

LA COSTRUZIONE DELL'ARCHITETTURA

Dall'ideazione all'attuazione

Direttore

Corrado Fianchino
Università degli Studi di Catania

Comitato scientifico

Raffaella Lione
Università degli Studi di Messina

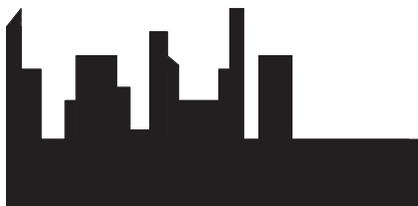
Renato Morganti
Università degli Studi dell'Aquila

Marina Fumo
Università degli Studi di Napoli Federico II

Tutti i volumi della collana (ICAR/10 e ICAR/11) sono stati precedentemente sottoposti al vaglio di membri del comitato scientifico e di *referees* anonimi esterni per *peer review*.

LA COSTRUZIONE DELL'ARCHITETTURA

Dall'ideazione all'attuazione



L'architettura è un fatto d'arte
un fenomeno che suscita emozione
al di fuori dei problemi di costruzione, al di là di essi.

LE CORBUSIER

La collana raccoglie saggi e testi, individuali o collettivi, su temi e aspetti inerenti le procedure operative destinate alla costruzione dell'architettura, sia a livello di ideazione che di fattibilità, così che si possano individuare gli strumenti attuativi delle opere architettoniche.

Si pone l'attenzione su un'attività costruttiva conforme agli attuali sviluppi dei sistemi, alla complessità delle esigenze della società contemporanea e alla "costruzione della bellezza".

Con opere e studi di giovani studiosi si colgono i segni dei recenti apporti all'architettura, che producono avanzamenti e modificazioni verso diverse concezioni ed espressività.

Il focus è rappresentato dagli scritti che analizzano le attività sul costruito, anche di carattere storico, con riferimento all'adeguamento del patrimonio edilizio esistente alle contemporanee esigenze energetiche e statico-costruttive.

Sono di particolare interesse le ricerche che approfondiscono le caratteristiche tecniche degli interventi in relazione alle attuali possibilità espressive ottenute con procedure automatizzate, sia a livello progettuale che operativo.

Le immagini 1.11, 2.6, 3.6 e 3.14 sono state composte dall'autore utilizzando risorse provenienti da flaticon.com e realizzate da parte di Freepik, Golubev, Good Ware, Icongeek26, Mynamepong, Nikita, Pixel Perfect, Roundicons, Srip e Those icons

Cristina Cecchini

**Modelli informativi multiscalari
per la gestione e il miglioramento
energetico di edifici esistenti**

Prefazione di

Marco Morandotti





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXXI
Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.giacchinoonoratieditore.it
info@giacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-4134-2

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: novembre 2021

Indice

- 9 Prefazione
MARCO MORANDOTTI
- 13 Introduzione
Bibliografia, 18.
- 21 Capitolo I
La riqualificazione energetica del costruito
1.1. Contesto di riferimento, 21 – 1.2. Sintesi del quadro normativo, 25 – 1.3. Progetti di ricerca europei, 29 – 1.4. La riqualificazione energetica, 37 – 1.5. Gli interventi di miglioramento energetico, 43 – 1.6. Il caso degli edifici storici, 72 – Bibliografia, 78.
- 87 Capitolo II
Un database spaziale per la gestione dell'informazione tecnica sui patrimoni edilizi
2.1. Il ruolo dell'informazione tecnica nel processo edilizio, 87 – 2.1.1. L'approccio tecnologico all'edificio, 89 – 2.1.2. Le opportunità dell'ICT, 94 – 2.2. Analisi dei requisiti, 96 – 2.3. Strumenti, 107 – 2.3.1. Dati input, 107 – 2.3.1.1. Dati geografici, 107 – 2.3.1.2. Dati energetici, 109 – 2.3.2. Modelli informativi tridimensionali, 112 – 2.3.2.1. Scala urbana, 114 – 2.3.2.2. Scala edile, 117 – 2.3.3. Integrazione multiscalare, 120 – 2.3.4. Basi di dati spaziali, 125 – 2.3.4.1. Base di dati fondata su CityGML, 126 – 2.3.5. Linguaggi di programmazione visuale, 127 – 2.3.6. Conclusioni, 128 – 2.4. Metodologia, 129 – 2.4.1. GIS tridimensionale, 130 – 2.4.2. Modelli informativi, 133 – 2.4.3. Application Domain Extension, 136 – 2.4.4. CityGML LOD1,2, 137 – 2.4.5. CityGML LOD3,4, 140 – 2.4.6. Base di dati, 144 – 2.4.7. Conclusioni, 144 – Bibliografia, 145.
- 159 Capitolo III
Uno strumento di supporto alla decisione per il miglioramento energetico degli edifici esistenti
3.1. Il decision-making nelle fasi preliminari del processo edilizio, 159 – 3.1.1. I sistemi di supporto alla decisione, 162 – 3.1.2. Le applicazioni in ambito energetico, 165 – 3.2. La metodologia cost-optimal, 168 – 3.2.1. Procedura di calcolo, 171 – 3.2.1.1. Dati input, 172 – 3.2.1.2. Stima economica, 173 – 3.2.1.3. Valutazione energetica, 176

– 3.2.2. Metodo ERS/ES, 179 – 3.3. Applicazione al progetto, 180 – 3.3.1. Inserimento nel processo, 186 – 3.3.1.1. Limiti e applicabilità, 187 – 3.3.1.2. Integrazione dei dati, 189, – 3.3.1.3. Estrazione dei dati, 191 – 3.3.1.4. Elaborazione numerica, 192 – 3.3.2. Conclusioni, 194 – Bibliografia, 196.

201 Capitolo IV

Caso studio

4.1. Gli edifici pubblici, 201 – 4.1.1. L'edilizia universitaria, 202 – 4.1.2. L'Università di Pavia, 205 – 4.2. La definizione del database spaziale, 213 – 4.2.1. Applicazioni, 220 – 4.2.1.1. Geo localizzazione degli APE, 221 – 4.2.1.2. Visualizzazione dei dati energetici del patrimonio UNIPV, 224 – 4.2.2. Conclusioni, 231 – 4.3. Applicazione della procedura cost-optimal, 232 – 4.3.1. Parametri di calcolo, 237 – 4.3.2. Applicazioni, 239 – 4.3.2.1. Palazzo Botta, 240 – 4.3.2.2. Palazzo San Felice, 260 – 4.3.3. Conclusioni, 278 – Bibliografia, 279.

Prefazione

MARCO MORANDOTTI*

Il lavoro raccolto in queste pagine si inserisce nel più generale contesto delle ricerche relative agli interventi sul patrimonio edilizio esistente, sia di carattere storico, che corrente, e affronta con un approccio multidisciplinare integrato il tema della conoscenza del patrimonio e della gestione della informazione ad esso relativa, nella prospettiva di definire strumenti avanzati di supporto alle decisioni progettuali relative al miglioramento prestazionale energetico del patrimonio stesso.

Se si volessero scegliere due parole chiave per connotare il lavoro raccolto in queste pagine, queste potrebbero essere innovazione e integrazione.

La ricerca che sostiene questo volume, sviluppata nell'ambito del Dottorato di Ricerca in *Design Modeling and Simulation in Engineering* attivo presso l'Università di Pavia, possiede infatti caratteri di forte innovatività e si muove esplorando con curiosità alcune frontiere di conoscenza orientate a sviluppi promettenti. Allo stesso modo è una ricerca che si articola coraggiosamente lungo i confini di più discipline, nella prospettiva di una mutua e aperta integrazione della conoscenza.

Il volume mette in relazione la costruzione di sistemi informativi complessi con le tematiche della ottimizzazione di progetto, e, coniugando aspetti di innovazione di processo con problematiche di qualità della progettazione, sviluppa una riflessione teorica ed operativa, capace di avere una effettiva ricaduta nel campo dell'esercizio della stessa attività progettuale, soprattutto in un ambito specialistico in cui l'innovazione di processo, sia per ciò che attiene la definizione di tecniche di valutazione, sia per ciò che riguarda la definizione di modelli operativi, è strettamente legata all'innovazione di progetto nella formulazione di compiute strategie di intervento.

* Ordinario di Architettura Tecnica, Università di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura.

Il testo si propone di fornire un contributo nell'ambito della gestione dei patrimoni immobiliari, sfruttando le potenzialità di sistemi informativi e modelli predittivi per promuovere processi edilizi efficaci, capaci di coniugare fattibilità operativa, controllo dei costi e incremento delle performance. I metodi proposti prevedono una integrazione tra approcci alla scala edilizia con altri alla scala urbana, nella prospettiva di una effettiva analisi multiscalare, finalizzata alla integrazione di giacimenti informativi differenti, sperimentando modalità innovative di integrazione tra piattaforme GIS e modelli BIM.

Vengono individuati e sottoposti ad analisi critica i nodi concettuali e operativi di connessione tra lo scenario culturale e operativo di riferimento, le modalità per la costruzione e gestione di sistemi informativi multi-scalari, la definizione di uno strumento di supporto alle decisioni progettuali e le interazioni con le opzioni progettuali conseguenti.

Gli ambiti di riflessione che vengono indagati sono tre: la strutturazione della conoscenza nella prospettiva della sua integrazione; il controllo della interazione multi-variabile nella valutazione comparativa di alternative tecniche e progettuali possibili; l'integrazione multi scalare di dati complessi, dalla scala urbana a quella edilizia.

Le questioni indagate presentano un'elevata complessità operativa e decisionale, per la quale esiste un rilevante spazio residuo per l'innovazione metodologica orientata alla strumentazione dei processi di gestione dell'informazione, di progettazione e controllo. Allo stesso modo risultano evidenti le connessioni con molte questioni relative alle problematiche del *facility and energy management*, con evidenti ricadute nel campo della qualità del progetto e del processo.

La prospettiva ultima rimane quella del progetto, inteso come individuazione di soluzioni tecniche adeguate e fattibili, da perseguire all'interno di un ventaglio di opzioni alternative. Come noto, la radice etimologica di "progettare" è quella di "gettare in avanti" ovvero individuare una traiettoria di sviluppo solidamente radicata nella conoscenza del passato e coraggiosamente orientata verso il futuro. In questo caso si tratta di definire metodi avanzati ed interattivi di supporto a queste decisioni, che non siano sostitutivi di processi decisionali stessi, ma orientati a supportare una verifica preliminare di fattibilità tecnica alla scala edilizia. Nel testo sono infatti definite e testate alcune metodiche sperimentali di ottimizzazione decisionale sfruttando il potenziale di calcolo di algoritmi avanzati per la

valutazione contestuale e comparativa tra un grande numero di soluzioni progettuali possibili, aprendo interessanti prospettive di sviluppo nel campo dell'impiego dei *big data* per il *Cultural Heritage*, anche in rapporto alla futura integrazione nei processi decisionali di algoritmi genetici e di Intelligenza Artificiale.

Il volume è articolato in una introduzione, di carattere generale di inquadramento delle principali questioni che connotano l'ambito della ricerca e dello scenario di riferimento, e in due parti, ciascuna dotata di una propria autonomia metodologica ed una specifica ricaduta operativa, tra loro interconnesse per contenuto e congruenti per metodo di sviluppo.

Nella prima parte, viene affrontato il tema della costruzione di database spaziali per la gestione dell'informazione tecnica sui patrimoni edilizi. Vengono definite e strutturate le caratteristiche di una piattaforma informativa concepita come uno strumento finalizzato a raccogliere ed armonizzare grandi moli di dati sul costruito, rendendole accessibili e condivisibili per mezzo di modelli tridimensionali navigabili, organizzati secondo una struttura di database standardizzato.

Nella seconda parte, viene affrontato il tema della definizione di uno strumento di supporto alla decisione per il miglioramento energetico degli edifici esistenti, integrato con la base di dati spaziale sul patrimonio costruito. In questo modo, è possibile impiegare le informazioni già raccolte e organizzate, grazie alla messa a sistema della procedura cost-optimal, in un contesto di modellazione informativa gestita per mezzo di database. Il sistema permette di condurre simulazioni preliminari su grandi insiemi di alternative progettuali, al fine di comprendere quali siano i benefici ed i costi di ciascuno scenario trasformativo. Viene quindi avanzata una proposta metodologica operativa, della quale si fornisce poi una esemplificazione applicativa, con l'obiettivo di verificare l'operabilità e la congruenza dell'approccio proposto.

Come in ogni autentico percorso di esplorazione, nell'ambito di queste pagine viene raggiunta una meta, perseguita con curiosità, determinazione e coraggio ma allo stesso tempo viene anche tracciata una rotta, indicando un nuovo orizzonte più ampio del precedente verso il quale orientare il cammino futuro.

Introduzione

La gestione informativa dell'ambiente costruito è un tema di grande complessità, che richiede approcci flessibili in grado di relazionarsi con una pluralità di profili di utenza e di domini della conoscenza, ciascuno dei quali si avvale di rappresentazioni diverse degli edifici per soddisfare le proprie esigenze conoscitive. In questo contesto, con l'obiettivo di promuovere processi edilizi più efficaci, occorre pensare a nuovi strumenti per la modellazione e la condivisione delle informazioni tecniche, che permettano di capitalizzare le conoscenze già acquisite e di integrare nuovi dati nel corso di tutto il ciclo di vita degli organismi edilizi.

Nella pratica ordinaria, infatti, è comune acquisire ed elaborare dati, senza che esista una visione sistematica sulla loro gestione [1]. Rilievi geometrici, indagini strutturali, audit energetici e altre tipologie di analisi sugli edifici vengono spesso eseguite da soggetti diversi, con una prospettiva strettamente monodisciplinare che non considera il potenziale valore aggiunto che scaturirebbe dalla lettura coordinata dei risultati. Eppure, la gestione degli edifici esistenti è un tema intrinsecamente multidisciplinare, che richiede l'integrazione di numerosi tipi di informazione e lo sfruttamento della conoscenza sviluppata da diverse figure professionali [2]. Il superamento di questa visione frammentaria, che genera potenzialmente errori e sovraccosti nella fase di gestione e manutenzione delle opere [3], può essere agevolato dalla definizione di piattaforme informative multiscalari, organizzate in strutture standard, adatte alla condivisione e alla fruizione da parte di classi di utenza differenziate [4].

In anni recenti, seguendo questa direzione le soluzioni per la conoscenza e per la gestione del costruito si sono evolute verso le tecnologie digitali e, tra di esse, è emersa l'opportunità di utilizzare sinergicamente la modellazione informativa a scala edile (BIM – Building Information Modeling) e urbana (GIS – Geographic Information System) attraverso la definizione

di database spaziali multiscalari. L'impiego sistematico di questi strumenti permette la realizzazione di archivi digitali che organizzano la conoscenza sui beni, sfruttando le potenzialità delle IT (Information Technology) per la realizzazione di applicazioni rivolte alla visualizzazione, all'interrogazione e all'analisi delle informazioni sul costruito. L'esperienza qui presentata propone un flusso di lavoro per definire un sistema informativo fondato su GIS (Geographic Information System) e BIM (Building Information Modeling), sviluppato attraverso modelli dati aperti e interoperabili, ancorché standardizzati, per fornire uno strumento di supporto ai processi che investono gli edifici durante tutto il loro ciclo di vita. Il risultato finale non è, quindi, un prodotto statico, ma un ambiente che si evolve e prende forma nel tempo, accompagnando lo sviluppo degli edifici con l'arricchimento dei relativi quadri informativi. Con questa finalità vengono messi a sistema diversi strumenti per la rappresentazione e la gestione dell'informazione, realizzando una filiera interoperabile che permette di raccogliere e armonizzare dati eterogenei in un'unica piattaforma basata su un database spaziale. Operativamente, la struttura è realizzata attraverso la messa a sistema di modelli GIS e BIM all'interno dello schema informativo CityGML (City Geographic Markup Language) e dalla successiva costruzione di una base di dati relazionale per l'organizzazione dei contenuti, così da garantisce integrità e accessibilità dei dati.

L'attenzione è principalmente focalizzata sulla gestione energetica del patrimonio costruito e sulle opportunità di miglioramento delle prestazioni associate, un tema che risulta centrale nelle politiche di sviluppo della Commissione Europea fin dalla sua origine e che è stato recentemente rilanciato per mezzo dell'iniziativa "renovation wave" [5], finalizzata alla promozione di strumenti tecnici ed economici per la riqualificazione energetica degli edifici esistenti. Di particolare interesse risulta affrontare il problema dal punto di vista del gestore pubblico, in quanto nell'ambito comunitario gli edifici pubblici sono chiamati a svolgere un ruolo esemplare, adottando tassi di rinnovamento accelerati e impiegando strumenti di modellazione informativa che incorporino procedure di valutazione di soluzioni trasformative alternative. Tuttavia, nel contesto europeo, la gestione efficace e il miglioramento delle prestazioni energetiche dei patrimoni immobiliari pubblici si delineano come problemi estremamente complessi, in virtù della natura dei beni coinvolti, che spesso includono manufatti obsoleti dal punto di vista tecnologico, ma fondamentali nella definizione del quadro identita-

rio delle comunità, per i quali coesistono interessi volti alla tutela del valore e all'aggiornamento delle prestazioni.

Con l'obiettivo di testare e validare la metodologia, il flusso di lavoro è stato applicato al centro storico della città di Pavia e, in particolare, all'asset immobiliare dell'Università, un patrimonio di grande interesse sia per l'eccezionale valore culturale, che per quanto riguarda la sua vastità e varietà. Come esempi di possibili output, alla scala urbana sono state sviluppate alcune applicazioni basate su piattaforme di visualizzazione web-based per la consultazione e l'interrogazione di informazioni energetiche provenienti dagli Attestati di Prestazione Energetica (APE) e dagli audit commissionati dall'Università sul proprio patrimonio edilizio. In questo modo, dati che vengono solitamente conservati in formato testuale o tabellare, possono prendere forma in ambienti tridimensionali navigabili, sfruttando al meglio le potenzialità comunicative di tali strumenti per l'inclusione di profili di utenza differenziati. In aggiunta, a partire dal sistema informativo già descritto, è stato sviluppato un modulo di supporto alla decisione capace di estrarre dal database le informazioni rilevanti per lo svolgimento della metodologia cost-optimal, uno strumento di calcolo introdotto con la Direttiva Europea 2010/31/EU, finalizzato alla valutazione di alternative progettuali sulla base dei livelli di prestazione ottimali in funzione dei costi sul ciclo di vita. Attraverso questa applicazione sono stati analizzati due casi studio (Palazzo Botta e Palazzo San Felice), sui quali è stato possibile simulare simultaneamente migliaia di scenari trasformativi, valutandone gli effetti in termini energetici ed economici, così da individuare l'insieme di soluzioni ottimali.

Con la definizione di tale strumento, gli obiettivi specifici che si vogliono raggiungere sono due: organizzare e favorire lo sviluppo della conoscenza sugli edifici esistenti e, per mezzo di questa, supportare i processi decisionali per la gestione e l'eventuale trasformazione degli stessi.

Conoscenza

Perché un'operazione sul costruito sia un'azione responsabile, occorre che si basi su una solida base di conoscenza. Non a caso, la pratica del miglioramento sismico degli edifici, che risulta all'avanguardia fra le discipline che operano sul costruito [6], fonda su Livelli di Conoscenza e Fattori di Confidenza il giudizio sulla valutazione della sicurezza e sul progetto degli interventi. Tuttavia, se in passato tale conoscenza poteva essere gestita in

modo analogico, coinvolgendo pochi soggetti e una mole limitata di dati, ad oggi il livello di complessità raggiunto nei processi edilizi ha reso centrale il tema della rappresentazione e del coordinamento dell'informazione [7], focalizzando in particolare l'attenzione sulle opportunità legate all'utilizzo di strumenti informatici per la sua manipolazione [8].

In risposta a questo quadro esigenziale, la piattaforma oggetto di questa ricerca, si propone come uno strumento capace di raccogliere ed armonizzare grandi moli di dati sul costruito, rendendole facilmente accessibili e condivisibili per mezzo di modelli tridimensionali navigabili, organizzati secondo strutture database standardizzate. L'organizzazione dell'informazione tecnica per mezzo di modelli tridimensionali navigabili offre importanti benefici, in termini di gestione e comunicazione, per la costruzione di una conoscenza condivisa sul patrimonio costruito, in quanto:

- Aumenta la leggibilità di grandi quantità di dati eterogenei, grazie alla possibilità di visualizzare graficamente gli esiti delle analisi, anche attraverso la produzione di mappe tematiche capaci di evidenziare gli aspetti più rilevanti;
- Consente di condurre indagini multidisciplinari, connettendo aspetti afferenti a diversi domini di conoscenza e attivando la possibilità di eseguire valutazioni di carattere trasversale;
- Permette di porre in relazione diretta le informazioni con le entità fisiche a cui si riferiscono, migliorando l'effettiva comprensione dei fenomeni complessi e della loro incidenza sul panorama naturale e costruito.

Inoltre, la progettazione di uno strumento informativo dotato di un ambiente di visualizzazione efficace ha un importante risvolto in ambito sociale, in quanto rende accessibile l'informazione tecnica a tutte le classi di utenza, in un'ottica inclusiva.

Se, infatti, la combinazione di dati rigorosi con grafiche chiare e di facile interpretazione, può favorire le dinamiche di comunicazione fra il personale tecnico e i soggetti incaricati della *governance*, al fine di supportare l'elaborazione sinergica di azioni di sviluppo degli stock edilizi. Sul versante opposto, la condivisione delle informazioni con gli utenti finali favorisce la diffusione di una cultura conoscitiva sul costruito, che si traduce nell'educazione delle comunità ad un uso responsabile degli edifici. Questo aspet-

to assume particolare rilevanza in ambito energetico, in cui una maggiore consapevolezza sui consumi può indurre ad un migliore utilizzo delle risorse, stimolando il cosiddetto *energy-aware consuming* [9].

Supporto alla decisione

Nelle fasi preliminari dei processi edilizi prendono forma decisioni strategiche, il cui effetto si ripercuote sulle prestazioni dell'edificio nel corso del suo intero ciclo di vita [10]. Tuttavia, proprio perché ci si trova nei primi momenti di approccio al progetto, non è possibile fondare queste scelte su analisi dettagliate, che vengono solitamente svolte negli stadi successivi di indagine. Si rende, quindi, di fondamentale importanza sfruttare al massimo i quadri conoscitivi già disponibili, e capitalizzare l'informazione attraverso la messa in opera di strumenti di supporto alla decisione basati sulle tecnologie informatiche, sviluppati per evidenziare il rapporto tra le scelte progettuali e i loro effetti in termini di prestazioni attese e di impatti sull'esistente [11]. Dal punto di vista degli enti gestori, ciò consente un migliore controllo dei processi edilizi, nel rispetto dei principi di conduzione della pubblica amministrazione.

In questa direzione, nell'ultimo decennio, si è assistito all'introduzione di testi normativi volti ad incoraggiare lo sfruttamento dei vantaggi delle IT (Information Technology) per la definizione di flussi di lavoro più funzionali in ambito edilizio. In particolare, la Direttiva Europea 2014/24/EU sui contratti pubblici [12] e i suoi recepimenti a livello nazionale hanno spinto verso l'adozione di strumenti di modellazione informativa, richiedendo anche l'attivazione di procedure di confronto di scenari progettuali alternativi, in relazione al miglior rapporto tra costi e benefici. In particolare, sul tema energetico, la Direttiva Europea 2010/31/EU [13] sulle prestazioni degli edifici ha introdotto il quadro metodologico cost-optimal, per la valutazione comparata degli interventi di riqualificazione, basata su una procedura di ottimizzazione multicriteriale, che considera costi di esercizio e fabbisogni energetici nell'orizzonte del ciclo di vita.

Al fine di fornire una risposta alle esigenze appena descritte, in coerenza con il quadro normativo comunitario e nazionale, si propone la definizione di uno strumento di supporto alla decisione, da utilizzarsi nell'ambito degli interventi volti al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici esistenti, integrato con la base di dati spaziale sul patrimonio costruito. In questo modo, si sfruttano le informazioni già raccolte e organizzate, grazie

alla messa a sistema della procedura cost-optimal in un contesto di modellazione informativa gestita per mezzo di database. Il sistema così definito permette di condurre simulazioni preliminari su grandi insiemi di alternative progettuali, al fine di comprendere quali siano, a livello strategico, i benefici ed i costi di ciascuno scenario trasformativo. Come risultato dell'analisi, il processo restituisce il posizionamento di tutte le soluzioni nei confronti dei criteri selezionati e individua il set delle strategie ottimali. In questo modo, non si arriva alla determinazione univoca della migliore alternativa ma, al contrario, si predispone uno spazio di dialogo, che i soggetti coinvolti a vario titolo nel processo edilizio possono arricchire sulla base di ulteriori ragionamenti di carattere quantitativo o qualitativo, al fine di raggiungere una decisione sugli scenari da indagare ad un livello di dettaglio superiore e, in seguito, da implementare nei progetti.

Bibliografia

- [1] SINGH, V. (2013). Challenges for integrated design and delivery teams in AEC. In IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (pp. 641-650). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [2] MOTAWA, I., & ALMARSHAD, A. (2013). A knowledge-based BIM system for building maintenance. *Automation in construction*, 29, 173-182.
- [3] BRYDE, D., BROQUETAS, M., & VOLM, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International journal of project management*, 31(7), 971-980.
- [4] HALFAWY, M. R., FROESE, T. M., VANIER, D. J., & KYLE, B. R. (2004). An integration approach for developing AEC/FM total project systems. In *Proc., CIB 2004 Triennial Congress*.
- [5] European Commission (2020) Roadmap to Renovation Wave. Ref Ares (2020)2469180.
- [6] CARBONARA, G. (2015). Energy efficiency as a protection tool. *Energy and Buildings*, 95, 9-12.
- [7] EGUSQUIZA, A., GANDINI, A., IZKARA, J. L., & PRIETO, I. (2014). Management and decision-making tools for the sustainable refurbishment of historic cities. In *V Congreso Latinoamericano REHABEND 2014 sobre Patología de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio*.

- [8] ZEILER, W., SAVANOVIC, P., & QUANJEL, E. M. C. J. (2009). The changing role of AEC organisations towards integral design. proceedings of the Changing Roles: New Roles and New Challenges, 154-163.
- [9] SHORT, M., DAWOOD, M., CROSBIE, T., & DAWOOD, N. (2014). Visualization tools for energy awareness and management in energy positive neighborhoods. In 14th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality.
- [10] PETERSEN, S., & SVENDSEN, S. (2010). Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. *Energy and buildings*, 42(7), 1113-1119.
- [11] SCHLUETER, A., & THESELING, F. (2009). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in construction*, 18(2), 153-163.
- [12] DIRETTIVA 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, del 26 febbraio 2014, sugli appalti pubblici e che abroga la direttiva 2004/18/CE Testo rilevante ai fini del SEE. OJ L 94, 28.3.2014, p. 65–242.
- [13] DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia. OJ L 153, 18.6.2010, p. 13–35.