiunti in fase di sperimentazione hanno evidenziato le potenzialità e i limiti del

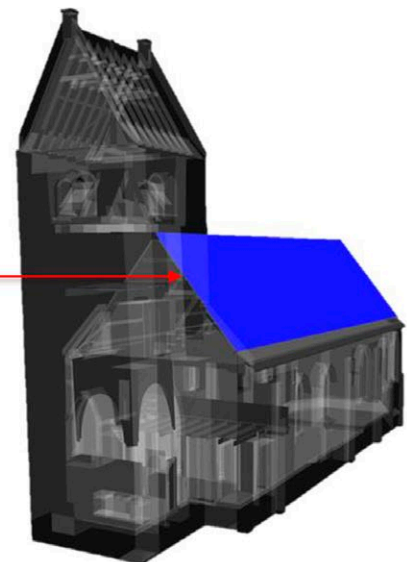
set di strumenti di CH-AM.

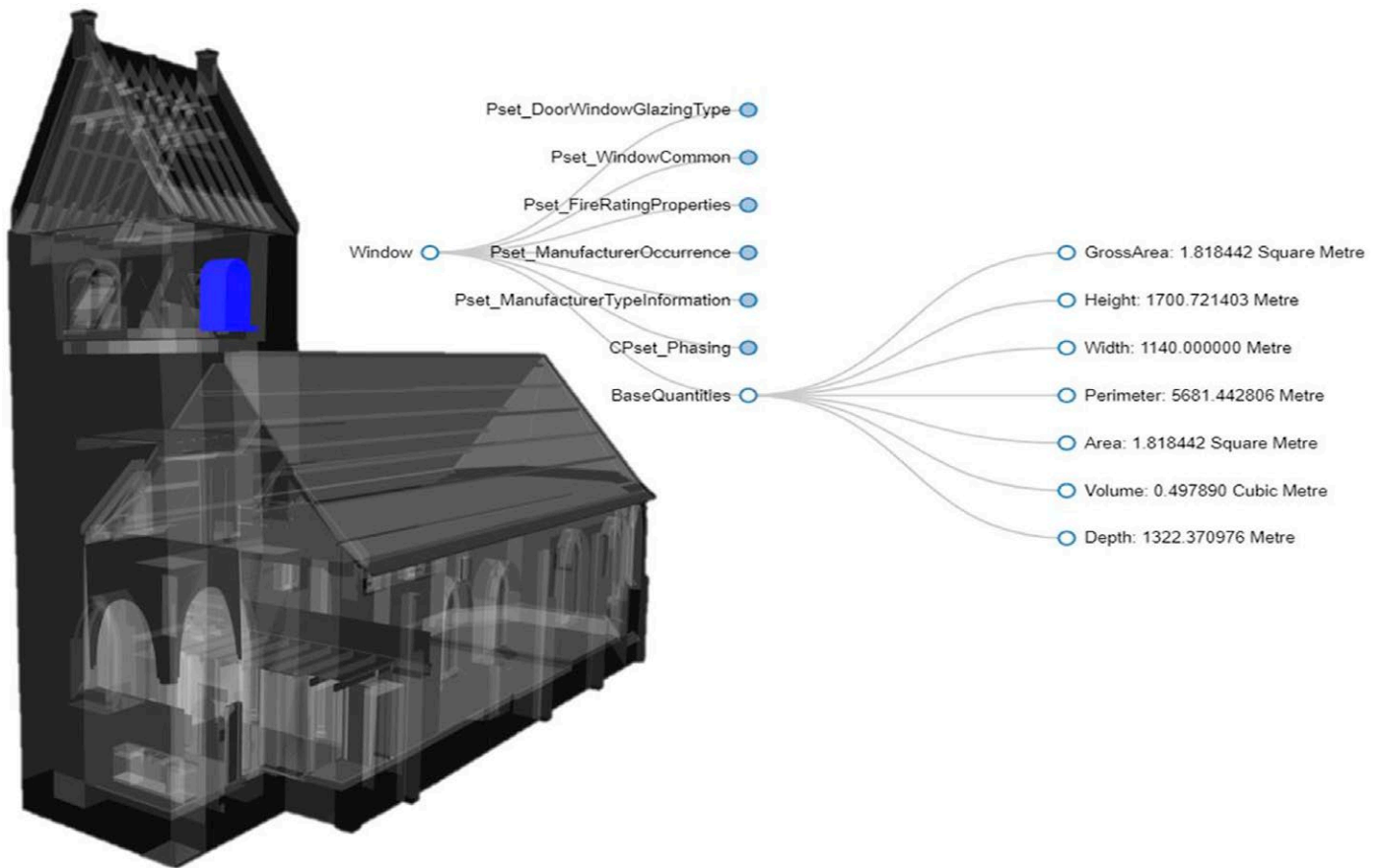
I test condotti sul caso pilota nel corso del progetto di ricerca hanno confermato la validità delle procedure e il corretto funzionamento dell'interoperabilità tra i moduli del pacchetto RE-Suite e la piattaforma INCEPTION.

Sono tuttavia necessarie ulteriori messe a punto e dovranno essere realizzate alcune integrazioni basate sui feed-back derivanti dall'analisi delle esigenze dei potenziali utenti emerse nel corso delle verifiche condotte con i componenti lo Stakeholder Panel del progetto INCEPTION.

I test sul prototipo CH-AM, condotti nell'ambito del progetto INCEPTION sul caso studio olandese, hanno evidenziato alcune esigenze espresse dagli stakeholders coinvolti, in particolare:

- la necessità di definire uno standard per i modelli BIM che garantisca l'affidabilità e la completezza delle informazioni e dei dati con i quali CH-AM valuta le condizioni dell'edificio,





indica le misure di risanamento da adottare per mantenerlo in condizioni accettabili e, quindi, genera i diversi scenari e i relativi costi;

- la possibilità di ottimizzare tempi e costi relativi al passaggio dalla nuvola di punti al modello BIM.

Entrambe le questioni hanno a che fare con l'evoluzione delle tecnologie BIM e con la loro applicazione al patrimonio storico (l'Heritage Building Information Modeling - H-BIM).

Dipendono, in particolare, dai risultati delle ricerche che mirano alla messa a punto delle tecnologie "Scan-to-BIM", le procedure

to the INCEPTION platform. The semantically enriched IFC model, the so-called "As-Inspected BIM", is stored on the INCEPTION Platform. This enriched model can be used for further technical analysis using the CH AM tool or other relevant (third-party) software tools. It should be noted that the BIM semantic enrichment in the Dutch validation process primarily consists of technical information and, therefore, specifically targets building technicians and owners (i.e., technical expert users of the CH AM tool). See, in figure 3, the descriptive workflow related to the relation between the CH AM Tool and the INCEPTION Platform. This diagram conceptually outlines the interaction between the INCEPTION platform and the CH AM Tool. The communication with the INCEPTION platform is conducted

programmatically, without manual intervention from the end-user. The CH AM Tool is the requester/uploader and the INCEPTION platform is the server/receiver of information. Communication is established through the INCEPTION platform web services API-endpoints, thus the communication between the end-user tool and the platform depends on both parties in charge. The information that is uploaded to the INCEPTION platform is linked to the building IFC model, instead of being contained inside the model itself. This means that the building model itself can be revised individually of other linked data and is, therefore, persistent through model revisions. The semantic inspection data is uploaded to the semantic (web) data store as triples, while inspection photographs and the multi-year maintenance plan

are uploaded to the platform's document store. As this data is supplied to platform API-endpoints, the distribution of the uploaded data to the particular data stores is performed by the platform upon successful upload to the API-endpoints (Figs. 4, 5, 6). Dissemination of inspection results on the INCEPTION platform are categorised as following.
Technical ("As Inspected BIM"):
 - IFC-model containing technical semantics, as defined in the BIM-requirements, such as materialisation and structural information;
 - condition assessment inspection data linked to specific building elements in the model;
 - inspection photographs (including EXIF information: EXchangeable Image File format) linked to specific building elements in the model;
 - maintenance measures to be under-

taken to remedy defects as identified during condition assessment linked to specific building elements in the model.
Asset management:
 - Multi-Year Maintenance Plan (MYMP) for the Dutch demonstration case as a whole (Fig. 7);
 - transformation (re-use) plan.
Archival:
 - heritage designation documentation;
 - cadastral documentation;
 - historical documentation (on inventory and architecture).
Visualisation:
 - 360-degree photographs geographically related to the "As-inspected BIM";
 - models for visualisation to be used for tourist and educational applications;
 - Collada (COLLaborative Design Activity) export from textured BIM-model;

Building components inventory retrieved from the IFC model on INCEPTION platform

Multi-Year Maintenance Plan available on the Platform

dirette per la trasformazione dei dati rilevati con il Laser Scanner 3D (le nuvole di punti) in oggetti di un modello BIM. L'applicabilità dello strumento CH-AM dipende inoltre dalla sua compatibilità con i principi normativi e gli standard relativi alla manutenzione (in particolare alla valutazione delle condizioni del patrimonio culturale) per cui è stata necessaria una ricerca esplorativa delle norme dei diversi Paesi Europei e dell'Unione Europea stessa in materia.

A livello europeo, il riferimento è il CEN EN 16096:2012 "Conservazione dei beni culturali - Indagine sullo stato di conservazione e relazione sul patrimonio culturale costruito". Questa norma fornisce le linee guida per indagare le condizioni del patrimonio culturale costruito stabilendone i metodi di valutazione, documentazione e registrazione; tali metodi si basano principalmente sull'osservazione visiva, eccezionalmente supportata da semplici misurazioni, il cui output risulta in una valutazione descrittiva. La norma viene completata dalla CEN EN 16095:2012 che allarga tali indagini ai beni culturali mobili.

Sono state anche valutate altre norme e documenti tecnici pertinenti pubblicati dalla commissione CEN/TC 346 che riguardano la conservazione del patrimonio culturale e la valutazione delle sue condizioni con particolare attenzione alle procedure e alle indagini tecniche necessarie.

A livello nazionale, i sistemi normativi frutto delle politiche dei diversi Paesi sul tema della manutenzione sono lacunosi e disomogenei. Gli approcci nazionali in materia di ispezione, diagnosi, monitoraggio e conservazione sono spesso intermittenti, non pianificati, eccessivamente costosi e privi di strategia metodologica (Dann e Cantell, 2007).

Una delle implementazioni di maggior successo delle politiche

- Collada generated from pointcloud, i.e., the generation of polygonal geometry and texture (mapping) from the E57-pointcloud as attained from the onsite laser scan.

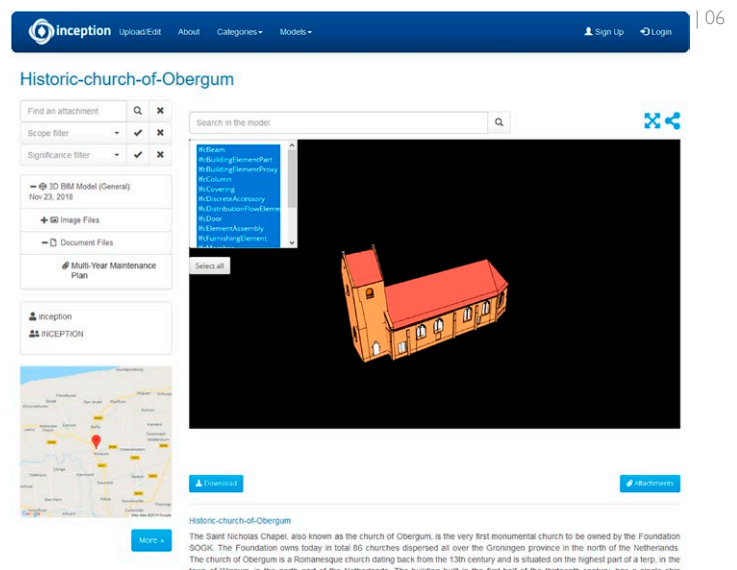
Potential, limitations and open challenges

The results achieved during the testing phase have highlighted the potential and limitations of the CH-AM set of instruments.

The tests performed on the pilot case during the research project confirmed the effectiveness of the procedures and the right functioning of interoperability between the units of the RE Suite solution and the INCEPTION platform. However, further adjustments are still required and some integrations will have to be made based on feedback from the analysis of the needs of potential users emerged during work-

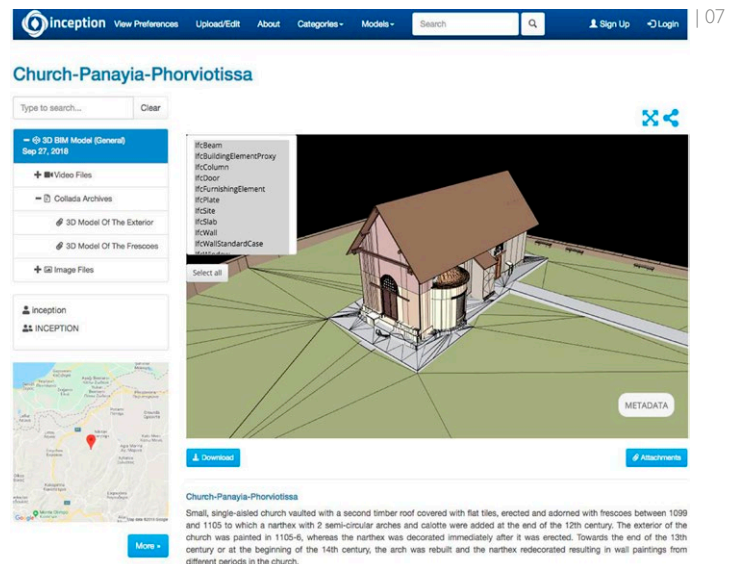
shops held with the Stakeholder Panel members of the INCEPTION project. The tests on the CH-AM prototype, carried out as part of the INCEPTION project on the Dutch case study, highlighted some needs expressed by the stakeholders involved, in particular:

- the need to define a standard for BIM models ensuring the reliability and accuracy of the information and data, which CH-AM uses to assess the condition of the building, define the renovation measures to be implemented for effective maintenance and, therefore, generate the different scenarios and related costs;
 - the capability to optimise time and costs related to the transition from the pointcloud to the BIM model.
- Both issues deal with the evolution of BIM technologies and their application to historical heritage (Heritage Building Information Modeling - H-BIM).



nazionali a sostegno della manutenzione preventiva si trova nei paesi nordici. Nei Paesi Bassi, in particolare, il processo di valutazione delle condizioni è stato standardizzato nel 2002 con la NEN 2767 "Standard per la valutazione delle condizioni degli edifici e dei beni infrastrutturali" (<https://www.nen.nl/NEN-Shop/Conditiemeting.htm>); lo scopo di questo standard è una valutazione obiettiva dello stato e della qualità tecnica dei componenti edilizi in grado di fornire ai gestori degli immobili informazioni chiare e affidabili sulla base dei difetti valutati.

Questo standard si differenzia dalla norma europea in quanto fornisce un metodo elaborato e oggettivo con il quale è possibile calcolare un punteggio di condizione anziché una descrizione soggettiva. Allo stesso tempo, però, utilizza analoghi metodi di rilevamento e simile pianificazione della manutenzione. Per la maturità metodologica e per la parziale corrispondenza con la norma europea, lo strumento CH-AM è stato quindi sviluppato e configurato secondo la norma tecnica olandese. La scelta si è rivelata vincente poiché il CEN (Comitato Europeo di Standardiz-



zazione) ha approvato ad agosto 2019 una Specifica Tecnica (TS) “CEN/TS 17385:2019 Metodo per la valutazione delle condizioni dei beni immobili costruiti” che si basa proprio sulla NEN 2767.

Conclusioni e sviluppi futuri

Se le prove sul funzionamento del prototipo hanno confermato le sue potenzialità, restano necessari ulteriori sviluppi per portarne il Technology Readiness Level (TRL) verso il livello 8-9 e, quindi, la sua diffusione sul mercato.

Un'azione fortemente raccomandata ai fini di questa implementazione riguarda l'aggiornamento e l'adeguamento delle norme e delle procedure tecniche dell'applicativo CH-AM per la valutazione delle condizioni degli edifici storici con le norme nazionali e locali: è prevedibile infatti che, in seguito alla standardizzazione europea della norma olandese NEN 2767, le indagini sulle condizioni degli edifici storici diventino più affidabili e, di conseguenza, più popolari tra coloro che gestiscono il patrimonio architettonico.

L'arricchimento del modello BIM con le informazioni tecniche e l'esatta localizzazione del difetto, ottenute dalla valutazione delle condizioni in fase di sopralluogo è in grado di supportare le strategie di intervento in fase di progettazione ma deve ulteriormente semplificarsi così come è necessario un approfondimento sui parametri di rischio per gli edifici monumentali a seconda della politica di gestione adottata.

Infine, in merito alla valutazione economica degli interventi, risulta strategica la creazione di una raccolta di analisi dei costi di interventi consigliati per la conservazione o manutenzione in riferimento alle caratteristiche specifiche degli edifici storici.

In particular, they depend on the results of research aimed at developing “Scan-to-BIM” technologies, the direct procedures for the transformation of data acquired with the 3D Laser Scanner (the pointcloud) into objects of a BIM model.

The feasibility of the CH-AM tool also depends on its compatibility with the regulations and standards related to maintenance (in particular the assessment of the conditions of cultural heritage). It has, therefore, been necessary to make an investigation concerning the rules of the different European countries and of the European Union itself in this field.

At European level, the reference is CEN EN 16096:2012 “Conservation of cultural heritage - Conservation status survey and built heritage report”. This standard provides guidelines to investigate the condition of Cultural Herit-

age buildings, establishing methods for its assessment, documentation and recording. These methods are mainly based on visual observation, exceptionally supported by simple measurements, and the output results in a descriptive evaluation. The standard is completed by CEN EN 16095:2012, which extends these surveys to movable Cultural Heritage.

Other relevant standards and technical documents published by CEN/TC 346 concerning the conservation of cultural heritage and the assessment of its condition have also been reviewed with particular attention to the relevant procedures and technical investigations.

At the national level, the legislative systems resulting from the policies of the various countries concerning maintenance are poor and heterogeneous. National approaches to inspection, diag-

RICONOSCIMENTI

Il progetto di ricerca “INCEPTION_ Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling”, cofinanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del Programma Quadro HORIZON 2020 (G.A. n. 665220, 01.06.2015 - 31.05.2019), è stato sviluppato da un Consorzio di quattordici partners provenienti da dieci paesi europei sotto la guida del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara (coordinatore scientifico il prof. Roberto Di Giulio).

<https://www.inception-project.eu>.

REFERENCES

- Al-GEendy, M., Osman, H. and Taha, M. (2012), “BIM-enabled condition assessment tool for building maintenance using Revit architecture. Research, Development and Practice” in V., Singh, A. and Yazdani, S. (Eds.), *Structural Engineering and Construction Vimonasatit*, ASEA-SEC-1, Perth.
- Cecchi, R. and Gasparoli, P. (2012), *Preventive and Planned maintenance of protected buildings*, Alinea International, Firenze.
- Dann, N. and Steel, M. (1999), “The conservation of historic buildings in Britain and The Netherlands: a comparative study”, *Structural Survey*, Vol. 17, N. 4, pp. 227-30.
- Dann, N. and Cantell, T. (2007), “Maintenance in conservation”, in Forsyth, M. (Ed.), *Understanding Historic Building*, Blackwell, Oxford, pp. 185-98.
- Di Giulio, R., Maietti, F. and Piaia, E. (2019), “Advanced 3D Survey and Modelling for Enhancement and Conservation of Cultural Heritage: The INCEPTION Project”, in Moropoulou, A., et al. (Eds.), *TMM_CH 2018*, CCIS 962, pp. 325-335, Springer Nature Switzerland.
- Dore, C. and Murphy, M. (2017), “Current state of the art historic building information modelling”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W5, 2017, 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August-01 September 2017, Ottawa, Canada.

nosis, monitoring and conservation are often fragmented, unplanned, overly expensive and lacking in methodological strategy (Dann and Cantell, 2007). One of the most successful implementations of national policies to support preventive maintenance has been achieved by Nordic countries. In the Netherlands, specifically, the condition assessment process was standardised in 2002 with NEN 2767 “Standard for the assessment of the condition of buildings and infrastructure assets” (<https://www.nen.nl/NEN-Shop/Conditietesting.htm>). The aim of this standard is an impartial assessment of the condition and technical quality of building components that can provide property managers with clear and reliable information on the basis of the evaluated defects. This standard differs from the European standard because it provides an elaborated and factual method for cal-

culating a condition score rather than providing a subjective description. Due to the methodological high level of development and the partial correspondence with the European standard, the CH-AM instrument has been developed and configured according to the Dutch technical standard. The choice proved to be winning because, in August 2019, the CEN (European Committee for Standardization) approved a Technical Specification (TS) “CEN/TS 17385: 2019 Method for the evaluation of the condition of built property” specifically based on NEN 2767.

Conclusion and future development

While tests on the functioning of the prototype have confirmed its potential, further developments are still needed to bring its Technology Readiness Level (TRL) up to level 8-9 and, therefore, its diffusion on the market.

Feilden, B.M. (1982), *Conservation of historic buildings*. London, Boston, Butterworth Scientific.

Forster, A.M. and Kayan, B. (2009), "Maintenance for historic buildings: a current perspective", *Structural Survey*, Vol. 27, pp. 210-229.

Franco, G., Magrini, A., Cartesegna, M. and Guerrini, M. (2015), "Towards a systematic approach for energy refurbishment of historical buildings. The case study of Albergo dei Poveri in Genoa, Italy", *Historic, Historical and Existing buildings, Special issue: Designing the retrofit. An overview from Energy Performances to Indoor Air Quality*, n. 95, pp. 153-159.

Osello, A., Lucibello, G. and Morgagni, F. (2018), "HBIM and virtual tools: A new chance to preserve architectural heritage", *Buildings*, Vol. 8(1), p. 12.

Romão, X., Paupério E. and Pereira, N. (2016), "A framework for the simplified risk analysis of cultural heritage assets", *Elsevier Journal of Cultural Heritage*, Vol. 20, pp. 696-708.

Sánchez, J.G.M., Pontes, A.G.B. and López, E.J.R. (2018), "BIM Methodology in Heritage Management. In Graphic Imprints. The Influence of Representation and Ideation Tools in Architecture", *Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Cham, Switzerland, Springer, pp. 835-843.

Simeone, D., Cursi, S. and Acierno, M. (2019), "BIM semantic-enrichment for built heritage representation", *Automation in Construction*, n. 97, pp.122-137.

Straub, A. (2009), "Dutch standard for condition assessment of buildings", *Structural Survey*, Vol. 27, N. 1, 2009, Emerald Group Publishing Limited, pp. 23-35.

Straub, A. (2003), "Using a condition-dependent approach to maintenance to control costs and performances", *Journal of Facilities Management*, Vol. 1, n. 4, pp. 380-395.

Thurley, S., Busquin, P., Spek, M., Brandt-Grau, A., Clause, G., Gustafsson, C. and Mallouchou-Tufano, F. (2015), *Getting cultural heritage to work for Europe. Report of the Horizon 2020 Expert Group on Cultural Heritage*, Brussels European Commission, Brussels.

The first strongly recommended action aimed to this deployment regards the updating and alignment of CH-AM standards and technical procedures for the assessment of the condition of historic buildings with national and local standards. It is to be expected that, following the European standardisation of the Dutch standard NEN 2767, surveys of the condition of historic buildings will become more reliable and, as a consequence, more popular among CH managers.

The enrichment of the BIM model with the technical information obtained from the assessment of the conditions during the survey, including the exact location of the defect, is able to support intervention strategies during the design phase, but it has to be simplified as well to perform an in-depth analysis of risk parameters for monumental buildings according to the adopted management policy.

Finally, regarding the economic evaluation of the maintenance activities, the establishment of a set of analyses of the costs of recommended conservation or maintenance interventions is necessary based on the specific characteristics of historical buildings.

ACKNOWLEDGMENTS

The research project "INCEPTION_Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling", co-funded by the European Commission under the HORIZON 2020 Framework Programme (G.A. n. 665220, 01.06.2015 - 31.05.2019), was developed by a Consortium of fourteen partners from ten European countries under the lead of the Department of Architecture of the University of Ferrara (Scientific Coordinator, Prof. Roberto Di Giulio). <https://www.inception-project.eu>.

Tiano, P., Tibaut, A., Kaucic, B., Jardim-Goncalves, R. and Panetto, H. (2019), "Knowledge based IT platform for Heritage Buildings", *Innovation in Intelligent Management of Heritage Buildings (i2MHB)*.

Turk, J., Pranjić A.M., Hursthiuse, A., Turner, R. and Hughes J.J. (2019), "Decision support criteria and the development of a decision support tool for the selection of conservation materials for the built cultural heritage", *Journal of Cultural Heritage*, n. 37, pp. 44-53.

Van Beers, B.J. (2004), *Herbestemming industrieel erfgoed: Nieuw licht in Eindhoven*, Technische Universiteit Delft, Delft.

Watt, D.S. (2007), *Building Pathology: Principles and Practice*, 2nd edition, Blackwell, Oxford.

Watt, D.S. and Swallow, P. (2007), *Surveying historic buildings*, Donhead World Heritage Convention.

Worthing, D., Dann, N. and Bond, S. (2002), "Issues in conservation management", *Proceedings of the CIB W070 2002 Global Symposium: Applying and Extending the Global Knowledge Base*, Glasgow, 18-20 September, CIB, Glasgow, pp. 292-302.

FprEN 15898 2 Main general terms and definitions.

FprEN 15999-1 Conservation of cultural heritage - Guidelines for management of environmental conditions - Recommendations for showcases used for exhibition and preservation of cultural property - Part 1: General requirements.

FprEN 16085 Conservation of Cultural property - Methodology for sampling from materials of cultural property - General rules.

FprEN 16095 Conservation of cultural property - Condition recording for movable cultural heritage.

FprEN 16141 Conservation of cultural heritage - Guidelines for management of environmental conditions - Open storage facilities: definitions and characteristics of collection centres dedicated to the preservation and management of cultural heritage.

FprEN 16242 Conservation of cultural property - Procedures and instruments for measuring humidity in the air and moisture exchanges between air and cultural property.

FprEN 16322 Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties.

FprEN 16455 Conservation of cultural heritage - Dissolution and determination of soluble salts in natural stone and related materials used in cultural heritage.

FprEN 16572 Conservation of Cultural Heritage - Glossary of technical terms concerning mortars for masonry, renders and plasters used in cultural heritage.

prEN 16853 Conservation of cultural heritage - Conservation process - Decision making, planning and implementation.

prEN 16883 Conservation of cultural heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic buildings.

prEN 16873 Conservation of cultural heritage - Guidelines for management of waterlogged wood on terrestrial sites of archaeological significance.