

Fulvio Re Cecconi^a, Nicola Moretti^a, Sebastiano Maltese^b, Mario Claudio Dejaco^a, John M. Kamara^c, Oliver Heidrich^c,

^aDipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

^bInstitute for Applied Sustainability to the Built Environment, University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, Svizzera

^cNewcastle University, School of Architecture, Planning and Landscape and School of Engineering, Newcastle upon Tyne, Regno Unito

fulvio.receconi@polimi.it

nicola.moretti@polimi.it

sebastiano.maltese@sups.ch

mario.dejaco@polimi.it

john.kamara@ncl.ac.uk

oliver.heidrich@ncl.ac.uk

Abstract. Misurare e valutare la resilienza degli immobili è un fattore chiave per la gestione degli asset e dei portafogli. L'articolo presenta un rating system per la valutazione della resilienza degli edifici, che utilizza un approccio basato sul Building Information Modelling. La valutazione viene effettuata attraverso un calcolo basato sulla metodologia Analytical Hierarchy Process. Il rating system può essere applicato a diversi tipi di edifici, senza perdere precisione o affidabilità. Esso è parte integrante di una gamma più completa di metodologie per l'ottenimento di Key Performance Indicators per la gestione di asset e portafogli. Lo strumento proposto può quindi influenzare significativamente le scelte strategiche di investimento di progettisti, ingegneri e proprietari di edifici.

Parole chiave: asset management, BIM, resilienza degli edifici, resilience rating systems.

Introduzione

La misurazione della resilienza è fondamentale per la gestione del patrimonio immobiliare. Essa contribuisce alla mitigazione del rischio di deprezzamento, incrementa la conoscenza alla base degli investimenti e riduce i costi operativi (Cambridge Institute for Sustainable Leadership, 2011). La presente ricerca riguarda: la caratterizzazione della resilienza a livello dell'edificio; la definizione di indicatori di prestazione e la valutazione della capacità di un edificio di rispondere a cambiamenti specifici (ad esempio, cambiamento d'uso). Per fare ciò è stato sviluppato un sistema di valutazione basato su 37 parametri raccolti in 5 categorie. Il rating dell'edificio indica la sua capacità di adattarsi ai cambiamenti economici, fisici e sociali, per mantenere le prestazioni complessive. Il rating system è stato sviluppato grazie all'utilizzo dell'approccio Building Information Modelling (BIM), un pro-

A rating system for building resilience

Abstract. Measuring and rating resilience of assets is a key enabler for asset and portfolio management. This paper presents a resilience rating system for buildings by utilising a Building Information Modelling approach. The assessment is carried out through a calculation following the Analytical Hierarchy Process. This methodology can be applied to different types of buildings, without a loss of precision or reliability. This resilience rating forms an integral part of more comprehensive array of Key Performance Indicators frameworks for asset and portfolio management, and therefore can significantly influence strategic investment choices for designers, engineers and building owners.

Keywords: asset management, BIM, building resilience, resilience rating systems.

cesso digitale di gestione dei flussi informativi che coinvolge diversi stakeholder, software e procedure (BSI, 2014). I risultati possono essere aggregati, fornendo un utile strumento decisionale per la gestione dei portafogli immobiliari.

La rassegna bibliografica è seguita dalla descrizione della metodologia proposta e dalla sua applicazione ad un edificio situato a Como (Italia). L'articolo si conclude con alcune considerazioni sul processo di valutazione adottato, sui limiti, le implicazioni e le raccomandazioni per gli sviluppi futuri della ricerca.

Rassegna bibliografica

La ricerca sulla resilienza nella gestione del costruito è relativamente recente, ma sta guadagnando slancio (Hassler e Kohler, 2014). La resilienza è generalmente legata alla capacità di ricostruzione continua di un sistema (Hamel e Välikangas, 2003), e spesso focalizzata nell'ambito della pianificazione urbana (Sharifi e Yamagata, 2014; The Rockefeller Foundation e ARUP, 2014; Hung et al., 2016). Inoltre, essa è spesso legata al processo decisionale politico e a una serie di strategie e azioni che le città devono intraprendere a seguito di cambiamenti traumatici catastrofici (Reckien et al., 2015; 100 città resilienti, 2017; Oladokun, Proverbi e Lamond, 2017).

Quando la scala è quella dell'edificio, la resilienza è spesso associata a tradizionali aree di ricerca come la flessibilità dello spazio e/o l'adattabilità (Davison et al., 2006; Beadle et al., 2008; Schmidt

Introduction

Measurement of resilience is a key issue for real estate asset management. It contributes to depreciation risk mitigation, increases the knowledge base for investment decisions, and reduces the costs of operations (Cambridge Institute for Sustainable Leadership, 2011). This research addresses the: characterisation of resilience at the building level; definition of performance indicators affecting building resilience; and the assessment of a building's ability to respond to changes requiring modifications in demand for specific needs (e.g. change of use). Accordingly, a resilience rating system, based on 37 parameters in 5 categories, was developed. The rating of the building indicates the ability to adapt its functions to economic, physical and social changes, to maintain its overall performance. The whole rating process is enabled by

the use of a Building Information Modelling (BIM) approach, a digital process for managing information flows, involving different stakeholders, software and procedures in the management of the built environment (BSI, 2014). Results can be aggregated, providing a useful tool for making informed portfolio management decisions.

The literature review is followed by a description of the proposed methodology and its testing on an existing office building located in Como (Italy). The paper concludes with some considerations on the adopted rating process, limitations, implications and recommendations for future research.

Literature review

Resilience research in the management of the built environment is relatively recent, but is gaining momentum (Hassler and Kohler, 2014). Resilience

Tab. 1 - Caratterizzazione della resilienza nei riferimenti internazionali che affrontano il problema della misurazione
Characterisation of resilience in international references addressing the measurement issue

| Author | Level | Objective | Keywords |
|---|------------------|---|--|
| The Rockefeller Foundation and ARUP, (2014) | City | City Resilience Index as the outcome of a City Resilience Framework. Comprises 4 categories, 12 goals, 52 indicators, 156 variables. | Reflective, robust, redundant, flexible, resourceful, inclusive, integrated. |
| Zhao, Liu and Zhuo (2017) | Infrastructures | Use of Non-homogeneous Hidden Markov Models for computation of resilience; applied to water supply system in Shanghai City. | Absorptive capacity, Adaptive capacity, Recovery capacity |
| Wholey (2015) | Building | Identifies potential costs/benefits of designing for resilience; methodology applied to office and H&C buildings. | Adaptability, redundancy, diversity, design for resiliency, traumatic changes |
| Burroughs (2017) | Building | Defines a rating system based on 6 resilience dimensions, for commercial building and owners. | Physical, Infrastructural, Environmental, Economic-Social, Political-regulatory, Organisational (building owner) |
| Francis and Bekera (2014) | Building systems | Proposes a quantitative model for measuring resilience of systems, based on adaptive, absorptive, and restorative capacities, & speed recovery. | Adaptive capacity, Absorptive capacity, Restorative capacity, speed recovery |

III et al., 2010); ma l'obiettivo di questa ricerca è l'identificazione di un insieme completo di caratteristiche che miglioreranno la resilienza degli edifici.

The Resilient Urban Ecosystem Network (Resilient Urban Ecosystem Network, 2016), The Stockholm Resilience Centre (SRC, 2014), 100 Resilient Cities, (100 Resilient Cities, 2017), the Building Resiliency Taskforce (NYC Building Resiliency Task Force, 2013) e il progetto "Enhancing resilience of critical road infrastructure: bridges under natural hazards" (Setunge et al., 2015) sono esempi di ricerca accademica e industriale sulla resilienza. Tuttavia, poche ricerche hanno affrontato il problema della resilienza nell'ambito di cambiamenti lenti quali, ad esempio, i mutamenti dei trend economici, dell'uso degli edifici e dei testi normativi (Heidrich et al., 2017).

Sebbene a livello urbano e infrastrutturale siano stati sviluppati diversi sistemi di valutazione (Sharifi e Yamagata, 2014; Fondazione Rockefeller e ARUP, 2014; 100 Città resilienti, 2017), poco si sa sui criteri di progettazione e gestione della resilienza a livello edilizio (McAllister 2013). Inoltre, gli attuali rating system come LEED, BREEAM, DGNB non integrano adeguatamente la resi-

is generally related to the capacity of an urban system to continuous reconstruction (Hamel and Välikangas, 2003) and is mainly related to the planning discipline (Sharifi and Yamagata, 2014; The Rockefeller Foundation and ARUP, 2014; Hung et al., 2016). It is often linked with policy-making, and a variety of strategies and actions to be undertaken by city councils after catastrophic traumatic changes (Reckien et al., 2015; 100 Resilient Cities, 2017; Oladokun, Proverbs and Lamond, 2017). Resilience is frequently associated with space flexibility and/or adaptability of buildings, which are longstanding research areas (Davison et al., 2006; Beadle et al., 2008; Schmidt III et al., 2010); but the focus here is to identify a comprehensive set of characteristics that will enhance building resilience. Examples of academic and industry research on resilience include: The

Resilient Urban Ecosystem Network (Resilient Urban Ecosystem Network, 2016), The Stockholm Resilience Centre (SRC, 2014), 100 Resilient Cities, (100 Resilient Cities, 2017), the Building Resiliency Taskforce (NYC Building Resiliency Task Force, 2013) and the "Enhancing resilience of critical road infrastructure: bridges under natural hazards" project (Setunge et al., 2015). However, few researches have addressed the issues of resilience due to slower changes, e.g. in economic trends, use of buildings, and regulatory updates (Heidrich et al., 2017). Although at the urban and infrastructural level different assessment frameworks for resilience can be found in literature (Sharifi and Yamagata, 2014; The Rockefeller Foundation and ARUP, 2014; 100 Resilient Cities, 2017), little is known on resilience design and management criteria at the building level

lienza nei protocolli (Champagne e Aktas, 2016; Marjaba e Chidiac, 2016). La Tab. 1 presenta degli esempi di caratterizzazione e misurazione della resilienza.

In conclusione, vi sono ancora numerose domande senza risposta riguardanti, ad esempio, la necessità di disporre di sistemi di gestione per far fronte ad aspetti materiali e immateriali dell'ambiente costruito; il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità e lo sviluppo di indicatori per quantificare la resilienza degli edifici.

Sviluppo del rating system

Lo sviluppo della ricerca è illustrato in (Fig. 1). Nella Fase 1 (strategy) vengono definiti i confini della resilienza a livello di edificio. La resilienza è qui definita come la capacità dell'edificio di adattare la sua funzionalità ai profondi e lenti cambiamenti del contesto economico, fisico e sociale, al fine di ripristinare le prestazioni complessive. A tal proposito, sono stati definiti 37 parametri organizzati in 5 categorie (Economic, Fabric, Service, Spaces, Users e Context). I parametri sono collegati a specifiche entità (Site, Building, Rooms e Components). La Tab. 2 presenta un'esemplificazione di tale processo. I parametri vengono quindi

(McAllister 2013). Moreover, current sustainability rating systems, such as LEED, BREEAM, DGNB do not adequately integrate resilience in the protocols (Champagne and Aktas, 2016; Marjaba and Chidiac, 2016). Table 1 shows examples of building resilience characterisation and defined metrics. A conclusion of this review is that there are still unanswered questions. For example, the need for: integrated management systems to cope with material and immaterial aspects of the built environment; achieve sustainability objectives; and the development of indicators to quantify the resilience of buildings.

Development of the rating system

The development of the research is shown in (Fig. 1). Step 1 (strategy) concerns the definition of the boundaries of resilience at the building level. Re-

silience is defined here as the ability of the building to adapt its functionality to slow deep changes on the economic, physical and social context, in order to restore its overall performances. 37 parameters, in 5 categories (Economic, Fabric, Service, Spaces, Users and context) were defined. Parameters are linked to a specific entity (Site, Building, Rooms and Components). (Table 2) presents an extraction of the above mentioned process. After this, parameters to convert resilience characteristics into a streamlined BIM assessment methodology are identified. Information requirements are defined to be as comprehensive as possible, in the assessment process. Step 1 is a non-recursive process, since once the information requirements are defined, they are collected in a BIM resilience template to be exploited in the following stages. In Step 2 (modelling), a



Tab. 2 - Matrice di valutazione della resilienza
Resilience assessment matrix

| Object connected | Parameter | Category | Score |
|------------------|---|-------------------|---------|
| Building | Simple plan (large / open spaces, max partition plan, etc.) | Spaces | Boolean |
| Rooms | Movable furniture / equipment | Spaces | Boolean |
| Components | Glazing / Shading (windows and spaces has shading devices) | Users and context | Boolean |
| Site | Public transports proximity | Users and context | 1-5 |

computati tramite una metodologia di valutazione BIM semplificata.

I requisiti informativi sono stati definiti per essere il più completi possibili. La fase 1 è un processo non ricorsivo, poiché una volta definiti i requisiti informativi, questi sono raccolti in un modello BIM da utilizzare nelle fasi successive. Nella fase 2 (modellazione), viene sviluppato un modello dell'edificio con un elevato livello di informazioni (LOI) e un basso livello di dettaglio (LOD) (Kell e Mordue, 2015). Ciò consente di identificare

model of the building with a high Level of Information (LOI) and a low Level of Detail (LOD) is developed (Kell and Mordue, 2015). This allows specific values of the parameters (linked to the site, building, room or components) representing resilience attributes, to be identified. These values are collected in the BIM model for calculating the resilience rating through a semi-automated process. The resilience rating is calculated using the Analytical Hierarchy Process (AHP), which allows pair-wise comparisons of the relative importance of different alternatives. The resilience rating can also be calculated at the portfolio level, through the reiteration of step 2. Effective strategies for portfolio management (Step 3) can be setup using aggregated information on assets. The inclusion of resilience rating metrics in a wider KPIs system, representing several issues of assets (technical,

functional, energy, sustainability, resilience, etc.), allows for informed decisions at the portfolio level (Step 4).

Calculation method

According to (Fig. 1), step 2 (modelling) is explained in detail in this paragraph and validated in the following one. The final rating is obtained through a defined sequence of calculations using the AHP (Saaty, 1980). As described in (Table 2), criteria are organised in five categories. Equation (1) is used to calculate the final resilience score at the building level.

$$R = \sum_{i=1}^5 R_i * W_i \quad (1)$$

where:

R = resilience score of the building;
 R_i = values of the 5 resilience categories (Economic, Fabric, Service, Space, Users and context);
 W_i = weights related to each resilience

category stated above. and
 $R_i = \frac{R_{is} + R_{ib} + R_{ir} + R_{ic}}{4} \quad (2)$
 where:
 R_{is} ; R_{ib} ; R_{ir} and R_{ic} are respectively mean resilience values for criterion i calculated for BIM object "Site" ($s - 2$ parameters); "Building" ($b - 8$ parameters), "Room" ($r - 9$ parameters) and "Component" ($c - 18$ parameters). Equations (3), (4), (5) and (6) demonstrate how to calculate them.
 $R_{is} = \frac{P_{is1} + P_{is2}}{2} \quad (3)$
 $R_{ib} = \frac{\sum_{j=1}^8 P_{ibj}}{8} \quad (4)$
 $R_{ir} = \frac{\sum_{j=1}^9 P_{irj}}{9} \quad (5)$
 $R_{ic} = \frac{\sum_{j=1}^{18} P_{icj}}{18} \quad (6)$
 All P_i values range between 0 and 1.

Metodo di calcolo

Una descrizione dettagliata della fase 2 (modellazione) in (Fig. 1) è presentata in questo paragrafo mentre in quello successivo è illustrato il caso di studio utilizzato per validare il metodo. Il rating finale è ottenuto attraverso una sequenza definita di calcoli basati sull'approccio AHP (Saaty, 1980). Come descritto nella (Tab. 2), i criteri sono organizzati in cinque categorie. L'equazio-

BIM entities Site and Building have direct resilience attributes, created in the model, related to them, therefore, equations (3) and (4) are sufficient to achieve the average value of the parameters. Rooms and Components, conversely, are present as multiple entities in a building. Therefore, it is necessary to adopt a further calculation level for the computation of parameters P_{ij} and P_{ij} :

$$P_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^k P_{irjl}}{k} \quad (7)$$

$$P_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^e P_{icjl}}{e} \quad (8)$$

Where coefficients k and e are respectively numbers of rooms and number of components in the building on which the resilience assessment is carried out.

To compute building resilience Eq. (1), it is necessary to define the criticality-

ne (1) è utilizzata per calcolare il punteggio finale di resilienza a livello dell'edificio.

$$R = \sum_{i=1}^5 R_i * W_i \quad (1)$$

dove:

R = punteggio di resilienza dell'edificio;

R_i = valori delle 5 categorie di resilienza (Economic, Fabric, Service, Space, Users and context);

W_i = pesi relativi a ciascuna delle 5 categorie.

e

$$R_i = \frac{R_{is} + R_{ib} + R_{ir} + R_{ic}}{4} \quad (2)$$

dove:

R_{is} , R_{ib} , R_{ir} e R_{ic} sono rispettivamente valori di resilienza media per il criterio i , calcolato per l'oggetto BIM "Site" (s - 2 parametri); "Building" (b - 8 parametri), "Room" (r - 9 parametri) e "Component" (c - 18 parametri). Le equazioni (3), (4), (5) e (6) mostrano come calcolarli.

$$R_{is} = \frac{P_{is1} + P_{is2}}{2} \quad (3)$$

$$R_{ib} = \frac{\sum_{j=1}^8 P_{ibj}}{8} \quad (4)$$

$$R_{ir} = \frac{\sum_{j=1}^9 P_{irj}}{9} \quad (5)$$

$$R_{ic} = \frac{\sum_{j=1}^{18} P_{icj}}{18} \quad (6)$$

I differenti P_i hanno valori compresi tra 0 e 1. Le entità Site and Building sono oggetti unici nel modello BIM e hanno propri attributi di resilienza, pertanto le equazioni (3) e (4) sono sufficienti a calcolare il valore medio dei parametri. Le stanze (*Rooms*) e i

related weights W_i . They have been assessed using the Delphi method among a panel of experts comprising owners, asset managers and facility managers who were asked to fill a pair-wise comparison form. Weights were computed using Saaty, (1980) methodology. Table 3 summarises the computed weights, derived from a pairwise matrix with a Consistency Index (CI) equal to 0,097.

Application of rating system

The assessment objectives to be achieved need to be defined and measured against Key Performance Indicators (KPIs) (Won and Lee, 2016). Implementation requires data from multiple sources to be collected, organised and stored in a digital model. All captured datasets are linked to Asset Information Model (AIM) objects through specific attributes and are filled out during the assessment process (Al-

reshidi, Mourshed and Rezgui, 2017). The definition of information requirements (Cavka, Staub-French and Poirier, 2017) starts in the early phase of projects, during the assessment of specific topics (e.g. energy) (Kang and Choi, 2013; Arayici et al., 2017; Rodriguez-Trejo et al., 2017), and in the creation of Property Sets for the interoperable IFC (Industry Foundation Classes) protocol (BuildingSMART, 2016). Nevertheless, resiliency characteristics have never been systematically included into the panels of IFC attributes to be implemented into a model.

To validate the proposed approach, a demonstration on an office building in Como province (Italy) was carried out. The building, built in 2007, is currently occupied by a construction company and a notary firm. It consists of one underground and three storeys above ground (around 1'000 m² of gross sur-

face per storey). In (Fig. 2) the BIM model of the case study is presented. The BIM model was created using as-built 2D drawings following the information requirements analysis: the objective was to create a low LOD and high LOI model related to building resilience. All spaces, main architectural and structural components were modelled, while MEP components were not analysed (although considered in the overall metric).

$$P_{irj} = \frac{\sum_{l=1}^k P_{irjl}}{k} \quad (7)$$

$$P_{icj} = \frac{\sum_{l=1}^e P_{icjl}}{e} \quad (8)$$

Dove i coefficienti k ed e sono rispettivamente il numero di stanze e il numero di componenti dell'edificio valutato.

Per calcolare la resilienza degli edifici Eq. (1), è necessario definire i pesi W_i . Essi sono stati messi a punto con il metodo Delphi, intervistando un campione di esperti (proprietari, asset e facility manager) a cui è stato chiesto di compilare un questionario di confronto a coppie. I pesi sono stati calcolati utilizzando la metodologia presentata in Saaty, (1980). La Tab. 3 riassume i pesi, derivati da una matrice con un indice di coerenza (CI) pari a 0,097.

Applicazione del rating system

Gli obiettivi di ogni valutazione (assessment) devono essere definiti e misurati tramite Key Performance Indicator (KPI) (Won e Lee, 2016). L'implementazione proposta richiede che i dati siano raccolti, organizzati e archiviati in un modello digitale. Tutti i set di dati acquisiti devono essere collegati agli oggetti nell'Asset Information Model (AIM), tramite attributi specifici, compilati durante la valutazione. (Alreshidi, Mourshed e Rezgui, 2017).

La definizione dei requisiti informativi (Cavka, Staub-French e Poirier, 2017) inizia sin dalle prime fasi del progetto, durante l'analisi di specifici temi (ad esempio l'energia) (Kang e Choi, 2013;

into smaller spaces or with different shapes) can be summarised into colour schemes. The attribute filling process can have both visual output (Fig. 3, left) and numerical values (Fig. 3, right): attributes values can have a scale from 1 (bad) to 5 (good) or they can be Boolean (0-1); the final assessment is provided as a percentage.

The rating at site and building level was calculated according to eq. (3) and (4) and the result is respectively 50% for the site and 66% for the building. Spaces required an additional calculation, at the room level with eq. (5) (each room has a rating) to get the overall rooms rating with eq. (7). The result for the rooms is 49%. No calculation was performed for elements (fabric and MEP) for this case study.

The results of this assessment, though partial, show potential and criticalities of the building: great flexibility of

Tab. 3 - Pesi associati alle 5 categorie di resilienza
Weights associates to the 5 resilience categories

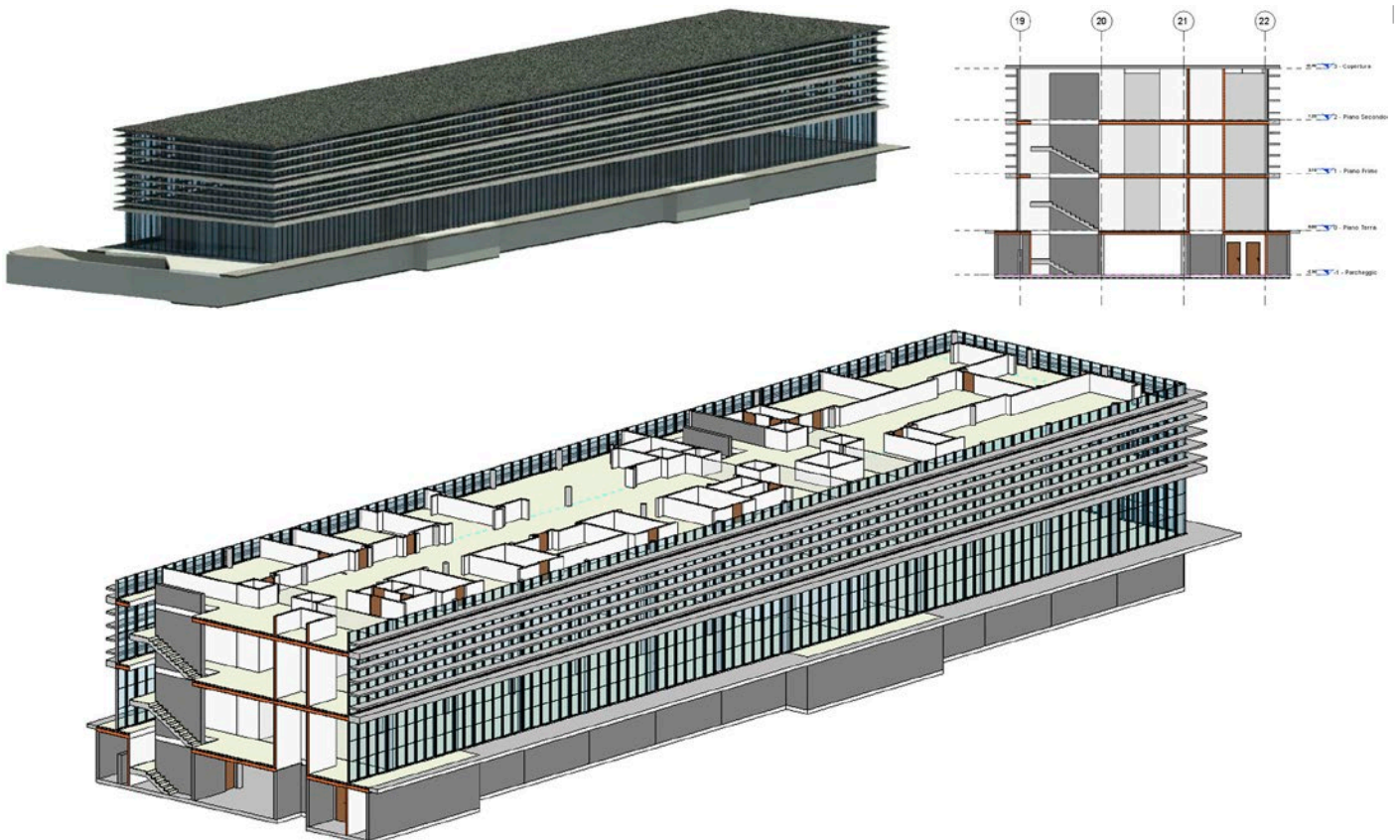
| Category | Value |
|-------------------|--------|
| Economy | 26,27% |
| Fabric | 7,61% |
| Services | 12,26% |
| Spaces | 48,99% |
| Users and context | 4,87% |

Arayici et al., 2017; Rodriguez-Trejo et al., 2017), e continua con la creazione di Property Sets per il formato di scambio interoperabile IFC (Industry Foundation Classes) (BuildingSMART, 2016). Tuttavia, si sottolinea che gli attributi di resilienza non sono mai stati standardizzati in IFC.

Per validare l'approccio proposto, è stato condotto uno studio su un edificio per uffici in provincia di Como (Italia). L'edificio, costruito nel 2007, è attualmente occupato da una società di costruzioni e da uno studio notarile. È composto da un interrato e da tre piani fuori terra (circa 1.000 m² di superficie lorda per ciascun piano). In Fig. 2 si riporta il modello BIM del caso di studio. Il modello BIM è stato creato utilizzando disegni 2D as-built seguendo l'analisi dei requisiti informativi: l'obiettivo un modello a basso LOD e ad alto LOI. Tutti gli spazi, i principali componenti architettonici e strutturali sono stati modellati, mentre non tutti i componenti MEP sono stati analizzati (anche se considerati nella metrica generale).

Poiché il modello è stato creato a partire dal template contenente tutte le informazioni richieste per la misurazione della resilienza, è possibile compilare tutti gli attributi relativi al sito (*Site*), all'edificio (*Building*) e ai locali (*Rooms*). Il modello BIM permette inoltre di evidenziare i criteri relativi agli spazi (*Spaces*). Le *buffer zones* (aree che permettono di distribuire le funzioni e di rispondere alle esigenze future) e i *partitionable space* (aree che possono essere suddivise in spazi più piccoli o con forme diverse) vengono evidenziati in schemi cromatici. Gli attributi possono essere rappresentati sia visivamente (Fig. 3, sinistra) che numericamente (Fig. 3, destra): i valori degli attributi possono assumere valori da 1 (insufficiente) a 5 (ottimo) oppure booleani (0-1). La valutazione finale è espressa in percentuale.

La valutazione per le entità *Site* e *Building* è stata effettuata in base alle eq. (3) e (4) e il risultato è pari rispettivamente al 50% e al 66%. Gli spazi (*Spaces*) richiedono un calcolo aggiuntivo a livello di stanze (*Rooms*) ogni stanza viene valutata usando l'eq.



(5)) al fine di ottenere la valutazione complessiva con l'eq. (7). Il risultato per le *rooms* è del 49%. Non è stato effettuato alcun calcolo per i *components* per questo caso studio.

I risultati di questa valutazione, anche se parziali, mostrano potenzialità e criticità dell'edificio: grande flessibilità del layout interno, molteplici funzioni e una griglia strutturale molto semplice sono punti di forza, mentre sarebbe difficile cambiare la funzione principale (ufficio), a causa della scarsa flessibilità della facciata. La modellazione BIM ha richiesto 8 ore di tempo di modellazione e 4 ore per la valutazione, quindi lo sforzo è paragonabile ad un processo di valutazione BIM tipico. Il modello BIM, insieme agli attributi specificamente dedicati alla resilienza degli edifici, ha contribuito ad evidenziare il potenziale dell'edificio in termini di future modifiche.

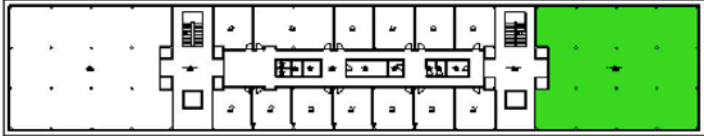

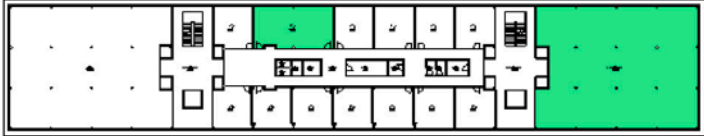

Discussione e conclusioni La misurazione della resilienza degli edifici è un fattore chiave per l'asset e portfolio management. Essa permette di mitigare il rischio di deprezzamento dei beni, fornendo un utile strumento decisionale per investimenti/disinvestimenti e influenzando positivamente i costi operativi e di miglioramento della qualità.

Nonostante sia stata svolta un'ampia ricerca bibliografica sulla resilienza degli edifici e sui temi correlati, per motivi di spazio si è qui posta l'attenzione solo sul sistema di valutazione della resilienza degli edifici e sulla sua applicazione al caso studio.

La valutazione della resilienza proposta si focalizza su cambiamenti lenti ma profondi che incidono sul patrimonio immobiliare in una prospettiva multidisciplinare, essa, anche quando applicata a diversi tipi di edifici, mantiene l'affidabilità del risultato. La metodologia proposta permette la valutazione della resilienza con un approccio qualitativo basato su 37 parametri suddivisi in 5 categorie. Il rating di resilienza finale, calcolato utilizzando l'eq. (1) e il processo AHP, pondera i punteggi delle diverse categorie di resilienza. I pesi sono ottenuti intervistando un gruppo di esperti con il metodo Delphi e possono variare a seconda della composizione di tali esperti.

L'applicazione del sistema su un edificio per uffici della provincia di Como (Italia), ha dimostrato la solidità del metodo e dell'approccio proposti, nonostante il parziale sviluppo del caso studio. L'integrazione in un modello di asset digitale permette l'uso della metodologia in un processo BIM. Sebbene essa sfrutti gli strumenti digitali e il processo BIM, sono necessari ulteriori perfe-

03 |

| | | | |
|----------------------------|---|-----------------------------|---|
| Buffer zones |  | Site | |
| |  | Public transport proximity | 3 |
| Partitionable space |  | Neighbourhood and amenities | 3 |
| |  | Building | |
| | | Collapsible/expandable | 1 |
| | | Modularity | 5 |
| | | Cores at perimeter | ✓ |
| | | Simple plan | 5 |
| | | Multi-functionality | 4 |
| | Variation planned | 1 | |
| | Simple skin | 2 | |
| | Overdesign/redundancy | ✓ | |

zionamenti per raggiungere un maggior livello di automazione. A tal fine, è possibile sfruttare strumenti Web usando modelli HTML. Concludendo, il sistema di rating proposto risponde all'esigenza di mettere a punto metriche per valutare la resilienza degli edifici, utilizzando strumenti e tecniche digitali. Per affrontare specifiche tipologie di edifici, il sistema può essere esteso, aggiungendo parametri *ad hoc* e modificando i pesi.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano esprimere la loro più profonda gratitudine a Giuseppe Rigamonti per il suo grande sostegno alla ricerca.

REFERENCES

100 Resilient Cities (2017), "Cities Taking Action. How the 100RC Network is building urban resilience", (accessed 15 October 2017).

Alreshidi, E., Mourshed, M. and Rezgui, Y. (2017), "Factors for effective BIM governance", *Journal of Building Engineering*, Vol. 10 (February), pp. 89-101.

Arayici, Y., Fernando, T., Munoz, V. and Bassanino, M. (2017), "Interoperability specification development for integrated BIM use in performance based design", *Automation in Construction*, Vol. 85 (November 2017), pp. 167-181.

Beadle, K., Gibb, A., Austin, S., Madden, P. and Fuster, A. (2008), "Adaptable Futures: Setting the Agenda", *Proceedings of the 1st I3CON International Conference*, Loughborough, UK, Loughborough University, p. 13.

BSI (2014), "PAS 1192-3:2014. Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling", (accessed 20 October 2017).

BuildingSMART (2016), "Industry Foundation Classes. IFC4 Official Release", available at: <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/> (accessed 21 November 2017).

the internal layout, multiple functions and a very simple structural grid are strength points, while it would be difficult to change main function (office), due to the low flexibility of the façade. The BIM model required 8 hours of modelling time and additional 4 hours for the assessment, so the effort is comparable with a traditional assessment process with BIM models. The BIM model, together with the attributes specifically dedicated to building resilience, really helped in highlighting building's potential in terms of future lifecycle modifications.

Discussion and conclusions

Measurement of resilience of buildings is a key enabler for asset and portfolio management. It allows the mitigation of the risk of assets' depreciation, while providing a useful tool for making informed decisions on investment/disin-

vestment, therefore can have a positive impact on operations and quality improvement costs.

Extensive literature on building resilience and related topics (e.g. flexibility, adaptability) was reviewed. However, due to space constraints, focus was on the building resilience rating system and its application to the case study. The proposed resilience rating focuses on slow but deep changes affecting the building stock from a multidisciplinary perspective. It can also be applied to different types of buildings without loss of precision and reliability of the calculation process. The proposed methodology allows the resilience rating to be assessed using a qualitative approach based on 37 parameters, organised in 5 categories. The final resilience rating, computed using eq. (1) and the AHP process, allows the weighting of scores related to different resilience cat-

Burroughs, S. (2017), "Development of a Tool for Assessing Commercial Building Resilience", *Procedia Engineering. Elsevier B.V.*, Vol. 180, pp. 1034-1043.

Cambridge Institute for Sustainable Leadership (2011), "Investing for Resilience", *Climate Wise*, (accessed 15 October 2017).

Cavka, H. B., Staub-French, S. and Poirier, E. A. (2017), "Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management", *Automation in Construction*, Vol. 83, pp. 169-183.

Champagne, C. L. and Aktas, C. B. (2016), "Assessing the Resilience of LEED Certified Green Buildings", *Procedia Engineering*, Vol. 145, pp. 380-387.

Davison, N., Gibb, A. G., Austin, S. A. and Goodier, C.I. (2006), "The multispace adaptable building concept and its extension into mass customisation", *Adaptables2006, TU/e, International Conference on Adaptable Building Structures*, Eindhoven, p. 9.

Francis, R. and Bekera, B. (2014), "A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 121, pp. 90-103.

Hamel, G. and Va likangas, L. (2003), "The quest for resilience", *Harvard Business Review*, Vol. 81, No. 9, pp. 52-63.

Hassler, U. and Kohler, N. (2014) "Resilience in the built environment", *Building Research and Information*, Vol. 42, No. 2, pp. 119-129.

Heidrich, O., Kamara, J., Maltese, S., Re Cecconi, F. and Dejaco, M.C. (2017), "A critical review of the developments in building adaptability", *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, Vol. 35, No. 4, pp. 284-303.

Hung, H. C., Yang, C. Y., Chien, C. Y. and Liu, Y. C. (2016), "Building resilience: Mainstreaming community participation into integrated assessment of resilience to climatic hazards in metropolitan land use management", *Land Use Policy*, Vol. 50, pp. 48-58.

Kang, T. W. and Choi, H. S. (2013), "BIM perspective definition metadata for interworking facility management data", *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 29, No. 4, pp. 958-970.

egories. Since weights are obtained by interviewing a group of experts using the Delphi method, they can change depending on the composition of those experts.

The rating system was applied to an office building in Como province (Italy). The application demonstrated the robustness of the proposed method and approach, despite the development of the case study is still partial. The integration in a digital asset model furthers the exploitation of the methodology within a BIM process. Although the methodology exploits digital tools and BIM process, further refinement and development are required to achieve a higher level of automation. Web-based tools using HTML templates can be used for this.

In conclusion, the proposed rating system addresses the need of metrics to assess building resilience, using digital

tools and techniques. The system can be extended, adding specific parameters and customized, changing the weights, to deal with specific buildings types.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors would like to express their deepest gratitude to Giuseppe Rigamonti for his great support.

- Kell, A. and Mordue, S. (2015), "Levels of definition", available at: <https://toolkit.thenbs.com/articles/levels-of-definition> (accessed 21 November 2017).
- Marjaba, G. E. and Chidiac, S. E. (2016) "Sustainability and resiliency metrics for buildings - Critical review", *Building and Environment*, Vol. 101, pp. 116-125.
- McAllister, T. (2013), *Developing Guidelines and Standards for Disaster Resilience of the Built Environment: A Research Needs Assessment*, Gaithersburg, MD.
- NYC Building Resiliency Task Force (2013), "Report to mayor Michael R. Bloomberg & Speaker Christine C. Quin", available at: https://www.urbangreencouncil.org/sites/default/files/2013_brtf_summaryreport_0.pdf (accessed 22 November 2017).
- Resilient Urban Ecosystem (RUE) Network (2016), "Intelligent data-driven design futures", *International symposium*, Liverpool London Campus, UK.
- Rodriguez Trejo, S., Ahmad, A. M., Hafeez, M. A., Dawood, H., Vukovic, V., Kassem, M., Naji, K. K. and Dawood, N. (2017), "Hierarchy based information requirements for sustainable operations of buildings in Qatar", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 32, pp. 435-448.
- Saaty, T. L. (1980), *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*, McGraw-Hill International Book Company.
- Schmidt III, R., Eguchi, T., Austin, S. and Gibb, A. (2010), "What Is the Meaning of Adaptability in the Building Industry?", *16th International Conference on Open and Sustainable Building*, 17-19th May 2010 Bilbao, Spain, ES, pp. 233-242.
- Setunge, S., Chun, L. Q., McEvoy, D., Zhang, K., Mullett, J., Mohseni, H., Mendis, P., Ngo, T., Herath, N., Karunasena, K., Lokuge, W., Wahalathantri, B. and Amaratunga, D. (2015), "Enhancing resilience of critical road infrastructure: bridges, culverts and flood-ways under natural hazards", *Annual project report*, 2015-2016.
- Sharifi, A. and Yamagata, Y. (2014), "Major Principles and Criteria for Development of an Urban Resilience Assessment Index", *International Conference and Utility Exhibition 2014*, pp. 19-21.
- SRC (2014), "Action plan 2014-2018 Stockholm Resilience Centre Stockholm Resilience Centre", available at: http://www.stockholmresilience.org/download/18.2f7e0423148c33cc98f13fe/1459560228810/Action_plan_2014-2018_Updated.pdf (accessed 22 November 2017).
- The Rockefeller Foundation and ARUP (2014), "City Resilience Framework", available at: http://www.seachangecop.org/files/documents/URF_Booklet_Final_for_Bellagio.pdf%5Cnhttp://www.rockefellerfoundation.org/uploads/files/0bb537c0-d872-467f-9470-b20f57c32488.pdf%5Cnhttp://resilient-cities.iclei.org/fileadmin/sites/resilient-cities/files/Image (accessed 15 October 2017).
- Wholey, F. (2015), "Building resilience: a Framework for Assessing and Communicating the Costs and Benefits of Resilient Design Strategies", *Perkins + Will research journal*, Vol. 7, No. 1, pp. 7-18.
- Won, J. and Lee, G. (2016), "How to tell if a BIM project is successful: A goal-driven approach", *Automation in Construction*, Vol. 69, pp. 34-43.
- Zhao, S., Liu, X. and Zhuo, Y. (2017), "Hybrid Hidden Markov Models for resilience metrics in a dynamic infrastructure system", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 164, pp. 84-97.