

BIM and Behavioural Simulation for existing buildings re-use design

Davide Simeone*

Highlights

Balancing conservation and re-use design is a complex task that can be supported by digital approaches

An integration of modelling and simulation features is necessary to predict re-use phenomena and impact on the built heritage artefact.

A BIM-ABM framework is proposed as a way of modelling and simulating in a single environment the building and the intended design and use.

A homogeneous representations schema for building entities and use process entities is described.

Abstract

This paper presents the development of a modelling and simulation approach oriented to the prediction of possible re-use phenomena in the field of existing buildings and built heritage. Its scope is to support the complex balancing of conservation and functional requirements. The approach is based on an Agent-Based Modeling approach that includes entities belonging to the three macro areas - building, use process and users – considered.

Keywords

BIM, Behavioural Simulation, Agent-Based Modeling, Re-use, Built Heritage

1. DIGITAL MODELS AS A WAY TO BALANCE CONSERVATION AND FUNCTIONAL REQUIREMENTS IN RE-USE DESIGN PROCESSES

Within the scope of intervention on existing buildings, in the processes oriented to design for re-use purposes, the prefiguration feature of design (in addition to the documentation one) is clearly an aspect that has taken advantage of the introduction of digital approaches, models and tools.

In fact, through various information modeling and simulation techniques, it is now possible to carry out a predictive activity that focuses not only of

Davide Simeone

DICEA - Dipartimento di
Ingegneria Civile, Edile e
Ambientale, Sapienza Università
di Roma, via Eudossiana 19,
Roma, 00184, Italia

* Corresponding author

Tel.: +39-0644585164;

Fax: +39-0644585186;

e-mail:

davide.simeone@uniroma1.it

intended spatial and technological configurations of the structure but also, always keeping well in mind limits and boundary conditions, of the different phenomena and performances such as the energy behaviour or seismic one.

A critical analysis phase of the project is necessarily correlated to this activity in accordance (also) with the issues and aspects highlighted through the different digital approaches, to offer the designer maximum awareness of the impact of his decisions regarding both the conservation of the artefact that its renewed functionality.

The contribution to prediction and evaluation of intended design features, as introduced by the introduction of digital approaches, assumes relevance in the debate on the possibility - and sometimes the opportunity - to assign new functions to existing buildings, especially if distinctive historical or architectural value.

In this context, in fact, on the one hand, there has been a crisis of the regulatory approach, too general to be applied on such unique and complex buildings, and on the other the unsustainability of the purely conservative approach, that points to the prevailing preservation of the artefact, has gradually emerged. Therefore, design returns to being the place where the balancing between the functional needs of users and the preservation of the building is assessed through the correct prefiguration not only of the formal and technological configuration of the building but also of its performance and use processes.

This systemic vision, which tends to expand the spectrum of design by including users and activities, is even more relevant if considered into a trend in the construction market, which now sees interventions on built heritage and existing buildings prevailing, especially in Italy and Europe, compared to new buildings. It is clear how the ability of an existing building to host new functions represents, in fact, one of the main elements in the evaluation of a real estate investment. In addition, the fact that these buildings often have a high market value not only because of their history but also of their urban position, being in the most central and prestigious parts of the city, raises the economic risk of intervention on buildings that can then be inefficient or unsuitable to host the planned activities.

The need to host new activities and functions and to ensure adequate performances both locally and at the level of the entire structure, often conflicts with the preservation requirements linked to a historical-architectural artefact. Thus, in general, also due to the presence of particularly stringent regulations - and despite frequent recourse to equally important derogations - the functional reconversion of the historical heritage is still not sustainable. The design on the historical heritage, while considering the impact of the

1. LA MODELLAZIONE A SUPPORTO DEL BILANCIO DELLE ISTANZE CONSERVATIVE E FUNZIONALI NEL RIUSO DEL PATRIMONIO ESISTENTE

Nel contesto dell'intervento sul costruito, in particolare di quello finalizzato ad un riuso, la componente prefigurativa del progetto (oltre a quella documentale dell'opera) è sicuramente quella che maggiormente ha beneficiato dell'introduzione di approcci, modelli e strumenti digitali. Attraverso diverse tecniche di modellazione e simulazione informativa, infatti, è ormai possibile andare a effettuare un'attività predittiva non solo delle possibili configurazioni spaziali e tecnologiche del manufatto ipotizzate dal progetto ma anche, seppur tenendo bene limiti e condizioni al contorno, dei differenti fenomeni e prestazioni quali ad esempio il comportamento energetico, quello di resistenza al sisma. A tale attività è necessariamente correlata una fase di analisi critica del progetto in funzione (anche) delle tematiche e degli aspetti evidenziati mediante i diversi approcci digitali, al fine di offrire al progettista la massima consapevolezza dell'impatto delle sue decisioni relative sia alla conservazione del manufatto che alla sua rinnovata funzionalità. Il contributo previsionale e di supporto alla valutazione del progetto, apportato dall'introduzione di approcci digitali, assume particolare rilevanza all'interno del dibattito sulla possibilità - e a volte l'opportunità - di assegnare nuove funzioni a edifici esistenti, soprattutto se caratterizzati da particolare valore storico-architettonico.

In tale ambito, infatti, da un lato si è assistito alla crisi dell'approccio normativo, troppo generale per essere calato su organismi edilizi così unici e complessi quali quelli storico-architettonici, e dall'altro è progressivamente emersa l'insostenibilità di un approccio puramente conservativo che punti alla prevalente preservazione del manufatto. In questo contesto, quindi, il progetto ritorna ad essere il luogo in cui si controlla il bilanciamento tra le istanze di funzionalità legate all'utenza e quelle di preservazione del manufatto, attraverso la corretta prefigurazione non solo della configurazione formale e tecnologica dell'organismo edilizio, ma anche delle sue prestazioni e dei processi d'uso al suo interno. Questa visione sistemica, che tende ad espandere la dimensione del progetto andando ad includere utenti e attività, assume ancora maggiore rilevanza se calata in un trend del mercato delle costruzioni che vede ormai prevalere, soprattutto in ambito italiano e europeo, gli interventi sul patrimonio storico-architettonico rispetto alle nuove costruzioni. Risulta chiaro come la capacità di un edificio esistente di ospitare nuove funzioni rappresenti, infatti, uno degli elementi principali nella valutazione di un investimento immobiliare. Se a ciò si aggiunge che tali immobili hanno spesso un elevato valore di mercato, non solo in funzione della loro storia ma anche della loro posizione urbana, in quanto spesso situati nelle parti più centrali e prestigiose della città, aumenta il fattore di rischio legato all'intervento

recovery and reconversion interventions, often neglects the evaluation of the effects of new uses on the building and its various components such as damage or deterioration of materials and construction elements.

In such a complex context, the regulatory approach has proved to date not only as a not able to ensure the quality of the intervention but also a limited and limiting tool in supporting design decisions. In fact, the architectural intervention in the historical context is characterized by a high degree of uniqueness, which makes each building organism a unique object, not repeatable and difficult to categorize.

This uniqueness collides dramatically with the normative approach which tends to build rules, protocols, guidelines, extensively applicable to the cases that can be classified, because of their similarities, in large classes.

This collision is generated by the very nature of the legislation and its underlying construction process. As asserted in the past by different scholars of building design since, as asserted in the past by different scholars of building design (P. N. Maggi [1]), the legislation has the role of helping to formulate the objectives towards which the design is oriented.

By its very nature, the knowledge implemented by the legislation is, however, both general and abstract and, therefore, its application to a specific design case requires attention and judgment on the part of the designer.

The legislation, in fact, provides a strong unifying action of the different issues related to man and his activities, and his high level of generality and abstraction makes it often unsuitable for a product such as the architectural one, characterized by an intrinsic uniqueness and dependence on context.

When it is not possible to recognize similar classes of intervention because of the extreme variability of the types of intervention, the regulatory approach becomes inadequate, resulting in some cases not able to completely control the impact of the intervention, in others too rigid and limiting.

In the research area that in recent years have dealt with digital models for built heritage, the present work aims to develop an integrated modeling / simulation approach that is aimed at the representation of both the building and its potential process of use, thus favoring the design process in the evaluation of the functional and overall quality of the design.

2. BUILDING INFORMATION MODELING FOR EXISTING BUILDINGS AND BUILT HERITAGE ARTEFACTS

To date, different modeling approaches (in particular Building Information Modeling) have focused on modeling of the existing buildings often in term of technological components; however, there is still a lack of integrated models

su immobili che poi possono risultare inefficienti o inadatti a ospitare le attività previste. La necessità di ospitare nuove attività e funzioni e di garantire adeguate performances sia localmente che a livello dell'intera struttura, spesso confligge con le istanze di preservazione legate ad un manufatto storico-architettonico. In generale, anche in funzione della presenza di normative particolarmente stringenti - e nonostante il frequente ricorso ad altrettanto importanti deroghe- la riconversione funzionale del patrimonio storico risulta non sostenibile. In particolare, il progetto sul patrimonio storico, pur tenendo conto dell'impatto degli interventi di recupero e riconversione, spesso va a trascurare la valutazione degli effetti dei nuovi usi sull'edificio e le sue diverse componenti quali ad esempio danni o deterioramenti di materiali e elementi costruttivi. In un ambito così complesso l'approccio normativo si è dimostrato ad oggi non solo non garante della qualità (o delle qualità) dell'intervento, ma addirittura strumento limitato e limitante nel supporto alle decisioni progettuali. L'intervento architettonico in ambito storico è caratterizzato da un alto grado di unicità, che rende ogni organismo edilizio un oggetto unico, non ripetibile e difficilmente categorizzabile. Tale unicità collide in modo drammatico con l'approccio normativo, tipicamente italiano, che tende a costruire regole, protocolli, linee di indirizzo, applicabili a casistiche più o meno ampie di interventi classificabili simili. Tale collisione è generata dalla natura stessa della Normativa e del suo sotteso processo di costruzione. Come asserito in passato da differenti studiosi della progettazione edilizia (P.N. Maggi in primis [1]), la normativa ha il ruolo di aiutare a formulare gli obiettivi verso cui è proiettata la progettazione. Per sua stessa natura la conoscenza implementata dalla normativa è però contemporaneamente generale e astratta e, pertanto, la sua applicazione ad uno specifico caso progettuale richiede particolare attenzione e giudizio da parte del progettista. La normativa infatti fornisce una forte azione unificante delle differenti istanze legate all'uomo e le sue attività, e il suo alto livello di generalità e astrazione la rende spesso poco adatta ad un prodotto quale quello architettonico, caratterizzato da un'intrinseca unicità e dipendenza dal contesto. Naturalmente, quando non è possibile riconoscere delle classi di intervento simili per via della estrema variabilità delle tipologie di intervento, l'approccio normativo diventa inadeguato, risultando in alcuni casi non in grado di controllare completamente l'impatto dell'intervento, in altri troppo rigido e limitante. Tra le varie ricerche che negli ultimi anni si sono occupate di modelli digitali per il patrimonio costruito, il presente lavoro si pone l'obiettivo di sviluppare un approccio integrato di modellazione/simulazione che sia finalizzato alla rappresentazione sia dell'edificio che del suo potenziale processo d'uso, favorendo quindi il processo progettuale nella valutazione della qualità funzionale e complessiva del progetto.

able to predict, represent and make the dualism of the building organism-process of use, both in routine and emergency conditions.

The Building Information Modeling has now pervaded the world of construction and, albeit with a slight delay, even the context of built heritage. Now the application of methodologies, protocols and BIM tools in the design (and even more so in the subsequent phases of the building process) is to be considered no longer an innovation but rather a key element of the whole process.

Regarding the characteristics of a BIM model of a historical-architectural artifact, some research both in Italy and internationally has investigated, albeit with alternate results, if and how it is possible to apply Building Information Modeling to historical artifacts, trying to exploit some of the advantages already demonstrated by the adoption of BIM in the world of new construction. Methodologies such as the Historical BIM [2] have predominantly held only one aspect of the BIM, that is the parametricity of the objects generated according to the known Family-Type-Instance scheme, thus trying to build general classes of “historical objects “ to build possible models in the field of built heritage.

Some research works have subsequently focused on refining this approach [3] so as to make it more suitable for the uniqueness of a historical artefact, weakening the use of “abstract” families and defined a priori and proposing reality-based approaches integrated with the use of laser scanning technologies [4]. At the same time, another line of research focused on the other key principle of Building Information Modeling, that of non-geometric information and semantic enrichment, progressively improving the capabilities of the Building Information Modeling to represent and manage information and the knowledge necessary for the complete comprehension of the historical artefact [5] [6].

These approaches, relying also on the use of knowledge modeling techniques developed within the semantic web, have significantly extended the representative domain of Building Information Modeling, and contributed to include in the model of a historical artefact (or in its system of models), all that information and knowledge that are processed and exchanged during a design process of an intervention on the historical heritage.

3. BEHAVIOURAL SIMULATION FOR THE OPTIMIZATION OF DESIGN AND USE PROCESSES

The prediction of the occupancy of a built environment has been a very popular

2. IL BUILDING INFORMATION MODELING PER EDIFICI ESISTENTI E IL PATRIMONIO STORICO-ARCHITETTONICO

Ad oggi, diversi approcci di modellazione (primo tra tutti il Building Information Modeling), si sono concentrati sulla modellazione per componenti tecnologiche dell'organismo edilizio esistente; mancano, però, modelli integrati che prefigurino, rappresentino e rendano valutabile il dualismo organismo edilizio-processo d'uso, sia in condizioni di routine che di emergenza.

Il Building Information Modeling ha ormai pervaso quello che è il mondo delle costruzioni e, seppur con lieve ritardo, anche il contesto del patrimonio costruito. Ormai l'applicazione di metodologie, protocolli e strumenti BIM nella progettazione (e ancor di più nelle successive fasi del processo edilizio) è da considerarsi non più un'innovazione ma piuttosto un elemento cardine dell'intero processo. In riferimento alle caratteristiche di un modello BIM di un manufatto storico-architettonico, differenti ricerche sia in ambito italiano che internazionale hanno indagato, seppur con risultati alterni, se e come fosse possibile applicare il Building Information Modeling a manufatti storici, cercando di sfruttare alcuni dei vantaggi già dimostrati dall'adozione del BIM nel mondo delle nuove costruzioni. Metodologie quali ad esempio quelle dell'Historic BIM [2] hanno prevalentemente tenuto di un solo aspetto della modellazione BIM, ovvero della parametricità degli oggetti generati secondo il noto schema Famiglia-Tipo-Istanza, cercando quindi di costruire delle classi generali di oggetti “storici” attraverso cui costruire possibili modelli nel campo del patrimonio costruito.

Molte ricerche hanno successivamente lavorato all'affinamento di tale approccio [3] in modo da renderlo più adatto all'unicità di un manufatto storico, andando a indebolire l'uso di famiglie “astratte” e definite a priori in favore di approcci reality-based con l'uso di tecnologie di laser scanning [4]. Parallelamente, un altro filone di ricerca si è invece concentrato sull'altro principio cardine del Building Information Modeling, ovvero quello delle informazioni non geometriche e dell'arricchimento semantico, andando progressivamente a migliorare le capacità del Building Information Modeling di rappresentare e gestire le informazioni e la conoscenza necessaria alla completa comprensione del manufatto storico [5] [6].

Tali ricerche, sfruttando anche l'uso di tecniche di modellazione della conoscenza sviluppate nell'ambito del cosiddetto Web Semantico, hanno esteso in modo importante il dominio rappresentativo del Building Information Modeling, e contribuito a includere nel modello di un manufatto storico (o nel sistema di modelli), tutte quelle informazioni e quella conoscenza che vengono elaborate e scambiate durante un processo progettuale di un intervento sul patrimonio storico.

topic in the world of computer-aided design, especially in terms of simulation of human behaviour to support the design phase. Although this theme has been widespread in the CAAD world since the mid-1970s, an important step has been the introduction of agent-based modelling (ABM) in the early 1990s. Since then, different research has focused on the application of principles of the ABM to the design processes for the building industry, in particular for the prediction of the movement of people in certain types of buildings such as airports [7], shopping centers [8], railway stations [9] and urban spaces [10] [11].

These applications are based on the traditional principles of ABM and implicate the modelling of users as autonomous computational entities able to control, plan and implement their behaviour through simple behavioural rules and in relation to the state of the context in which they are immersed [12]. In the field of built heritage, the ABM modelling has had a few but interesting applications, especially in the field of emergency scenarios, with relative escape dynamics, both at the building and at the urban scale [13].

While this approach has already shown excellent results in the modelling of relatively simple behaviours characterized by a high degree of autonomy, more difficulties have emerged in their application to that complex system of actions, activities and cooperation between people that characterizes the process of use of a building.

More recently, some research has focused on simulation models oriented to the systems of activity found in a building: Wurzer [14] has proposed an agent model that supports the planning of spaces during the preliminary phases of the project (regarding hospital facilities), while the ISUU system [15] is based on the automatic temporal planning of activities and their simulation.

Through the integration between ABM and process simulations [16], a different methodology - defined as Event-based Modeling - instead proposes a homogeneous distribution of artificial intelligence not only among the agents representing the building users but also among new process entities – defined Events - able to control and coordinate the execution of activities within a coherent and structured use process.

The goal of all these approaches is to support design decisions regarding the future use of the building and to predict and evaluate the impact of the proposed design on the activities and operations that the building will host. In addition to the operational dimensions, these methodologies also provide interesting feedback on other phenomena related to use such as energy consumption or control of environmental parameters. While in the field of new buildings there is a vast literature concerning the application of behavioural models of

3. LE TECNICHE DI BEHAVIOURAL SIMULATION PER L'OTTIMIZZAZIONE SISTEMICA DI PROGETTO E DEI PROCESSI D'USO

La previsione dell'occupazione di un ambiente costruito è un tema alquanto popolare nel mondo della progettazione assistita dal computer, prevalentemente in termini di simulazione del comportamento umano in fase di progetto. Seppur tale tema sia diffuso nel mondo del CAAD dalla metà degli anni 70, un passaggio importante è stato rappresentato dall'introduzione della modellazione basata su agenti (ABM) agli inizi degli anni 90. Da allora, differenti ricerche si sono concentrate sull'applicazione dei principi dell'ABM ai processi progettuali per l'edilizia, in particolare per la previsione del movimento delle persone in determinate tipologie di edificio quali ad esempio aeroporti [7], centri commerciali [8], stazioni ferroviarie [9] e spazi urbani [10] [11]. Queste applicazioni si basano sui principi tradizionali dell'ABM e vedono la modellazione di ciascuna persona come un'entità computazionale autonoma in grado di controllare, pianificare e attuare il proprio comportamento attraverso delle regole comportamentali semplici e in relazione allo stato del contesto in cui viene collocato [12]. Nel campo del patrimonio costruito, la modellazione ABM ha avuto poche ma interessanti applicazioni, soprattutto nel campo della previsione di scenari d'emergenza, con relative dinamiche di fuga, sia alla scala dell'edificio che a quella urbana [13]. Mentre quest'applicazione ha già mostrato risultati eccellenti nella modellazione di comportamenti relativamente semplici e caratterizzati da un alto grado di autonomia, più difficoltà sono emerse nella loro applicazione a quel complesso sistema di azioni, attività e cooperazione tra persone che caratterizza il processo d'uso di un edificio.

Più recentemente, alcune ricerche si sono focalizzate su modelli simulativi orientati ai sistemi di attività riscontrabili in un edificio: Wurzer [14] ha proposto un modello ad agenti che supporta la pianificazione degli spazi durante le fasi preliminari del progetto (con particolare riferimento all'edilizia ospedaliera), mentre il sistema ISUU [15] si basa sulla pianificazione temporale automatica delle attività e sulla loro simulazione. Attraverso l'integrazione tra ABM e simulazioni di processo [16], una differente metodologia – definita come Event-based Modeling – propone invece una distribuzione omogenea di intelligenza artificiale non solo tra gli agenti che rappresentano gli utenti dell'edificio, ma anche tra nuove entità di processo – gli Eventi – in grado di controllare e coordinare l'esecuzione delle attività all'interno di un processo d'uso coerente e strutturato. L'obiettivo di tutti questi approcci è quello di supportare le decisioni progettuali riguardo il futuro uso dell'edificio e di prevedere e valutare l'impatto del design proposto su le attività e le operazioni che l'edificio ospiterà. In aggiunta alle dimensioni operative, queste metodologie forniscono inoltre interessanti feedback su altre fenomeni

a simulative type, only some research has dealt with the same problems in the field of historical buildings. To date, therefore, it can be said that there is no simulation model able to represent the mutual influence between the structure and its configuration and its conservation requirements on the one hand, and the use processes underlying the re-functionalization on the other.

4. DIGITAL MODELING FRAMEWORK FOR THE SYSTEM BUILDING – USE PROCESSES IN THE BUILT HERITAGE DOMAIN

In this context, the proposed approach integrates an informative representation of the building, with the dynamic virtual simulation of its use process, generated through the behaviour of a system of agents that represent the expected users. This approach, built on the basis of previous research on Event-Based Modeling [16], is based on the modelling of the building and its use as a system of interacting entities, each consisting of its geometric representation, its not-geometric characteristics and its behaviour.

Differently from pure agent-based models, where each virtual user is characterized by a series of autonomous behaviours, in the proposed modeling this autonomy is partially reduced and influenced by other process entities, events, endowed with their own artificial intelligence to control at a higher level the execution of activities, their coherence and to coordinate the different actions of the users involved. This simulation and modelling mode is particularly effective in predicting usage phenomena in the context of historical-architectural heritage as it adapts to an articulation and intrinsic complexity of the process of re-use of a building, as well as to the in-door behaviour of users.

Compared to the modeling based on events and previous paradigms, the novelty element presented by the proposed model, essential for the built heritage context, lies in the ability to simulate and evaluate not only the impact of the spatial and technological configuration of the building on user activity, but also that of the processes of use on the components of the building and its conservation. This approach is based on three principles:

1. Extension of the model representation domain;
2. Integration in the model of the static representation component and the dynamic simulation component;
3. Homogeneity of the representation of the entities that compose the model.

The extension of the representative spectrum of the model is based on the idea of designing the intended operations and services within the common

relativi all'uso quali il consumo energetico o il controllo dei parametri ambientali. Mentre nel campo delle nuove costruzioni è presente una vasta letteratura relativa all'applicazione di modelli comportamentali di tipo simulativo, solo poche ricerche si sono occupate delle stesse problematiche nel campo del costruito storico. Ad oggi, pertanto, si può affermare che manca un modello simulativo in grado di rappresentare la mutua influenza tra il manufatto la sua configurazione e le sue istanze di conservazione da un lato, e i processi d'uso sottesi alla ri-funionalizzazione dall'altro.

4. LA MODELLAZIONE DIGITALE DEL SISTEMA EDIFICIO – USO NEL CONTESTO DEL PATRIMONIO COSTRUITO

In questo contesto, l'approccio proposto integra una rappresentazione informativa dell'edificio, con la simulazione virtuale dinamica del suo processo d'uso, generata attraverso i comportamenti di un sistema di agenti che rappresentano l'utenza attesa. Questo approccio, costruito sulla base di ricerche precedenti sul filone dell'Event-based Modeling [16], si basa sulla modellazione dell'edificio e del suo uso come un sistema di entità interagenti, ognuna costituita dalla sua rappresentazione geometrica, dalle sue caratteristiche non geometriche e dal suo comportamento. A differenza dei modelli agent-based puri, dove ogni utente virtuale è caratterizzato da una serie di comportamenti autonomi, nella modellazione proposta tale autonomia è parzialmente ridotta e influenzata da altre entità di processo, gli eventi, dotati di una propria intelligenza artificiale e in grado di controllare ad un livello superiore l'esecuzione di attività, la loro coerenza e coordinare le differenti azioni degli utenti coinvolti. Questa modalità simulativa e di modellazione è particolarmente efficace nella previsione di fenomeni d'uso nell'ambito del patrimonio storico-architettonico in quanto si adatta ad una articolazione e complessità intrinseca del processo di riuso di un manufatto, nonché al comportamento degli utenti al suo interno. Se confrontato alla modellazione basata su eventi e ai paradigmi precedenti, l'elemento di novità presentato dal modello proposto, essenziale per il contesto del patrimonio costruito, risiede nella capacità di simulare e valutare non solo l'impatto della conformazione spaziale e tecnologica del manufatto sulle attività degli utenti, ma anche quello dei processi d'uso sulle componenti del manufatto e sulla sua conservazione. Tale approccio si basa su tre ipotesi:

1. Estensione del dominio di rappresentazione del modello;
2. Integrazione nel modello della componente statica di rappresentazione e quella dinamica di simulazione;
3. Omogeneità della rappresentazione delle entità che lo compongono.

L'estensione dello spettro rappresentativo del modello si basa sull'idea di progettare le operations e i services previsti all'interno del modello digitale comune del progetto, permettendo inoltre la contestuale simulazione del funzionamento

digital model, allowing the simultaneous simulation of the global functioning. In order to obtain this unified model of Building + Use process + Users, it is, however, necessary to ensure a homogeneous representation of the entities of the macro-domain considered (Fig.1), a common informative structure that includes geometric data, semantics and rules of control of execution and behaviour during the simulation.

globale di cui al punto 2. Al fine di ottenere tale modello unificato Edificio+Processo d'uso+Utenti, è però necessario garantire una omogeneità di rappresentazione delle entità dei macrodomini considerati (Fig.1), ovvero una comune struttura informativa che includa dati geometrici, semantica e regole di controllo di esecuzione e comportamento durante la simulazione.

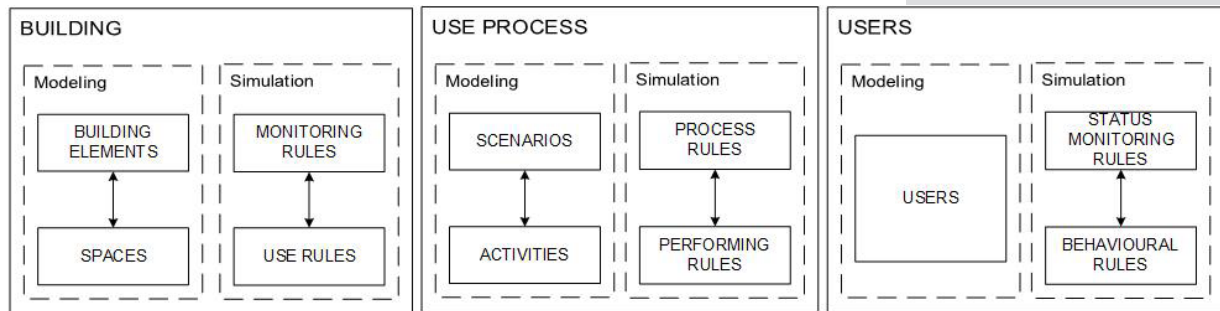


Figure 1. Conceptual schema of the model configuration in terms of three entities classes, homogeneously represented in terms of modelling and simulation components.

As shown in Figure 1, for each domain integrated into the model two modelling and simulation, dividing the classes of entities and the classes of rules that control their actions or behaviours in the simulation phase.

In this perspective, the built environment has been decomposed and modelled according to two types of entities, the spaces and the technological components. The inclusion of the technological elements also allows to equip them with some rules derived from artificial intelligence and aimed at monitoring and measuring the different aspects of the interaction with the intended users and activities. This principle is based on the idea of a wider model of the building and its use, conceived as a system of interacting entities, each of which is constituted by its geometric representation, non-geometric characteristics and its behaviour.

Therefore, the proposed simulation platform is conceived as a distributed artificial intelligence system, divided into 3 macro-classes:

- V-Users;
- Process entities (events and scenarios);
- Built Environment entities (spaces, technological components, equipment and furniture).

The simulation platform is, therefore, a distributed Artificial Intelligence system, where such resources are assigned both to the entities that represent users (as in the common Agent-Based systems) and to the components of the built environment (as cellular automata systems) (Fig.2).

Come mostrato in figura 1, per ciascuna dominio integrato nel modello sono definite due aree, quella della modellazione e quella della simulazione, in cui da un lato sono raccolte le classi di entità che lo compongono e dall'altro le classi di regole che ne controllano le azioni o i comportamenti in fase simulativa.

In questa ottica, l'ambiente costruito è stato scomposto e modellato secondo due tipologie di entità, ovvero gli spazi e le componenti tecnologiche. L'inclusione in particolare degli elementi tecnologici permette di dotare anch'essi di alcune regole derivate dall'intelligenza artificiale e finalizzate a monitorare e misurare i differenti aspetti dell'interazione con gli utenti e le attività previste nel manufatto. Questo principio si basa sull'idea di un modello maggiormente esteso dell'edificio e del suo uso, concepito come un sistema di entità interagenti, ognuna delle quali costituita di una sua rappresentazione geometrica, di caratteristiche non geometriche e del suo comportamento. Pertanto, la piattaforma simulativa proposta è concepita come un sistema ad intelligenza artificiale distribuita, articolata in 3 macroclassi:

- V-Users (entità rappresentanti gli utenti);
- Entità di processo, eventi e scenari;
- Entità che rappresentano l'ambiente costruito (spazi, componenti tecnologiche, attrezzature).

La piattaforma di simulazione è quindi un sistema ad Intelligenza Artificiale distribuita, dove tali risorse sono assegnate sia alle entità che rappresentano gli utenti (come nei comuni sistemi Agent-Based) sia alle componenti dell'ambiente costruito (come nei sistemi a celle autonome) (Fig.2).

Mentre l'intelligenza artificiale

	ACTORS (V-Users)	ACTIVITIES	SPACES	BUILDING COMPONENTS
«Extended» BIM	<ul style="list-style-type: none"> • ID • Description: (geometry, role, profile,...) • Status: (speed, tiredness, psychology, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • ID • Description: (priority, fixed duration, minimum requirements,...) • Status: (performing status, % of completion, n° of actors involved, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • ID • Description: (geometry, topology, use destination, ...) • Status: (environmental conditions, % of occupancy, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • ID • Description: (geometry, topology, materials, ...) • Status: (use-oriented properties, ...) • Degradation status (% of stress, risk of permanent damages, ...)
	Simulation environment	<ul style="list-style-type: none"> • Actions • Decisions • Status update 	<ul style="list-style-type: none"> • Performing rules • Activity status update • Involved entities status update 	<ul style="list-style-type: none"> • Space status update

Figure 2. Distribution of information and Artificial Intelligence rules among the different classes of the model.

While artificial intelligence is aimed at simulating their behaviour, the entities that represent the built environment are equipped with computational capabilities that monitor, measure, evaluate and update the state of the artefact and its components in relation to user activities. The core of this approach is the act of modeling the entire building-user-activity system by means of agents, without having a passive environment and users acting and moving within it. Based on the different usage scenarios, developed in agreement with the client, the model is also “populated” with “localized activities” that indicate where a given activity will be carried out. During the simulation, once the activity has been activated, through its performing rules, it will control and coordinate the actions of the different V-Users involved up to the complete performing.

To ensure the overall consistency of the use process, the system is equipped with a narrative manager that is responsible for coordinating the performing of the activities and assigning the V-Users from time to time, in accordance with the intended use scenario. In this way, the autonomous and sometimes arbitrary behaviours of the V-Users are harmonized in a coherent and realistic use process. Each entity-activity is not modelled only in the abstract sense but has some characteristics that allow its placement in the building model, such as the properties *performing_position* and *area_of_influence*. The inclusion of these two aspects improves the planning phase of the use scenarios: Architects and managers can populate the virtual environment of the building by placing different types of activities in the spaces in relation to the future use of the same, while the geometry relating to the influence of the air shows the portions

è finalizzata alla simulazione del loro comportamento, le entità che rappresentano l'ambiente costruito sono dotate di capacità computazionali che monitorano, misurano, valutano e aggiornano lo stato del manufatto e delle sue componenti in relazione alle attività degli utenti. Il centro di questo approccio è l'atto di modellare mediante agenti l'intero sistema edificio-utenti-attività, senza avere più un ambiente passivo e gli utenti agire e muoversi al suo interno. Sulla base dei differenti scenari d'uso, sviluppati in accordo con la committenza, il modello è inoltre “popolato” di “attività localizzate” che indicano dove una determinata attività verrà svolta. Nel corso della simulazione, una volta attivata l'attività stessa, mediante le sue regole di esecuzione, controllerà e coordinerà le azioni dei differenti V-Users coinvolti fino alla completa esecuzione. Al fine di garantire la coerenza complessiva del processo d'uso, il sistema è dotato di un narrative manager che si occupa di coordinare l'esecuzione delle attività e di assegnare di volta in volta gli V-Users, in accordo con lo scenario d'uso concepito. In questo modo, i comportamenti autonomi e a volte arbitrari degli V-Users sono armonizzati in un processo d'uso coerente e realistico. Ogni entità-attività non è modellata solo in senso astratto ma ha alcune caratteristiche che consentono la sua collocazione nel modello dell'edificio, quali ad esempio le proprietà *performing_position* e *area_of_influence*. L'inclusione di questi due aspetti migliora la fase di pianificazione degli scenari d'uso: Architetti e managers possono popolare l'ambiente virtuale dell'edificio andando a collocare differenti tipologie di attività negli spazi in relazioni al futuro uso dello stesso, mentre la geometria relativa all'are di influenza mostra le porzioni di spazio che saranno influenzate dalla loro esecuzione. Entrambi questi parametri possono poi variare durante la simulazione in accordo con gli

of space that will be influenced by their performing.

Both of these parameters can then change during the simulation according to the contextual events and the state of the context. Each activity is equipped with a series of algorithms able to 1) verify the conditions necessary for its performing 2) perform the related operations and 3) update the status of the different activities involved. Through this script, it is also possible to represent and manage the possible variations of the use process during simulation (Fig.3).

accadimenti contestuali e con lo stato del contesto. Ogni attività è dotata di una serie di algoritmi in grado di 1) verificare le condizioni necessarie alla sua esecuzione 2) eseguire le operazioni previste 3) aggiornare lo stato delle differenti attività coinvolte. Attraverso questo script, è inoltre possibile rappresentare e gestire le possibili variazioni del processo d'uso in fase di simulazione (Fig.3).

Le differenti componenti del manufatto, intese sia come spazi che come componenti fisico-tecnologiche dell'edificio, sono a loro volta modellate non come entità statiche, passive, ma come elementi

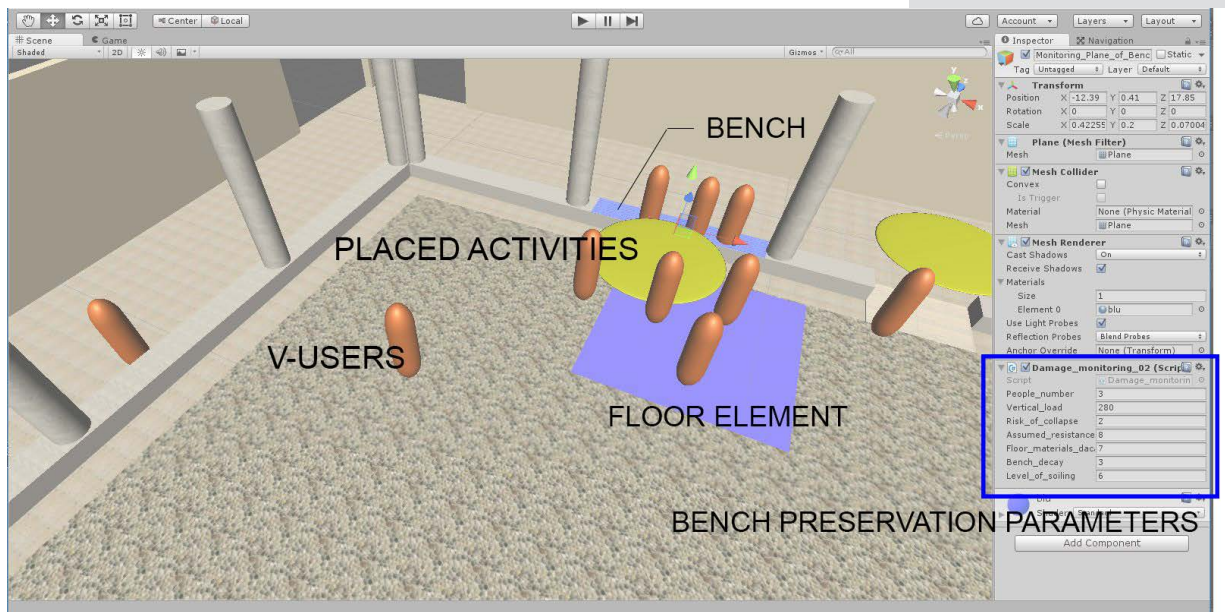


Figure 3. The different entities classes in a model application [17]

The different components of the building, intended both as spaces and as physical-technological components of the building, are modelled not as static, passive entities, but as “intelligent” elements with their own system of behavioural rules (such as in [18]). This set of rules, implemented through specific behavioural scripts inside the simulation engine, do not directly control behaviours but rather measure the variation of certain environmental parameters related to the conservation of the single element. While the simulation is in progress, the entities that compose the built environment, equipped with artificial intelligence similar to V-Users and activities, measure the effects of user behaviour by providing immediate feedback. For example, an ancient floor can “feel” the loads and their variations relative to the users that pass through it and/or stop, while a frescoed wall can signal the presence of too many people in the vicinity with consequent danger of degradation.

Building Information Modeling is particularly useful for this aspect as it allows us to include variables and parameters related to non-geometric

“intelligenti” dotati di un proprio sistema di regole comportamentali (si veda ad esempio [18]). Questo set di regole, implementato attraverso specifici script di comportamento all'interno del motore di simulazione, non controllano direttamente dei comportamenti ma piuttosto misurano la variazione di determinati parametri ambientali relativi alla conservazione del singolo elemento. Mentre la simulazione è in corso, le entità che costituiscono l'ambiente costruito, dotate di intelligenza artificiale analogamente agli V-Users e alle attività, misurano gli effetti del comportamento degli utenti fornendo immediatamente dei feedback utili. Per esempio, un antico solaio può “sentire” i carichi e le loro variazioni relativi agli utenti che su di esso transitano e/o si fermano, mentre un muro affresco può segnalare la presenza di troppe persone nelle vicinanze con conseguente pericolo di degrado dello stesso. Il Building Information Modeling è particolarmente utile per tale aspetto in quanto permette di includere nella rappresentazione dell'artefatto variabili e parametri relativi ad aspetti non geometrici – tale aspetto viene definito “Semantica” – riconducibili sia ad aspetti di conservazione che

aspects in the artefact representation - this aspect is called “Semantic” - referable to both conservation and fruition aspects, which are particularly useful in the simulation phase. Although degradation and conservation of a constructive element are very complex aspects influenced by a large system of variables, conditions and interactions with other elements and with the user, some simplified functions and algorithms can be used to provide qualitative feedback regarding the impact of intended uses. The decision to consider the building components as “active” entities with their own ability to measure the impact of the use processes on their conservation, also ensures a good extensibility and flexibility of the model: adding specific measurement rules, different aspects of preservation of the artefact can be evaluated and considered during the simulation.

5. CONCLUSIONS

This article describes the development of an integrated modelling and simulation approach for the prediction of possible phenomena of re-use of existing buildings and built heritage as well as of their impact on their conservation.

In the complex decision-making process that concerns interventions on built heritage aimed at introducing new uses and functions, the proposed model has the objective of supporting the balancing between the use and conservation requirements through an optimization of the design solution (to be considered as the whole building-use-users system). It allows, in fact, the prediction in a virtual environment of how the building will appear once occupied and in use as well as the verification of the impact of the expected use phenomena on its different components.

Through this phase of prediction and evaluation, the architects and all the other actors involved in the process, including the client, will be able to test different design solutions and to conceive different scenarios of use for the building, providing impacts for each proposal effective on the conservation of the artefact. When compared to the complexity of human behaviour within a built environment, the model must necessarily rely on some simplifications that make a large number of variables and variations of this phenomenon more manageable. Since this model is aimed at supporting the initial planning and planning phases, where qualitative models are more effective and consistent than quantitative ones, these simplifying assumptions can ensure a good reliability of the simulation and useful feedback to the different actors involved.

di fruizione, che sono di particolare utilità in fase di simulazione. Sebbene degrado e conservazione di un elemento costruttivo siano aspetti molto complessi influenzati da un largo sistema di variabili, condizioni e interazioni con altri elementi e con l'utenza, alcune funzioni e algoritmi semplificati possono essere utilizzati per fornire un feedback qualitativo riguardo l'impatto degli usi e degli utenti previsti. La scelta di considerare le componenti dell'edificio come entità “attive” con una propria abilità di misurazione dell'impatto dei processi d'uso sulla propria conservazione, assicura inoltre una buona estensibilità e flessibilità del modello: aggiungendo specifiche regole di misurazione, differenti aspetti della conservazione dell'artefatto possono essere valutati e considerati durante la simulazione.

5. CONCLUSIONI

Il presente articolo descrive lo sviluppo di un approccio integrato di modellazione e simulazione per la previsione di possibili fenomeni di riuso del patrimonio storico-architettonico nonché del loro impatto sulla relativa conservazione. Nel complesso processo decisionale che riguarda gli interventi sul patrimonio costruito finalizzati all'introduzione di nuovi usi e funzioni, il modello proposto ha l'obiettivo di supportare il bilanciamento tra le istanze d'uso e di conservazione attraverso una ottimizzazione della soluzione progettuale (da intendersi sull'intero sistema edificio-uso-utenti). Esso permette, infatti, la previsione in ambiente virtuale di come l'edificio apparirà una volta occupato e in uso nonché la verifica dell'impatto dei fenomeni d'uso previsti sulle sue differenti componenti. Attraverso questa fase di previsione e valutazione, gli architetti e tutti gli altri attori coinvolti nel processo, inclusa la committenza, saranno in grado di testare differenti soluzioni progettuali e di concepire differenti scenari d'uso per l'edificio, prevedendo per ciascuna proposta gli impatti effettivi sulla conservazione del manufatto. Se confrontato con la complessità del comportamento umano all'interno di un ambiente costruito, il modello deve necessariamente basarsi su alcune semplificazioni che rendono il grande numero di variabili e di variazioni di tale fenomeno più gestibili. Dato che il presente modello è finalizzato in particolare al supporto alle fasi iniziali di progettazione e pianificazione, dove modelli previsionali di tipo qualitativo sono più efficaci e convenienti di quelli di tipo quantitativo, tali assunti semplificati possono assicurare una buona affidabilità della simulazione e utili feedback ai differenti attori coinvolti.

6. RICONOSCIMENTI

La presente ricerca è stata supportata da un progetto di Avvio alla Ricerca (anno 2015) bandito da Sapienza Università di Roma. Si ringraziano inoltre l'ingegnere Ugo Maria Coraglia e il Dottore di Ricerca Stefano Cursi per il supporto allo sviluppo del modello.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The present research was supported by a project of Avvio alla Ricerca (2015) financed by Sapienza University of Rome. The author acknowledges the contribution of the engineer Ugo Maria Coraglia and the PhD Stefano Cursi to the development of the model.

7. REFERENCES

- [1] Maggi P. N., *Il Processo Edilizio*. Milano: Polipress, 2009.
- [2] Dore C.; Murphy M., Curini L., Integration of Historical Building Information Modeling and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites. In: 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia: “Virtual Systems in the Information Society. Milano, p. 369-376.
- [3] Simeone D.; Cursi S.; Toldo I.; Carrara G., B(H)IM - Built Heritage Information Modelling - Extending BIM approach to historical and archaeological heritage representation. In: Fusion - Proceedings of the 32nd eCAADe Conference - Volume 1, Department of Architecture and Built Environment, Faculty of Engineering and Environment, Newcastle upon Tyne, England, UK, 10-12 September 2014, 2014, p. 613-622.
- [4] Garagnani S., Building Information Modeling and real world knowledge: a methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment. In: Digital Heritage 2013 International Congress, Marseille, 2013.
- [5] Pauwels P.; Bod R.; Di Mascio D.; De Meyer R., Integrating building information modelling and semantic web technologies for the management of built heritage information. In: 1st International Congress on Digital Heritage, Marseille, 2013 p. 481-488.
- [6] Simeone D.; Cursi S.; Toldo I.; Carrara G., BIM and Knowledge Management for Building Heritage. In: ACADIA 14: Design Agency - Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Los Angeles 23-25 October, 2014, p. 681-390.
- [7] Krijnen T.; Beetz J.; de Vries B., Airport Schiphol: Behavioral Simulation of a Design Concept. In: Proceedings of eCAADe 2009, Istanbul, 2009, p. 559-564.
- [8] Zhu W., Agent-Based Simulation and Modeling of Retail Center Systems. In: Journal of Urban Planning and Development, 142(1), 2016, p. 1-10.
- [9] Lee J.Y. S.; Lam H. K.; Wong S. C., Pedestrian simulation model for Hong Kong underground stations. In Proceedings of IEEE conference 2001, Hong Kong, 2001, p. 554-558.
- [10] Yan W.; Kalay Y. E., Simulating the Behavior of Users in Built Environments. In: Journal of Architectural and Planning Research, 21(4), 2004, p. 371-384.
- [11] Batty M., Agent-Based pedestrian modeling. In: Environment and Planning B: Planning and Design, 28(3), 2001, p. 321-326.
- [12] Macal C.; North M., Agent-Based modelling and simulation: desktop ABMS. In Proceedings of WSC2007, Washington, 2007, p. 95-106.
- [13] Bernardini G.; D’Orazio M.; Quagliarini E., Towards a “behavioural design” approach for seismic risk reduction strategies of buildings and their environment. In: Safety Science, 2016, 86 p. 273-294.
- [14] Wurzer G., Schematic Systems - Constraining Functions Through Processes (and Vice Versa). In: International Journal of Architectural Computing, 2010, 8(2), p. 201-217.
- [15] Tabak V.; de Vries B.; Dijkstra J., User Behaviour Modelling. In: Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2004, p. 141-156.
- [16] Simeone D.; Kalay Y. E.; Schaumann D.; Hong S. W., Modelling and Simulating Use Processes in Buildings. In: Proceedings of eCAADe 2013, Delft, 2013, p. 59-67.
- [17] Simeone D.; Coraglia U. M.; Cursi S.; Fioravanti A., Behavioural Simulation for Built Heritage Use. In: Complexity & Simplicity - Proceedings of the 34th eCAADe Conference - Volume 2, University of Oulu, Oulu, Finland, 2016, p. 503-510.
- [18] Lee J.; Sacks R.; Eastman C. M., Specifying Parametric Building Object Behavior (BOB) for a building information modeling system. In Automation in Construction, 15, 2007, p. 758-776.