

COLLANA
3D MODELING & BIM

DIGITAL TWIN

A CURA DI TOMMASO EMPLER,
ADRIANA CALDARONE E ALEXANDRA FUSINETTI

DIPARTIMENTO DI STORIA
DISEGNO E RESTAURO
DELL'ARCHITETTURA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

3D Modeling & BIM 2021 - Digital Twin

Curatori: Tommaso Empler, Adriana Caldarone, Alexandra Fusinetti

Collana: 3D Modeling & BIM

Publisher: DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile

© 2021 DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE* – Tutti i diritti riservati

ISBN 9788849619430

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche), sono riservati per tutti i Paesi. Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali, Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano, e-mail autorizzazioni@clearedi.org e sito web www.clearedi.org.

DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Via Cavour 181/A - 00184 Roma

Tel. 06.441.63.71 (r.a.) Fax 06.440.33.07

dei@build.it

www.build.it

* DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE fa parte di LSWR GROUP

Credit immagine di copertina: Carla Ferreyra, Andrea Di Filippo, Anna Sanseverino

3D MODELING & BIM

Digital Twin

Il volume raccoglie i contributi, dei relatori e degli studiosi, pervenuti in occasione del Workshop 3D Modeling & BIM. Data Modeling & Management for AECO Industry, che si è svolto a Roma in modalità telematica il 14 maggio 2020.

La valutazione dei contributi pubblicati è avvenuta con la modalità del double blind review.

This book collects contributions, of speakers and scholars, received during the Workshop 3D modeling & BIM. Data Modeling & Management for AECO Industry, which took place via web-conference on May 14th 2020.

Contributions are printed under double blind review mode.

Organizing Committee

Director

- Tommaso Empler

Scientific Coordinator 3D Modeling

- Fabio Quici

Scientific Coordinator BIM

- Francesco Ruperto

Scientific Coordinator HBIM, Data and Semantics

- Graziano Mario Valenti

Coordinator

- Ivan Paduano (Coordinator Organization)
- Massimo Babudri (Coordinatore Ordine degli Ingegneri di Roma)
- Alexandra Fusinetti (General Coordinator)

Carlo Bianchini

Adriana Caldarone

Michele Calvano

Andrea Casale

Emanuela Chiavoni

Carlo Inglese

Elena Ippoliti

Alfonso Ippolito

Marta Salvatore

Leonardo Baglioni

Scientific Commitee

- Massimo Babudri, Ordine degli Ingegneri di Roma (Italy)
- Carlo Bianchini, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Fabio Bianconi, Università di Perugia (Italy)
- Cecilia Maria Bolognesi, Politecnico di Milano (Italy)
- Stefano Brusaporci, Università dell'Aquila (Italy)
- Adriana Caldarone, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Michele Calvano, Politecnico di Torino (Italy)
- Marco Capobianchi, Ordine degli Architetti P.P.C. di Roma e Provincia (Italy)
- Maria Grazia Cianci, Università Roma Tre (Italy)
- Roberto de Rubertis, XY Digitale (Italy)
- Tommaso Empler, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Marco Filippucci, Università di Perugia (Italy)
- Donatella Fiorani, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Elena Gigliarelli, itabc-CNR (Italy)
- Elena Ippoliti, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Massimiliano Lo Turco, Politecnico di Torino (Italy)
- Giovanna Massari, Università di Trento (Italy)
- Anna Osello, Politecnico di Torino (Italy)
- Ivan Paduano, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Leonardo Paris, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Sandro Parrinello, Università di Pavia (Italy)
- Fabio Quici, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Alberto Raimondi, Università Roma Tre (Italy)
- Manuel Ròdenas, UPCT Universidad Politécnica de Cartagena (Spain)
- Maria Laura Rossi, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Michela Rossi, Politecnico di Milano (Italy)
- Francesco Ruperto, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Livio Sacchi, Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti – Pescara (Italy)
- Mario Sacco, BIM Expert (Italy)
- Cettina Santagati, Università di Catania (Italy)
- Alberto Sdegno, Università degli studi di Udine (Italy)
- Graziano Mario Valenti, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Valeria Zacchei, PhD BIM Expert (Italy)

Editorial Project

Layout

- Atelier Crilo

Impaginazione

- Alexandra Fusinetti, Tullio Persiani

Indice

Summary

PRESENTAZIONE

Tommaso Empler 14

KEYNOTE SPEAKER

BIM e H-BIM. La rappresentazione del modello tra sperimentazione e formazione

Francesca Fatta 18

DIGITAL TWIN

Energy Digital Twin: una procedura HBIM per la riqualificazione energetica negli edifici storici

—
Energy Digital Twin: an HBIM procedure for energy upgrading in Historic buildings

Adriana Caldarone 26

Processi interoperabili tra contenitore e contenuto. Il caso della mostra temporanea Archeologia Invisibile del Museo Egizio di Torino

—
Interoperable processes between container and content. The case of the temporary exhibition Invisible Archaeology at the Museo Egizio di Torino

Elisabetta Caterina Giovannini, Massimiliano Lo Turco, Andrea Tomalini 42

Modellazione BIM e prototipazione. Il caso studio di Casa Moliner di Alberto Campo Baeza

BIM modeling and rapid prototyping. The case study of House Moliner by Alberto Campo Baeza

Giulia Bertola, Fabrizio Natta, Francesca Ronco

60

Modelli integrati per la storia e il restauro dell'architettura: Sapienza e Banca d'Italia

Integrated models for the history and restoration of architecture: Sapienza and Bank of Italy

Maria Paola Zoffoli, Marika Griffò, Carlo Inglese, Simone Lucchetti

76

3D Modeling per il Visual Journalism nella comunicazione del patrimonio culturale

Modeling for Visual Journalism in Cultural Heritage Communication

Enrico Cicalò, Michele Valentino, Marta Pileri

94

Pannelli igroscopici in legno per il controllo passivo dell'umidità negli ambienti costruiti

Hygroscopic wooden panels for a passive humidity control in built environments

Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Giulia Pelliccia

110

Integrazione automatizzata e parametrica di oggetti BIM in un contesto urbano

Automatic and parametric integration of bim objects in an urban context

Ambra Barbini

128

La chiesa di San Niccolò a S.Piero in Campo. Studio Storico ed ipotesi di Restauro tramite l'utilizzo di applicativi per la modellazione BIM

*The church of S. Niccolò in S. Piero in Campo
Historical study and restoration hypothesis through the
use of applications for BIM modeling*

Antonia Belcastro, Maurizio Cascio, Chiara De Angelis 144

Il processo BIM nel consolidamento e miglioramento sismico di un edificio vincolato nel centro storico di Roma

*BIM process for reinforcement and seismic renovation of
Rome's city center listed building*

Massimiliano Benga, Maria Antonia Russo 162

Tecniche di rappresentazione e modellazione per il progetto sul patrimonio del novecento

*Representation and modeling techniques for the project
on the XX century heritage*

Elena Bernardini 176

BIM - Asset Management nella gestione dei dati:il caso studio della Scuola Rodari di Firenze

*BIM - Asset Management in data management: the case
study of the Rodari School of Florence*

Andrea Bongini, Vincenzo Donato, Carlo Biagini 194

Stato dell'arte del gemello digitale: comparazione di tre casi studio e caso in corso

*A state of art for the digital twin concept: comparison of
three case studies and ongoing case study*

Martina Signorini, Cecilia Maria Bolognesi 212

Implementazione di strumenti hbim per la conoscenza del costruito storico. La digitalizzazione dell'Indice della Qualità Muraria

Implementation of hbim tools to enhance the knowledge of historical buildings. Digitisation of the Index of Masonry Quality

Filippo Calcerano, Letizia Martinelli, Michele Calvano, Elena Gigliarelli

230

Dal Codice Magliabechiano alla mixed reality: il complesso Rocca-Torrione di F. di Giorgio Martini a Cagliari

From Codice Magliabechiano to mixed reality: the Fortress-Tower complex of F. di Giorgio Martini at Cagliari

Paolo Clini, Ramona Quattrini, Romina Nespeca, Mirco D'Alessio

250

Fortezza di Marciana: un caso studio HBIM per la conoscenza e gestione del patrimonio storico-architettonico

Fortress of Marciana: A HBIM case study for the understanding and management of the historical and architectural heritage

Sara D'Ippolito, Laura Gianzi, Marzia Monaco

268

L'Opera incontra il digitale: modello servizi interattivo per accessibilità e sostenibilità

Digital meets Opera: an interactive service model towards accessibility and sustainability

Daniela De Luca, Francesca Maria Ugliotti

286

Il City Information Modeling tra conoscenza e prevenzione del territorio: un'applicazione in scenari post-emergenziali.

City Information Modeling as a tool for territorial knowledge and prevention: an application in post-emergency scenarios.

Federico Mario La Russa, Giulia Genovese, Cettina Santagati

304

Modellazione parametrica delle volte e implementazione condivisa del dato in sistemi HBIM

Parametric modelling of vaults and shared implementation in HBIM systems

Emanuela Lanzara, Simona Scandurra, Christian Musella, Margherita Pulcrano, Daniela Palomba, Domenico Asprone, Antonella di Luggo.

322

BIM e AAL: la rappresentazione digitale per la gestione degli spazi abitativi informati per l' Ambient Assisted Living

BIM and AAL: the digital representation for the management of informed living spaces for Ambient Assisted Living

Anna Mangiatordi

342

Una procedura per l' Historic Digital Twin (HDT) dei ponti ad arco in muratura

A procedure for Historic Digital Twin (HDT) of masonry arch bridges

Adriana Marra, Ilaria Trizio, Francesca Savini, Andrea Ruggieri, Giovanni Fabbrocino

358

Disseminazione del patrimonio storico costruito in ambiente BIM. Limiti e possibili metodologie

Dissemination of the historical heritage built in a BIM environment. Limits and possible methodologies

Sonia Mollica

374

Il rudere come parte del patrimonio costruito. Modellare la conoscenza.

The ruin as part of the built heritage. Modeling knowledge.

Leonardo Paris, Maria Laura Rossi, Giorgia Cipriani

390

Ambienti virtuali per comunicare uno spazio inclusivo

—

The virtual environment for communicating an inclusive space

Anna Lisa Pecora

410

Restituzioni image-based per l'incremento del livello di sviluppo in HBIM

—

Image-based elaborations to improve the HBIM level of development

Carla Ferreyra, Anna Sanseverino, Andrea di Filippo

428

Tra EBIM e Digital Twin: il caso studio dell'ex carcere ottocentesco di Parma

—

Between EBIM and digital twin: the case study of former nineteenth century prison in Parma

Chiara Vernizzi; Roberto Mazzi

444

Il BIM per il Construction Management. (Il caso della Domus Eleganza a Milano)

—

BIM for Construction Management. (The case of the Domus Eleganza in Milan)

Massimiliano Lo Turco, Maurizio Marco Bocconcino, Mariapaola Vozzola, Elisabetta Caterina Giovannini, Andrea Tomalini

462

HBIM dall'oggetto reale all'oggetto digitale attraverso la modellazione parametrica della conoscenza

—

HBIM from the real object to the digital object through the parametric modeling of knowledge

Dorela Arkaxhiu

482

**Implementazione di strumenti
HBIM per la conoscenza del
costruito storico.**

**La digitalizzazione dell'Indice
della Qualità Muraria**

**Implementation of HBIM tools
to enhance the knowledge of
historical buildings.**

**Digitisation of the Index of
Masonry Quality**

AUTHORS

**Filippo Calcerano
Letizia Martinelli
Michele Calvano
Elena Gigliarelli**

AFFILIAZIONE

*ISPC Institute of Heritage Science,
National Research Council of Italy*

EMAIL

filippo.calcerano@cnr.it

BIM, H-BIM, Asset Information Management, AIM, Big Data

BIM, Seismic Analysis, VPL, Parameters, HBIM template

ABSTRACT

Obiettivo della ricerca è la creazione di un *workflow* digitale per l'implementazione di strumenti per la valutazione del costruito storico. Viene proposta l'integrazione in HBIM del metodo dell'Indice di Qualità Muraria sviluppato negli anni 2000 dall'Università di Perugia, poi perfezionato e aggiornato dalle ricerche condotte dalla Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (ReLUIS), e ampiamente utilizzato nelle analisi strutturali speditive.

The purpose of the research is the development of a digital workflow for the implementation of tools for historical buildings' evaluation. We propose the integration, within an HBIM process, of the Index of Masonry Quality, developed in 2000 by the University of Perugia, then refined and updated thanks to researches conducted by the Network of University Laboratories of Earthquake Engineering (ReLUIS), and widely used in structural analysis.

1.Introduzione

In Italia il patrimonio storico minore rappresenta una porzione notevole dell'edificato ed è costituito dall'aggregazione di edifici molto spesso segnati da una relativa semplicità strutturale, da una modesta qualità dei materiali e degli elementi costruttivi, dalla mancanza o povertà di manutenzione e da fenomeni di abbandono o uso temporaneo da parte degli abitanti.

Nel 2015 si è constatato che la percentuale degli edifici dei centri storici in ottimo o buono stato di conservazione è passata dal 61,8 al 71,8%, segno di un miglioramento delle condizioni del tessuto urbano storico [12]. Il quadro delineato è la cornice di un territorio fragile, che negli ultimi anni ha mostrato la poca resilienza verso eventi catastrofici (eventi sismici, problematiche idrogeologiche) che hanno colpito il territorio appenninico centro-meridionale, rappresentando una problematica ineluttabile nella gestione territoriale.

È evidente quindi la volontà e la necessità di intensificare le attività di analisi e verifica delle condizioni costruttive e strutturali degli edifici costituenti il tessuto diffuso dei centri storici minori. Nel caso di studi su centinaia di centri storici minori, però, questo processo rigoroso appare impraticabile, per mancanza di risorse economiche adeguate e per la necessità di ottenere risultati in tempi ragionevoli.

Un altro problema riguarda la raccolta e la gestione dei dati informativi sullo stato conservativo dei manufatti che, per poter essere efficaci sul lungo periodo, devono essere correttamente strutturati, conservati e accessibili ai diversi operatori che si occupano di gestione e tutela del territorio. L'industria edilizia, per la rappresentazione e la gestione informativa del costruito, ormai si avvale di metodi BIM (*Building Information Modelling*). Questi metodi si basano sulla creazione e l'aggiornamento di un sistema informativo digitale riferito ad un manufatto, unendo tra loro le informazioni geometriche, alfanumeriche e documentali [15] ma anche associando ad una rappresentazione tridimensionale degli elementi costruttivi un sistema di dati dinamico continuamente implementabile [13]. Tuttavia, le procedure *standard* correnti nei processi BIM

1. Introduction

In Italy, vernacular built heritage represents a considerable part of the built-up area and it comprises buildings' aggregations very often characterized by structural simplicity, poor quality of materials and construction elements, lack or poverty of maintenance and neglect or intermittent use by the inhabitants.

In 2015, the percentage of historic buildings in excellent or good state of preservation increased from 61.8% to 71.8%, signalling an improvement in the conditions of historic centres [12]. However, this improvement occurs within the framework of a fragile territory, which in recent years has shown little resilience towards catastrophic events (seismic events, hydro-geological calamities) that affects the central-southern Apennine area, representing an unavoidable problem in territorial management. There is a clear need to intensify analysis and verification activities concerning the constructive and structural conditions of the buildings that constitute the diffuse fabric of historic centres. For smaller historic centres, however, this rigorous process seems impracticable, due to a lack of adequate economic resources and the need to obtain results within a reasonable timeframe. Another issue concerns the collection and management of information on the buildings' state of conservation, which, in order to be effective in the long term, must be properly organised, stored and

non riescono ad abbracciare la complessità formale e l'eterogeneità informativa del costruito storico [9]. I software BIM presenti sul mercato, ad esempio, non permettono di definire una granularità informativa capace di archiviare la conoscenza necessaria per lo studio del comportamento strutturale e sismico delle murature portanti in pietra di un edificio storico.

Le pratiche di conservazione del patrimonio costruito, che presuppongono un'organizzazione strutturata delle informazioni relative ai dati storici, diagnostici, documentali, possono però giovare di un processo BIM applicato agli edifici storici (*Heritage BIM-HBIM*) che integri in un sistema centralizzato, efficiente, coerente, non ridondante, la gestione e la produzione di informazioni propedeutiche alle attività progettuali e manutentive. L'HBIM garantisce la permanenza, consultazione e implementazione dei dati, accessibili e comprensibili anche da esperti di discipline diverse [1,14,16].

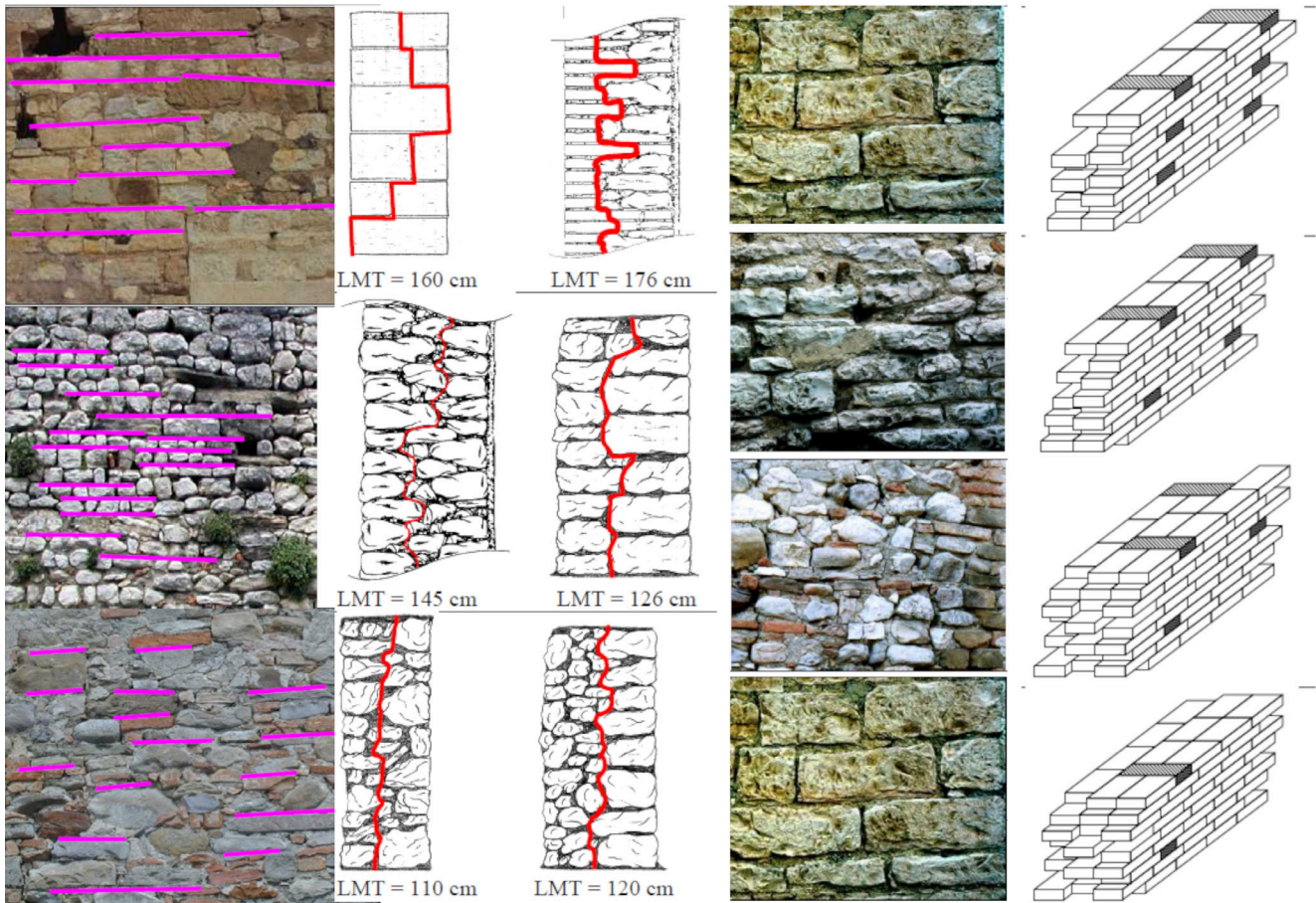
In questo nuovo quadro tecnologico è auspicabile l'utilizzo di procedure di analisi speditiva e a basso costo per attuare innovative operazioni di prevenzione e tutela. La digitalizzazione della procedura per la determinazione dell'Indice di Qualità Muraria (IQM) introdotto da Antonio Borri e Alessandro De Maria va verso la direzione ricercata [3]. L'IQM propone una procedura di valutazione della qualità meccanica di una tipologia muraria basata sull'osservazione delle sue caratteristiche geometriche e fisiche. Il presente contributo illustra i risultati di una ricerca del BHiLAB dell'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) del CNR che ha sviluppato una metodologia utile a connettere l'HBIM e il metodo dell'IQM. Il processo è stato sperimentato nel centro storico di Cornillo Nuovo, nell'area di Amatrice, zona gravemente danneggiata dal sisma del 2016 [10].

2.Stato dell'arte

Il lavoro descritto ha l'obiettivo generale di illustrare nuove modalità di implementazione dati che definiscono il costruito storico in ambiente digitale, ma anche l'obiettivo specifico di

made accessible to the different operators involved in territorial management and protection. Nowadays, the building industry applies BIM (Building Information Modelling) methods for the representation and data management of the built environment. These methods are based on the creation and updating of a digital information system referring to an artefact, combining geometric, alphanumeric and document information [15], and also integrating a three-dimensional representation of building elements with a dynamic data system that can be continuously implemented [13]. However, current standard procedures in BIM processes fail to incorporate the formal complexity and information heterogeneity of the historic built environment [9].

For example, commercial BIM software does not allow to define an information granularity able to represent the knowledge necessary to study the structural and seismic behaviour of load-bearing stone walls of historic buildings. Heritage conservation practices, which require a structured organisation of information relating to historical, diagnostic and documentary data, can however take advantage of a BIM process applied to built heritage (Heritage BIM - HBIM), which integrates the management and generation of information for design and maintenance in a centralised, efficient, consistent, non-redundant system. HBIM ensures the permanence, consultation and implementation of data, accessible and



digitalizzare l'IQM per utilizzarlo in maniera efficiente e rapida, come strumento per la visualizzazione dello stato dell'apparecchiatura muraria degli edifici indagati, in un processo HBIM. Una accurata sistematizzazione del flusso operativo del secondo obiettivo consente anche il perseguimento del primo.

2.1 L'INDICE DI QUALITÀ MURARIA (IQM)

L'Indice di Qualità Muraria [4,5] consente di valutare la presenza, completa o parziale oppure l'assenza di alcuni parametri che definiscono la "regola d'arte", vale a dire l'insieme delle buone regole costruttive dell'apparecchiatura muraria atte a garantire la compattezza e la monoliticità del manufatto. L'applicazione del metodo ai centri storici risulta di particolare interesse per la rapidità con cui è possibile determinare, per un aggregato di edifici, le "variazioni" di capacità meccaniche. La natura anisotropa della muratura porta a considerare tre categorie distinte di azioni sul pannello murario, da cui derivano altrettanti indici di qualità muraria (IQM): azioni verticali (IQMV) e azioni orizzontali (IQMFP) nel piano medio del pannello murario e azioni che impegnano lo stesso ortogonalmente al piano medio (IQMNP) (fig. 01).

I parametri da valutare a vista sono:

- Malta di buona qualità/efficace contatto fra gli elementi/zeppe (MA.);

Fig. 1 Alcune analisi da effettuare a vista per la valutazione del pannello murario secondo i criteri della regola d'arte [10].

Fig. 1 Some analyses to be carried out on sight for the evaluation of the wall panel according to the criteria of the "regola d'arte" [10].

comprehensible by experts of different fields [1,14,16]. Within this new technological framework, the use of low-cost and quick analysis procedures can be highly beneficial to implement innovative prevention and conservation actions. The digitisation of the Index of Masonry Quality (IQM), introduced by Antonio Borri and Alessandro De Maria, goes towards the desired direction [3]. The IQM proposes a procedure to evaluate the mechanical quality of a masonry typology, based on the observation of its geometrical and physical characteristics. The present paper illustrates the results of a research of

- Ingranamento trasversale/presenza di diatoni (P.D.);
- Elementi resistenti di forma squadrata (F.EL.);
- Elementi resistenti di grande dimensione rispetto allo spessore del muro (D.EL.);
- Sfalsamento fra i giunti verticali (S.G.);
- Presenza di filari orizzontali (OR.);
- Buona qualità degli elementi resistenti (RE.EL.).

In base alla differente tipologia della muratura, in mattoni pieni o in pietrame, si introduce un fattore di correzione (r) legato al valore MA e diversificato per le tre direzioni considerate per il calcolo dell'IQM (v , fp , np). Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni [17] in base alla circolare esplicativa (Cons. Sup. LL.PP., 2019) individuano due nuovi coefficienti correttivi per la determinazione dei parametri meccanici delle murature:

- Malta di pessima qualità (m) per tutti i tipi di muratura;
- Presenza di giunti ampi (g) per le murature di mattoni pieni o in blocchi.

I nuovi coefficienti sono stati introdotti nel calcolo dell'IQM a seguito degli eventi catastrofici che hanno colpito il centro Italia nel 2016 [8,11].

Le attuali funzioni utilizzate per il calcolo dell'indice di qualità muraria per i paramenti non in mattoni pieni sono le seguenti:

$$IQM_v = m \times REEL_v \times (OR_v + PD_v + FEL_v + SG_v + DEL_v + MA_v)$$

$$IQM_{fp} = m \times REEL_{fp} \times (OR_{fp} + PD_{fp} + FEL_{fp} + SG_{fp} + DEL_{fp} + MA_{fp})$$

$$IQM_{np} = m \times REEL_{np} \times (OR_{np} + PD_{np} + FEL_{np} + SG_{np} + DEL_{np} + MA_{np})$$

Per quanto riguarda murature in mattoni pieni, si introducono i valori correttivi r e g :

$$IQM_v = m \times g \times r_v \times REEL_v \times (OR_v + PD_v + FEL_v + SG_v + DEL_v + MA_v)$$

$$IQM_{fp} = m \times g \times r_{fp} \times REEL_{fp} \times (OR_{fp} + PD_{fp} + FEL_{fp} + SG_{fp} + DEL_{fp} + MA_{fp})$$

$$IQM_{np} = m \times g \times r_{np} \times REEL_{np} \times (OR_{np} + PD_{np} + FEL_{np} + SG_{np} + DEL_{np} + MA_{np})$$

I valori numerici risultanti permettono di inserire le murature in una delle tre categorie IQM (A,B e C) che stabiliscono la classe di qualità muraria, dalla migliore alla peggiore.

2.2 PROCEDURE PER L'IMPLEMENTAZIONE DELL'HBIM

Per ottimizzare l'iter di calcolo dell'IQM si è scelto di integrarlo in un modello HBIM, in modo da ridurre al minimo i passaggi tra *software* diversi e mantenere collegata in modo attivo la geometria dell'edificio, i dati informativi ed il risultato delle analisi.

the BHiLAB of the Institute of Heritage Science (ISPC) of CNR, which has developed a methodology useful to connect HBIM and the IQM. The process was tested in the historic centre of Cornillo Nuovo, in the area of Amatrice, a region severely damaged by the 2016 earthquake [10].

2. Recent solutions

This work has the general scope of illustrating new ways of implementing data describing built heritage in a digital environment, but also the specific objective of digitalising the IQM, in order to enhance its efficient and rapid use, as a tool for visualising the state of masonry structures of analysed buildings, within an HBIM process. An accurate systematisation of the workflow of the second objective also enables the pursuit of the first one.

2.1 THE INDEX OF MASONRY QUALITY (IQM)

The Index of Masonry Quality [4,5] enables the evaluation of the presence, complete or partial, or the absence of a number of parameters that define the "regola d'arte", i.e. the set of good construction rules of masonry construction aimed at ensuring the compactness and monolithicity of a wall. The method's application to historic centres is especially significant, as it allows for the rapid detection of any "variations" in the mechanical characteristics of a group of buildings. The anisotropic nature of masonry requires to consider three distinct categories of mechanical forces (actions) applied to the masonry panel, resulting in as many Indices of Masonry Quality: vertical actions (IQM_v) and horizontal actions (IQM_{fp}) applied to the median plane of the masonry panel, and actions orthogonal to said median plane (IQM_{np}). (fig. 01).

The parameters to define the index, that are detected with a visual survey, are:

- Good quality mortar/effective contact between elements (MA.);

La frequente unicità degli elementi architettonici degli edifici antichi richiede una rappresentazione specifica che, nella metodologia HBIM, può essere implementata adottando il sistema della modellazione parametrica, costituita da definizioni geometriche, dati associati e regole che ne indicano il comportamento e che possono variare localmente per adattarsi agli edifici storici.

Questi parametri, arricchiti di dati informativi, rendono il modello un database capace di raccogliere e coordinare diversi domini di conoscenza [6].

Il processo proposto prevede il superamento dei limiti di alcune rigidità dovute agli strumenti BIM utilizzando la programmazione visuale (VPL): una metodologia di programmazione supportata da un sistema grafico a nodi. Ogni nodo rappresenta delle “macro” azioni che possono essere collegate tra loro in maniera creativa, costituendo delle procedure automatizzate alimentate da *input* geometrici o alfanumerici, per l’ideazione di nuovi strumenti da mettere a disposizione della comunità scientifica interessata a risolvere problemi analoghi [7].

La flessibilità di questo sistema consente una più facile estensione dei confini del BIM all’HBIM, permettendo non solo la manipolazione di forme complesse di cui è ricca l’architettura storica (ad esempio le coperture voltate), ma agevolando l’introduzione e la manipolazione di parametri informativi grazie alla robustezza con cui i sistemi a nodi gestiscono il flusso dati.

Tra le possibili integrazioni tra programmi BIM e VPL offerte dalle *software house*, il BHiLab ha utilizzato per questa sperimentazione il *software* Revit (strumento BIM dell’Autodesk) e Grasshopper (strumento VPL della McNeel).

3. Soluzione proposta

L’implementazione dell’IQM nei *software* di modellazione del costruito prevede una serie di operazioni svolte dai ricercatori in *backend* e dagli operatori esperti in *frontend*. I primi hanno sviluppato un codice per la digitalizzazione delle funzioni di calcolo dell’IQM e predisposto un *template* che guida i secondi ad una efficace compilazione dei parametri richiesti a seguito delle loro analisi svolte in maniera critica e competente.

3.1 SVILUPPO DI PROCEDURE PER L’IMPLEMENTAZIONE DELL’IQM IN REVIT

Tra gli scopi dei ricercatori in questo processo vi è l’integrazione di informazioni relative alle procedure HBIM, l’ottimizzazione delle fasi di lavoro e la sintesi delle stesse all’interno di pochi strumenti rivolti agli operatori dei beni

- *Transverse joint/presence of dilatations (P.D.);*
- *Square shaped load-bearing elements (F.EL.);*
- *Load-bearing elements of large size in relation to wall thickness (D.EL.);*
- *Offset between vertical joints (S.G.);*
- *Presence of horizontal stretcher bonds (OR.);*
- *Good quality of the load-bearing elements (RE.EL.).*

According to the different types of masonry, solid brick or stone, a correction factor (*r*) is introduced, linked to the MA value and distinct for the three forces’ directions considered for IQM calculation (*v, fp, np*). The recent Technical Standards for Construction [17], according to the explanatory regulation (Cons. Sup. LL.PP., 2019), identifies two new coefficients for the determination of the mechanical characteristics of masonry:

- *Poor quality mortar (m) for all types of masonry;*
- *Presence of wide joints (g) for solid brick or block masonry.*

The new coefficients were introduced in the calculation of the IQM due to the catastrophic earthquakes in central Italy in 2016 [8,11]. The updated functions used to calculate the IQM for non-solid brick walls (irregular stone) are as follows:

$$IQM_v = m \times REEL_v \times (OR_v + PD_v + FELV_v + SG_v + DEL_v + MA_v)$$

$$IQM_{FP} = m \times REEL_{FP} \times (OR_{FP} + PD_{FP} + FEL_{FP} + SG_{FP} + DEL_{FP} + MA_{FP})$$

$$IQM_{NP} = m \times REEL_{NP} \times (OR_{NP} + PD_{NP} + FEL_{NP} + SG_{NP} + DEL_{NP} + MA_{NP})$$

For solid brickwork, corrective factors *r* and *g* are introduced:

$$IQM_v = m \times g \times r_v \times REEL_v \times (OR_v + PD_v + FEL_v + SG_v + DEL_v + MA_v)$$

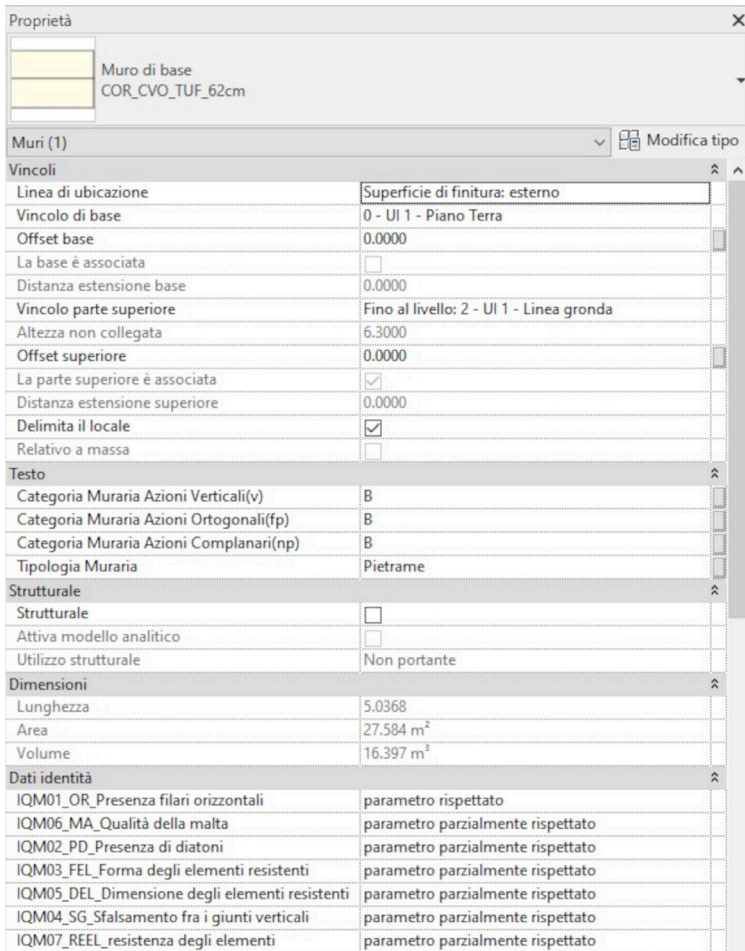


Fig. 2 Customizzazione del template Revit introducendo nuovi parametri di scrittura e lettura per la valutazione dell'IQM.

Fig. 2 Customizing the Revit template by introducing new input and output parameters for IQM evaluation.

$$IQM_{FP} = m \times g \times r_{FP} \times REEL_{FP} \times (OR_{FP} + PD_{FP} + FEL_{FP} + SG_{FP} + DEL_{FP} + MA_{FP})$$

$$IQM_{NP} = m \times g \times r_{NP} \times REEL_{NP} \times (OR_{NP} + PD_{NP} + FEL_{NP} + SG_{NP} + DEL_{NP} + MA_{NP})$$

The resulting numerical values classify the masonry as belonging to one of three IQM categories (A, B and C) that identify the Masonry Quality level, from best to worst.

2.2 PROCEDURES FOR IMPLEMENTING

HBIM

To optimise the calculation process of the IQM, we resolved to integrate it into an HBIM model, in order to minimise exporting between different software and to keep building geometry, building information and the result of the analysis actively linked.

The frequent uniqueness of architectural elements belonging to built heritage requires a specific representation which, within HBIM methodology, can be implemented by adopting parametric modelling, which employs geometric definitions, associated data and rules (called “parameters”) to define the behaviour of modelled objects, that can vary locally to adapt to the specificities of historic buildings.

These parameters, enriched with information, render the model a data repository capable of collecting and coordinating different knowledge domains [6].

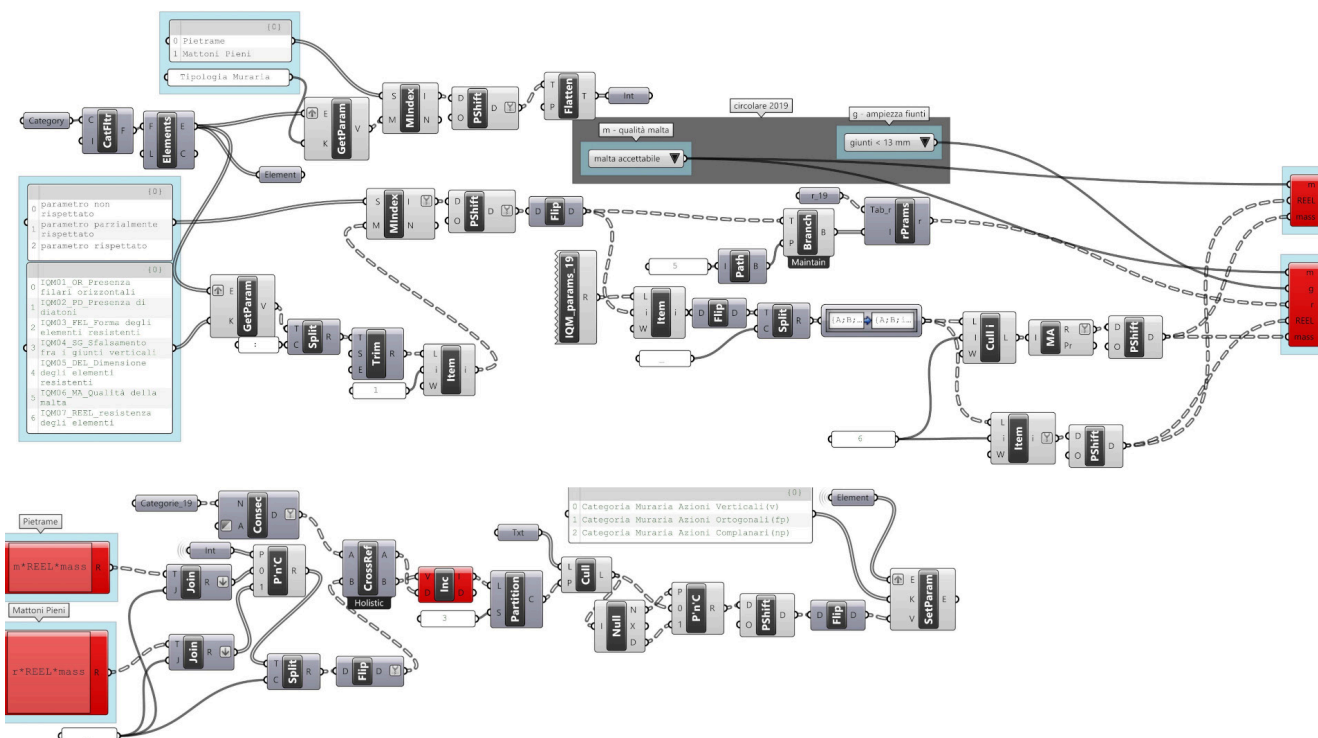
The proposed process aims at overcoming some limits and rigidities of common BIM tools by using Visual Programming Language (VPL), that is a

culturali. Nella soluzione proposta, il BHiLab ha definito un *file template* di Revit e ha sviluppato il codice VPL, entrambi rivolti all’arricchimento informativo delle categorie murarie.

CREAZIONE DEL TEMPLATE IN REVIT

Per quanto riguarda la struttura del *file template*, che viene utilizzato come base per l’integrazione dell’IQM, sono stati introdotti nuovi parametri di progetto legati alla categoria muri (fig. 02). I nuovi parametri sono stati diversamente raggruppati per differenziare le stringhe di *input* (OR_Presenza filari orizzontali, PD_Presenza di diatoni, FEL_Forma degli elementi resistenti, SG_Sfalsamento dei giunti verticali, DEL_Dimensione degli elementi resistenti, MA_Qualità della malta, REEL_Resistenza degli elementi, *r*_Tipologia Muraria, *m*_Coefficiente correttivo per malta, *g*_coefficiente correttivo per giunti ampi) dalle stringhe di *output* (IQMv_Categoria muraria azioni verticali, IQMfp_Categoria muraria azioni ortogonali, IQMnp_Categoria muraria azioni Complanari).

Le stringhe di *input* saranno successivamente compilate dall’operatore, a seguito della sua analisi critica sulle muraure, mentre le stringhe di *output* verranno restituite dalla procedura sviluppata in VPL, nelle tre categorie A, B, C.



Per poter ottenere un menù a tendina che fornisca, per ogni parametro di input, i 3 valori possibili - “rispettato, non rispettato, parzialmente rispettato” - tali parametri sono stati definiti utilizzando le *key schedules* di Revit, che automatizza l’inserimento delle informazioni negli abachi.

Una volta ottenuta per ogni tipologia edilizia la categoria IQM d’appartenenza, questa caratterizza graficamente il modello in Revit colorando le pareti con i colori proposti da Borri. Per questo motivo il template è provvisto di un set di nove filtri che operano sulla Visibilità Grafica del modello colorando in verde, giallo e rosso rispettivamente i muri di categoria A, B, C; operazione ripetuta per i tre indici.

SVILUPPO DEL CODICE VPL

La programmazione visuale propone un algoritmo risolutivo (fig. 03) che cela la procedura e le funzioni del sistema IQM in *backend*, diventando un *tool* richiamato in maniera semplice dall’interfaccia grafica di Revit una volta installato il *plug-in Rhino.inside*¹. Il codice sviluppato si compone di una prima parte che filtra, all’interno del progetto, le istanze appartenenti alla categoria muro ed estrae da esse i valori dei parametri di *input*.

Questi, introdotti come *key schedules* nel *file template* di Revit, vengono scelti dall’operatore in base al rispetto della regola d’arte e al coefficiente *r* che specifica la tipologia di

Fig. 3 Algoritmo per la risoluzione digitale dell’IQM a partire dal template customizzato in Revit.

Fig. 3 Algorithm for digital solution of the IQM starting from the template customized in Revit.

programming methodology supported by a graphic node system, each node representing “macro” actions that can be creatively linked together. Automated procedures are fed by geometric or alphanumeric inputs, for the development of new tools to be made available to the scientific community interested in solving similar problems [7].

The flexibility of this system allows for an easier extension of BIM boundaries to HBIM, not only accommodating the manipulation of complex shapes typical of built heritage (e.g. vaulted roofs), but also facilitating the introduction and manipulation of information parameters, thanks to the robustness of the node systems in managing the data flow.

Among the possible integrations between BIM and VPL programs of

¹ *Rhino.Inside.Revit è un plug-in open e free per Rhinoceros 7 della Robert McNeel & Associates. L’applicativo crea un’interoperabilità diretta tra l’ambiente di lavoro Rhinoceros/Grasshopper e l’ambiente Autodesk Revit.*

muratura. La procedura prende in considerazione anche i valori m e g che entrano nel merito della qualità e la quantità della malta. Ai parametri di rispetto della regola d'arte vengono sostituiti i valori tabellati nella componente appositamente compilata in un nodo in VPL, anch'essi aggiornati all'ultima circolare. Rendendo la tabella una componente, sarà sempre possibile sostituirla per l'adeguamento alle mutevoli normative. Nella seconda parte del codice vengono introdotte le funzioni per il calcolo del valore IQM per le tipologie di pareti in pietrame e in muri di mattoni pieni. I valori vengono poi confrontati con le tabelle che restituiscono le categorie di appartenenza dell'IQM (A, B, C), anch'esse sintetizzate in una componente aggiornabile del codice. Il processo termina con la scrittura delle categorie IQM restituite all'interno degli appositi parametri di output preparati nel template descritto.

3.2 WORKFLOW DI LAVORO PER L'ARRICCHIMENTO IQM

Dal punto di vista dell'operatore, la digitalizzazione della procedura IQM per lo sviluppo di un processo speditivo in ambiente BIM si attua nel seguente modo:

1. Acquisizione fotogrammetrica dell'aggregato edilizio da analizzare;
2. Restituzione della nuvola di punti mediante foto modellazione;
3. Modellazione HBIM da nuvola di punti;
4. Valutazione critica della rispondenza dei sette parametri IQM in ambiente BIM.

ACQUISIZIONE FOTOGRAMMETRICA DELL'AGGREGATO EDILIZIO DA ANALIZZARE

La fotogrammetria digitale risulta la tecnica adeguata per questo processo poiché permette un bilanciamento tra tempo di acquisizione e accuratezza del dato, riducendo gli oneri economici dovuti all'uso di altre tecniche digitali di rilievo (*laser scanner*) [2]. Inoltre questa tecnica ha il grande vantaggio di definire un *data-set* fortemente legato alla qualità RGB della nuvola restituita, fondamentale per l'analisi dei paramenti murari e la definizione della loro rispondenza alla regola d'arte.

RESTITUZIONE DELLA NUVOLO DI PUNTI

Il prodotto ottenuto dal processo di *Structure from Motion*, tipico dei *software* di fotomodellazione, è un modello 3D texturizzato, quindi in grado di restituire il valore estetico del modello (fig. 4). Questo mostra in maniera continua le caratteristiche esterne dei paramenti murari, per cui è possibile effettuare "in remoto" le valutazioni di rispondenza delle murature ai parametri della regola d'arte.

La rispondenza estetica e morfologica della nuvola di punti all'artefatto reale suggerisce la definizione dei confini delle tipologie murarie da modellare successivamente in ambiente BIM.

fered by software houses, the BHiLab experimented with Revit (Autodesk's BIM tool) and Grasshopper (McNeel's VPL tool) live interoperability.

3. Proposed solutions

The implementation of the IQM in BIM software involves a series of operations carried out by researchers in the backend and expert operators in the frontend. The former have developed a code for digitalising the IQM calculation functions and prepared a template to guide the latter to effectively compile the required parameters as a result of their analysis.

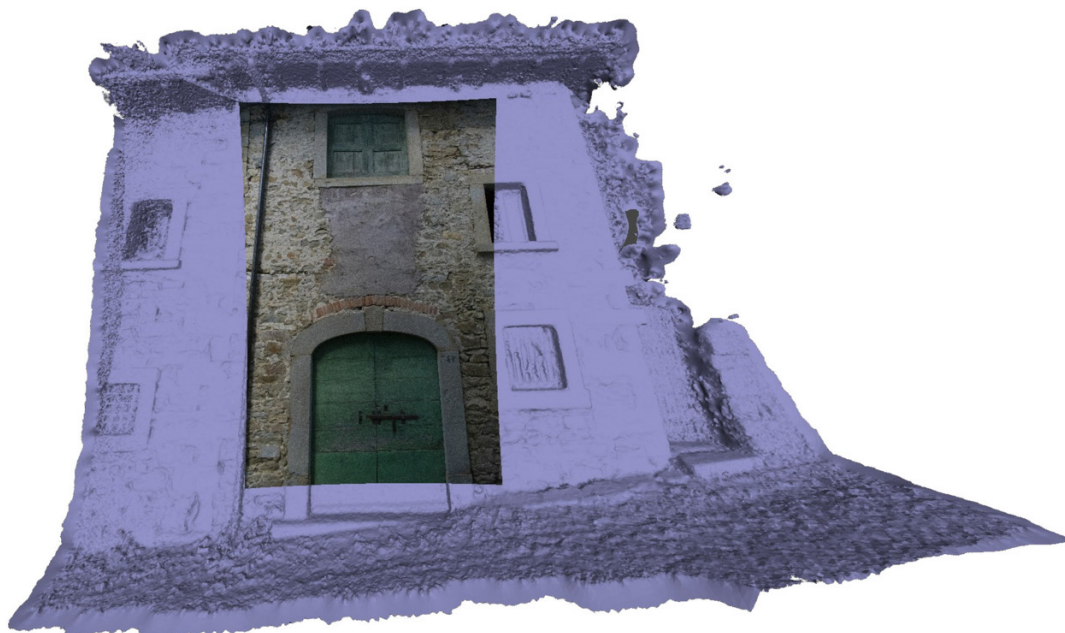
3.1 DEVELOPMENT OF PROCEDURES FOR IMPLEMENTING IQM IN REVIT

Within this process, the aims of the researchers comprehend the integration of information within HBIM procedures, the optimisation of the work pipeline and its synthesis using a limited number of tools, addressed to cultural heritage operators. In the proposed solution, the BHiLab defined a Revit template file and developed the VPL code, both focused on the information enrichment of wall categories.

CREATING THE TEMPLATE IN REVIT

Regarding the structure of the template file, which is used as the basis for the integration of the IQM in BIM, new project parameters related to the wall category were introduced (fig. 02).

These parameters have been grouped differently in order to separate the input strings (OR_Presence of horizontal stretcher bonds, PD_Presence of diatons, FEL_Shape of load-bearing elements, SG_Offset of vertical joints, DEL_Dimension of the load-bearing elements, MA_Quality of mortar, REEL_Quality of load-bearing elements, r_Masonry_Typology, m_Correction coefficient for mortar, g_Correction coefficient for wide joints) from the output strings (IQMv_C Masonry category for



L'intera operazione è ulteriormente agevolata dalla possibilità di creare, dopo aver importato la nuvola nel *software BIM*, viste bidimensionali parallele al piano delle murature analizzate favorendo le analisi grafiche per l'indagine della rispondenza ai parametri per l'IQM (fig. 05). Tali analisi grafiche, richieste dalla procedura di calcolo dell'IQM, sono normalmente eseguite su carta o in ambiente CAD da fotografie. All'interno del *workflow*, esse possono essere effettuate su una vista bidimensionale del modello BIM sovrapposta alla nuvola di punti o a supporti fotografici, con gli strumenti di disegno messi a disposizione dai *BIM tools*, così da organizzare tutto il lavoro in un unico ambiente software centralizzato.

MODELLAZIONE HBIM DA NUVOLE DI PUNTI

Una volta ottenuta la nuvola di punti dal rilievo fotogrammetrico si introduce il dato, opportunamente semplificato, in un *software di BIM authoring* per la modellazione dell'edificio o dell'aggregato seguendo le procedure HBIM. La costruzione del modello deve tener conto delle differenti tipologie di muratura riscontrate in fase di rilievo, adottando per ogni tipologia oggetti 3D differenti. Questi si comporteranno come *placeholder* capaci di definire il confine visibile al portato informativo delle murature collegate (fig. 06).

VALUTAZIONE DELLA RISPONDENZA DEI SETTE PARAMETRI IN AMBIENTE BIM

La modellazione si effettua all'interno del template personalizzato in cui all'oggetto muro sono associati i nuovi parametri e i nuovi coefficienti correttivi per il calcolo dell'IQM (OR, PD, FEL, SG, DEL, MA, REL, *r*, *m*, *g*), che saranno compilati a cura dell'operatore che effettua l'analisi. La connessione oggi

Fig. 4 La fotomodellazione risulta essere la metodologia migliore per la valutazione della qualità dei campioni murari.

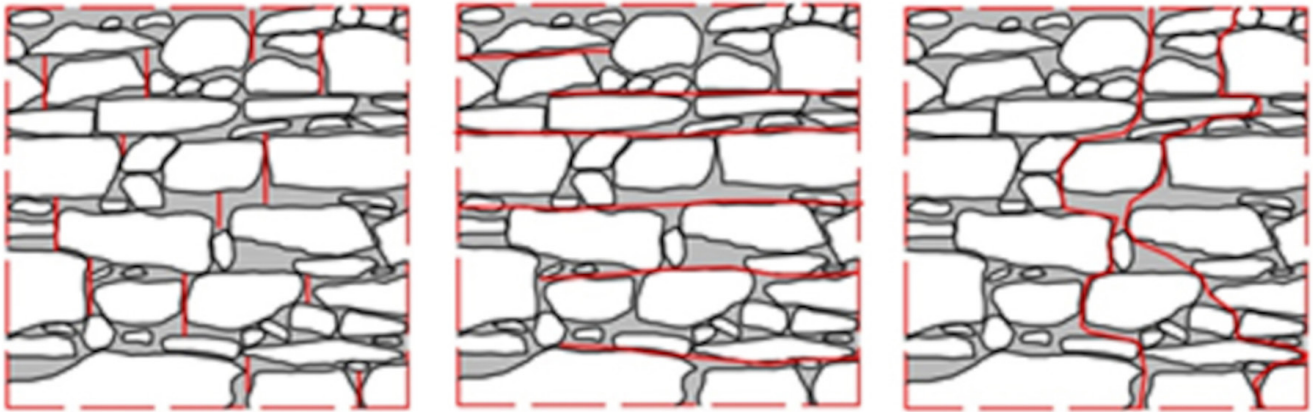
Fig. 4 Photomodeling is the best methodology for assessing the quality of wall samples.

vertical actions, IQMfp_Masonry category for orthogonal actions, IQMnp_Masonry category for coplanar actions).

The input strings will be compiled by the operator, following his analysis on the masonry, while the output strings will be automatically returned by the procedure developed in VPL, as one of the three categories A, B, C.

In order to obtain a drop-down menu that provides, for each input parameter, 3 possible values - "respected, not respected, partially respected" - these parameters have been defined using Revit key schedules, which automate the insertion of information.

Once the IQM category has been obtained for each wall section with the same features, it graphically characterises the model in Revit by colouring the wall sections with the colour palette proposed by Borri. For this reason,



possibile tra BIM e VPL (§ 2.3) consente l'innesco di un processo automatizzato utilizzando la programmazione nodale che istantaneamente acquisisce le entità murarie modellate e legge i dati introdotti nelle stringhe dei nuovi parametri.

Lo stesso template introduce tra i parametri delle pareti gli indici IQMV, IQMFP, IQMNP, *output* della procedura VPL che riporta all'interno delle stringhe le categorie di appartenenza (A, B, C). I filtri per la visibilità grafica presenti nel template colorano in verde le pareti di categoria A, in giallo quelle di categoria B ed in rosso quelle di categoria C, ripetendo automaticamente l'operazione per i tre indici.

4. Risultati conseguiti

La procedura ha trovato la validazione su un edificio tipo a Cornillo Nuovo. Questo è stato scelto poiché ancora integro ed in possesso delle caratteristiche comuni alle altre frazioni della conca amatriciana: murature a sacco con paramenti esterni in pietrame irregolare, riutilizzo di pezzi di arenaria arrossata dal fuoco e frammenti di laterizi e malta giallo ocra a basso contenuto di calce di scarsa qualità meccanica. Inoltre le condizioni di dissesto in cui versavano gli altri edifici del paese hanno permesso di osservare le sezioni murarie, evidenziando le tecniche costruttive utilizzate e la qualità delle componenti murarie; in questo modo sono state rilevate le caratteristiche delle malte e degli inerti, registrando le informazioni per la valutazione della rispondenza ai parametri per il calcolo dell'IQM (fig. 07).

Il rilievo si è svolto utilizzando tecniche fotogrammetriche per l'acquisizione delle murature esterne, mentre gli spazi interni sono stati rilevati mediante approccio diretto. La fotocamera utilizzata è stata una Canon EOS 750 D; le riprese sono avvenute a blocchi convergenti con una distanza tra i punti di scatto utile a garantire il ricoprimento del 30% circa tra i fotogrammi e ad un metro dalla facciata dell'e-

Fig. 5 Alcune analisi grafiche da effettuare sui paramenti murari dell'edificio da studiare [4].

Fig. 5 Some graphic analyses to be carried out on the wall panels of the building [4].

the template is provided with a set of nine filters that operate on the graphic visibility of the model, by automatically colouring the walls of categories A, B and C in green, yellow and red respectively; this operation is repeated for the three indices.

DEVELOPMENT OF THE VPL CODE

The visual programming proposes a solving algorithm (fig. 03) that hides the procedure and the functions of the IQM system in the backend, as a tool that can be called up in a simple way from the Revit graphic interface once the Rhino.inside plug-in¹ has been installed.

The code developed consists of a first part that filters, within the project, the instances belonging to the wall category and extracts from them the values of the input parameters. These values, introduced as key schedules in the Revit template file, are chosen by the opera-

¹ *Rhino.Inside.Revit is an open and free plug-in for Rhinoceros 7 software from Robert McNeel & Associates. The application creates direct interoperability between the Rhinoceros/Grasshopper working environment and the Autodesk Revit environment.*



edificio. Le immagini sono state elaborate da un *software* di fotomodellazione che ha restituito la nuvola di punti. I *dataset* di rilievo sono stati utilizzati per lo sviluppo del modello HBIM costruttivo all'interno del template illustrato nel §3.1. All'approccio *Scan to BIM* si è affiancato lo sviluppo di un abaco parametrico di elementi tipici del tessuto di Cornillo, con cui modellare altre parti di edificato (fig. 08).

Le analisi grafiche per la valutazione dell'aderenza alle buone regole costruttive sono avvenute su una vista di dettaglio che rappresentava in vera forma una porzione omogenea di 1m x 1m di muratura, come stabilito dalla metodologia per l'analisi dell'IQM (fig. 09)

L'analisi è avvenuta in ambiente Revit, come stabilito dal metodo esposto nel §3.2. Per la validazione del prototipo di procedura sono stati analizzati tre prospetti dell'edificio, quelli direttamente visibili dal vicolo d'accesso e dalla piazzetta laterale. Tutti i prospetti sono caratterizzati da una parziale rispondenza ai parametri IQM portando l'edificio nelle classi mostrate in fig. 10.

Fig. 6 Modello HBIM costruttivo in cui sono stati modellati gli elementi tecnologici che costituiscono la tipologia edilizia.

Fig. 6 Construction HBIM model in which the technological elements that make up the building typology have been modelled.

tor according to the respect of the regola d'arte and the coefficient r that specifies the type of masonry. The procedure also considers the m and g values, which describe the quality and quantity of the mortar. The parameters values for the respect of the regola d'arte are replaced with their corresponding numbers in the IQM calculation tabulated in the component, specifically compiled in a VPL node, updated to the latest regulation. By compiling numerical values in a VPL component, it will always be pos-



5. Conclusioni

La digitalizzazione delle procedure di raccolta e archiviazione dati rende più agevole la gestione e l'accessibilità alle informazioni sul patrimonio; l'automatizzazione del calcolo dell'IQM mostra come velocizzare alcuni processi evitando il possibile accumulo dell'errore umano, tipico dei processi analogici complessi. L'esperto è quindi impegnato solo nelle fasi di valutazione rendendo più efficiente e focalizzato il suo contributo.

La digitalizzazione di strumenti per la valutazione e la tutela del patrimonio costruito abbate i costi e riduce i tempi di applicazione, permettendone l'utilizzo alla scala urbana dei centri storici minori.

La procedura descritta rappresenta una modalità operativa con cui il BHiLab si propone di sviluppare una serie di tools capaci di allargare i confini degli strumenti BIM per abbracciare sempre più le tematiche HBIM.

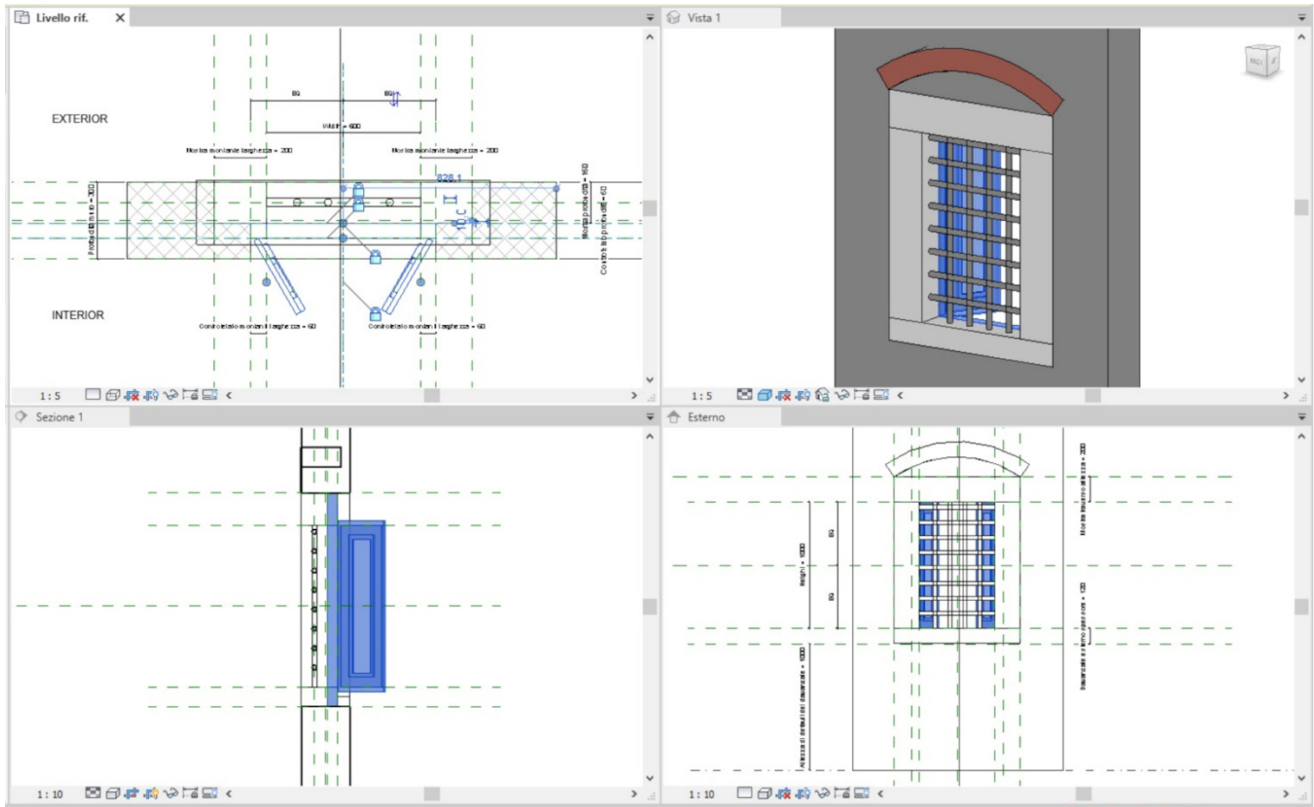
Fig. 7 Indagine a vista degli edifici limitrofi al caso studio rimaneggiati dall'evento sismico.

Fig. 7 Survey on sight of the buildings adjacent to the case study destroyed by the seismic event.

sibile to update it in order to comply with changing regulations. In the second part of the code, the functions for calculating the IQM value for stone and solid brick masonry are introduced. The results are then compared with tables that return the IQM categories (A, B, C), which are also summarised in an updatable component of the code. The process ends with the writing of the returned IQM categories in the appropriate output parameters prepared in the aforementioned BIM template.

3.2 WORKFLOW FOR IQM ENRICHMENT

From the operator's point of view, the digitisation of the IQM procedure for the



Riconoscimenti

La ricerca fa parte del progetto SISMI - Tecnologie per il miglioramento della Sicurezza e la ricostruzione dei centri Storici in area sisMica, finanziato nell'ambito del Distretto Tecnologico per i Beni e le Attività Culturali della Regione Lazio, con il coordinamento di Sapienza - Università di Roma, con la partecipazione del CNR, Roma Torvergata, Roma 3, Università della Tuscia, Università di Cassino e Lazio Meridionale, ENEA, INFN.



Fig. 8 Sviluppo di nuovi oggetti parametrici per la modellizzazione del tessuto storico di Cornillo.

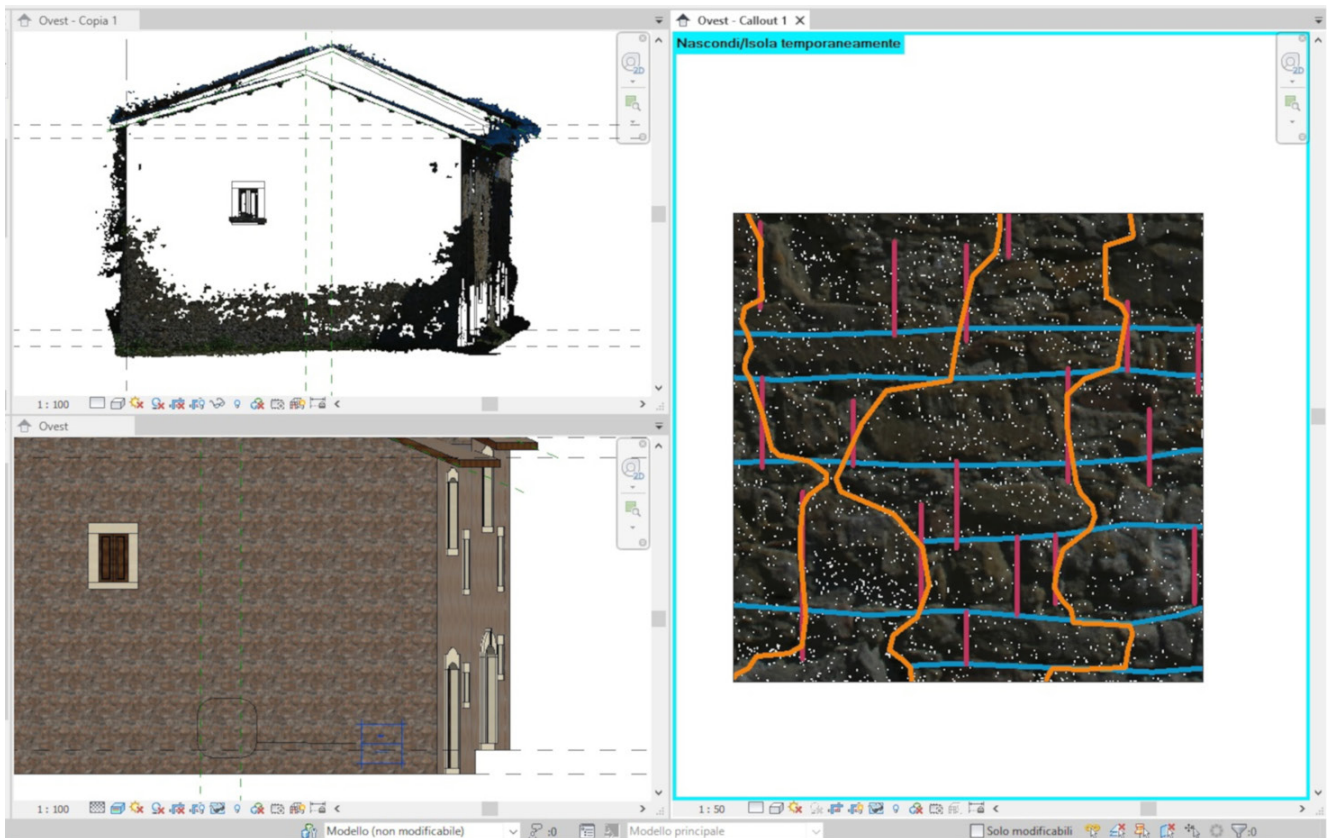
Fig. 8 Development of new parametric objects for the modeling of the historical buildings of Cornillo.

development of a fast-track process in a BIM environment is carried out according to the following workflow:

- 1. Photogrammetric acquisition of the building (or aggregation) to be analysed;*
- 2. Restitution of the point cloud by photo modelling;*
- 3. HBIM modelling from point cloud;*
- 4. Critical evaluation of the compliance of the seven IQM parameters in the BIM environment.*

PHOTOGRAMMETRIC ACQUISITION OF THE BUILDING AGGREGATION TO BE ANALYSED

Digital photogrammetry is the appropriate technique for this process, since it allows a balance between acquisition time and data accuracy, reducing the economic effort typical of



other digital survey techniques (laser scanner) [2]. Moreover, this technique has the great advantage of defining a dataset strongly related to the RGB quality of the resulting point cloud, which is fundamental for the analysis of the masonry wall surfaces and the definition of their correspondence to the regola d'arte.

RESTITUTION OF THE POINT CLOUD BY PHOTO MODELLING

The product obtained from the Structure from Motion process, typical of photomodelling software, is a textured 3D model, therefore capable of conveying the aesthetic value of the building to the model (fig. 4).

This model shows the external characteristics of the wall surfaces, making it possible to evaluate the correspondence of the masonry to the parameters of the regola d'arte. The aesthetic and morphological correspondence of the point cloud to the real building indicate the definition of the outlines of the masonry types to be subsequently modelled in the BIM environment. The whole operation is further facilitated by the possibility of creating, after importing the cloud into the BIM software, two-dimensional views parallel to the plane of the masonry analysed, supporting the graphic analysis for the IQM (fig. 05). This graphic analysis, required by the IQM calculation procedure, is usually performed on paper or with CAD software based on photographs. Within the proposed workflow, they can be performed on a two-dimensional view of

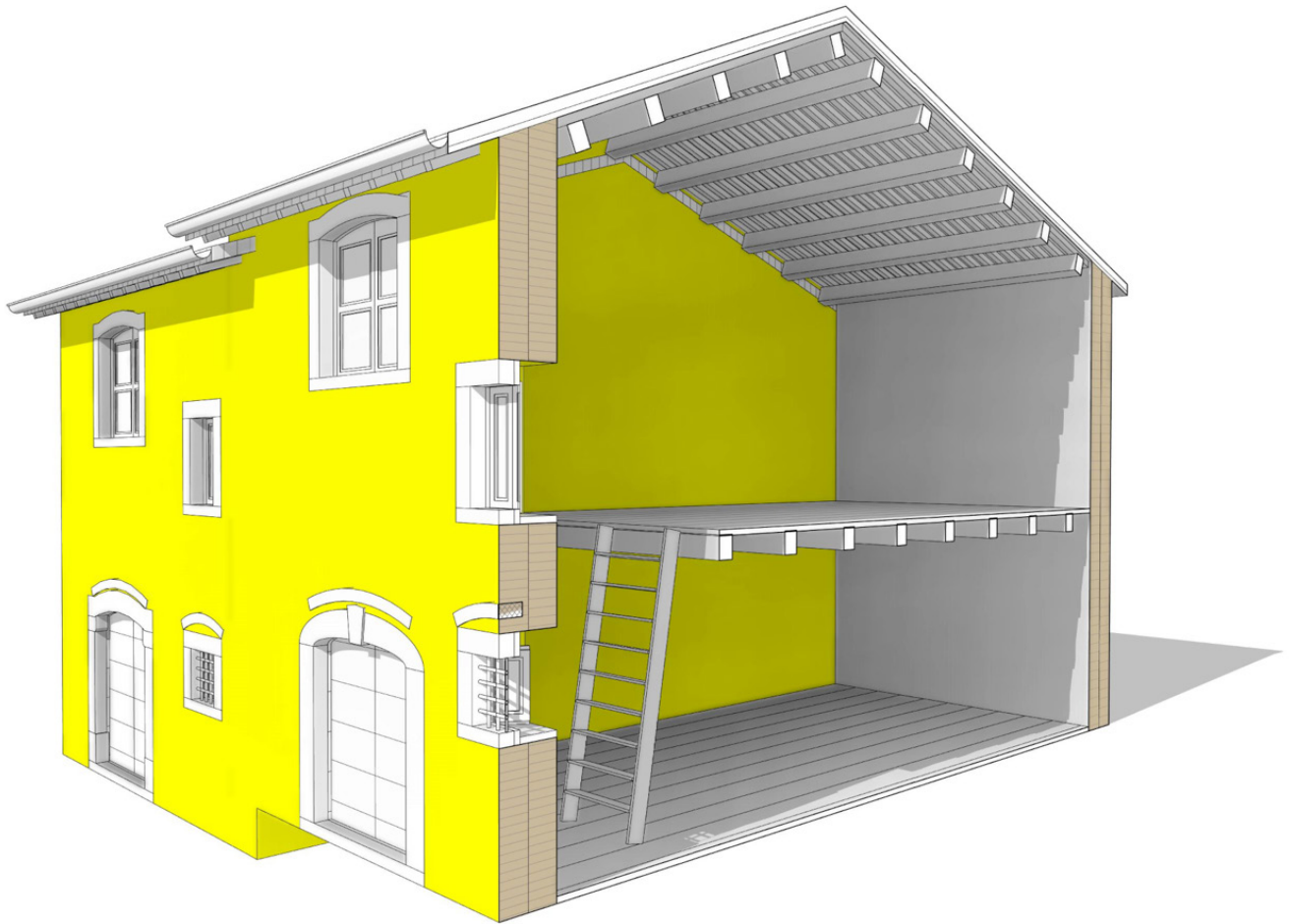
Fig. 9 Associazione tra Famiglie e Items all'interno di un locale.

Fig. 9 Families and Items association inside a Room.

the BIM model, drawing directly on the point cloud or on photographs with the drawing tools provided by the BIM tool, so that all the work is organised in a single centralised software environment.

HBIM MODELLING FROM POINT CLOUD

Once the point cloud is obtained from the photogrammetric survey, a simplified data is introduced into a BIM authoring software for the modelling of the building or the group of buildings according to HBIM procedures. The construction of the model must consider the different masonry types detected during the survey phase, adopting different 3D objects for each type. These objects will behave as placeholders, able to define the geometrical outline of the information linked to the masonry type (fig. 06).



EVALUATION OF THE SEVEN PARAMETERS IN A HBIM ENVIRONMENT

The modelling phase is carried out within the customised BIM template, in which the newly introduced parameters and the new corrective coefficients for calculating the IQM (OR, PD, FEL, SG, DEL, MA, REL, r , m , g) are associated with the wall objects, to be filled in by the operator who performs the analysis. The developed connection between BIM and VPL (§ 2.3) triggers an automated process based on nodal programming that instantly acquires the modelled wall objects and reads the data compiled in the strings of the new parameters.

The same template introduces, among the wall parameters, the indices IQM_v, IQM_{fp}, IQM_{np}, output of the VPL procedure, that automatically fills in the parameters with the output values of the resulting masonry category (A, B, C).

The filters for graphic visibility in the template colour the walls of category A in green, those of category B in yellow and those of category C in red, automatically repeating the operation for the three indices.

4. Experimental results

The procedure was validated on a typical building in Cornillo Nuovo. This building was chosen because it was still

Fig. 10 Visualizzazione del modello 3D in formato .ifc.

Fig. 10 3D model in .ifc format.

intact and possessed the characteristics common to the other hamlets of the Amatrician basin: irregular coursed rubble wall, the re-use of sandstone blocks reddened by fire, brick fragments and yellow ochre mortar with low lime content and poor mechanical quality. In addition, the conditions of damage to the other buildings in the hamlet made it possible to observe the masonry sections, highlighting the construction techniques used and the quality of the masonry components; hence, the characteristics of the mortar and aggregates were surveyed, recording information to evaluate their correspondence to the parameters of the IQM (fig. 07).

The survey was carried out using photogrammetric techniques for the acquisition of the external walls, while the internal spaces were surveyed using direct methods.

The camera used was a Canon EOS 750 D; the shots were taken in converging blocks with a distance between the shooting points sufficient to ensure coverage of approximately 30% between frames and a distance of 1m from the façade of the building. The images were processed by a photomodelling software that returned the point cloud.

The survey datasets were used as the basis for the constructive HBIM model within the template illustrated in §3.1. The Scan to BIM approach was supported by the development of a parametric abacus of typical elements of the Cornillo area, to model other elements of the building (fig. 08).

The graphic analysis for the evaluation of the adherence to the regola dell'arte was performed for each analysed wall on a detail view that represented in real shape a homogeneous portion of 1m x 1m of masonry, as established by the methodology for the IQM analysis (fig. 09).

The analysis took place within the Revit environment, according to the method exposed in §3.2. For the validation of the prototype procedure, three elevations of the building were analysed, those directly visible from the access road and from the side square. All the elevations are characterized by a partial correspondence to the IQM parameters, resulting in the masonry categories shown in Fig. 10. can take place separately from the native software and can also use models in the .IFC format as a basis. With the use of the dRofus software, the database was created with a different setup (fig. 8). Each room in Revit was associated with a Room created in dRofus, and Families and Instances were associated with Items and Occurrences, respectively (fig. 9). The information sheets for each of these elements were enriched with various types of information such as regulatory standards, photographs of inspections, reports on laboratory tests conducted on the building structure, seismic vulnerability reports, data from the building file, user manuals for equipment, and maintenance manuals for the systems.

The work has always involved the use of Revit as the BIM authoring software for obtaining models in the native format. In order to garner more proof of the interoperability of the COBie protocol, a file of the same model in the open .IFC format was used to create the database and the relative associations. The import of this latter model into the two considered disciplines allowed direct geometric visualization within dRofus (fig. 10) and the linking of the elements as it occurs in the native format.

5. Conclusion

The digitisation of data collection and data storage procedures simplifies the management and accessibility

of information on built heritage; the automation of the Index of Masonry Quality calculation with Building Information Modelling and Visual Programming Language shows how to speed up some processes, avoiding the accumulation of human error, typical of these complex procedures. The expert is therefore only engaged in the evaluation phases, making his contribution more efficient and focused.

The digitisation of tools for the assessment and preservation of built heritage lowers costs and reduces application time, allowing them to be used at the urban scale in small historic centres.

The procedure described above represents an approach by which BHiLab aims to develop a series of tools capable of widening the boundaries of BIM tools to increasingly cover HBIM issues.

The study showed that the adoption of a COBie spreadsheet is very laborious, not user-friendly, and that the updating of data is one-sided, i.e. from Revit to Excel. Data management is, therefore, totally dependent on knowledge of the software. On the other hand, the adoption of a specific type of software for FM, such as dRofus, allowed integrated management of the documents related to the internal assets of the building, with the possibility of managing the changes in a bidirectional way between the two pieces of software and guaranteeing the traceability in the time of updating of the parameters. In addition, tagging each BIM element with a QRCode (fig. 11) allowed data to be read on a mobile device. The database, thus, created can be consulted both locally and in the cloud and is accessible to any user, with a much more intuitive interface, especially for those who are unfamiliar with parametric modeling software.

The adoption of FM-BIM-based software is particularly advantageous due to the availability of automatic procedures for the acquisition, modification, and management of data and information associated with an asset, which greatly increases the efficiency of the

management processes of the operation and maintenance phases of a building, especially if it is part of a large building stock of an owning entity.

Acknowledgements

The research is part of the project SISMI - Technologies for the improvement of safety and the reconstruction of historical centres in sysMic areas, financed within the Technological District for Cultural Heritage of Lazio Region, coordinated by Sapienza - University of Rome, with the participation of CNR, Roma Torvergata, Roma 3, University of Tuscia, University of Cassino and Lazio Meridionale, ENEA, INFN.



Bibliografia / References

- [1] Sofia Antonopoulou and Paul Bryan. 2017. *BIM for heritage: developing a historic building information model*. HISTORIC ENGLAND, Swindon.
- [2] Carlo Bianchini, Luca J. Senatore, and Lorenza Cateana. 2019. *The Democratization of Processes and the Use of Remotely Guided Acquisition Tools for Survey 2.0*. *disegno 4* (June 2019), 67–78. DOI:<https://doi.org/10.26375/diseño.4.2019.08>
- [3] Antonio Borri, Giovanni Cangì, Chiara Donà, and Alessandro De Maria. 2011. *Metodi qualitativi per la valutazione della qualità muraria*. In *Manuale delle murature storiche*. DEI Tipografia del Genio Civile, Roma, 237–294.
- [4] Antonio Borri and Alessandro De Maria. 2009. *Allegato 1 - Linee guida per la compilazione della scheda IQM*. Retrieved from http://www.reluis.it/images/stories/divulgazione/WP1_1-1_2015UNIPG_IQM_Allegati%20.pdf
- [5] Antonio Borri and Alessandro De Maria. 2019. *Il metodo IQM per la stima delle caratteristiche meccaniche delle murature: allineamento alla circolare n. 7/2019*. In *XVII Convegno ANIDIS L'ingegneria sismica in Italia*, ANIDIS, Ascoli Piceno, 19.
- [6] Stefano Brusaporci, Pamela Maiezza, and Alessandra Tata. 2018. *A Framework For Architectural Heritage Hbim Semantization And Development*. *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XLII-2*, (May 2018), 179–184. DOI:<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-179-2018>
- [7] Michele Calvano. 2019. *Disegno digitale esplicito. Rappresentazioni responsive dell'architettura e della città*. Aracne Editrice, Roma.
- [8] Michele Calvano, Tommaso Empler, and Adriana Caldarone. 2018. *Procedura ARIM per la prevenzione dei rischi nel costruito storico*. In *Rappresentazione/Materiale/Immateriale. Drawing as (In) Tangible Representation*, Gangemi editore international, Roma, 1497–1504.
- [9] Elena Gigliarelli, Filippo Calcerano, and Luciano Cesari. 2016. *Implementation Analysis and Design for Energy Efficient Intervention on Heritage Buildings*. In *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection (Lecture Notes in Computer Science)*, Springer International Publishing, 91–103. DOI:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-48496-9>
- [11] Francesca Guadagnoli and Michele Calvano. 2016. *Ricostruzione 3D della città di Amatrice. Una operazione di 'instant modeling'*. *DISEGNARE CON 9*, (2016).
- [12] ISTAT. 2015. *Paesaggio e patrimonio culturale*.
- [13] National Institute of Building Sciences. 2007. *National BIM Standard*.
- [14] Danae Phaedra Pocobelli, Jan Boehm, Paul Bryan, James Still, and Josep Grau-Bové. 2018. *BIM for heritage science: a review*. *Herit. Sci.* 6, 1 (December 2018), 30. DOI:<https://doi.org/10.1186/s40494-018-0191-4>
- [15] UNI EN 17412. 2020. *Building Information Modelling. Level of Information Need. Concepts and principles*.
- [16] Rebekka Volk, Julian Stengel, and Frank Schultmann. 2014. *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs*. *Autom. Constr.* 38, (March 2014), 109–127. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- [17] 2018. *NTC 2018 - Norme Tecniche per le costruzioni*.