

TECNOLOGIA BIM E INNOVAZIONE MATERIALE LA DIMENSIONE AMBIENTALE

BIM TECHNOLOGY AND MATERIAL INNOVATION THE ENVIRONMENTAL DIMENSION

Rossella Franchino^a, Caterina Frettoloso^b, Nicola Pisacane^c

ABSTRACT

Le riflessioni che si propongono prendono spunto da una ricerca interdisciplinare condotta dagli autori e relativa all'applicazione della tecnologia BIM alla gestione del processo edilizio. Nello specifico la ricerca si focalizza sul ruolo che tale tecnologia informatica ha nella scelta e nella valutazione dell'uso dei differenti materiali in relazione alle loro performance nell'intero ciclo di vita dell'edificio. In particolare, il presente lavoro sintetizza la fase della ricerca che riguarda il ruolo che la tecnologia BIM può assumere nel controllo della dimensione ambientale dei materiali da costruzione innovativi a matrice naturale attraverso l'elaborazione di un set di criteri in grado di descrivere la qualità di un determinato materiale soprattutto in termini di compatibilità.

The considerations reported in the following paper take inspiration from an interdisciplinary research carried out by authors and relative to the application of BIM technology for the management of the building process. In this regard, the research focuses on the role that this computer technology has in the choice and assessment of the use of different materials while considering their performance in the whole life cycle of the building. In particular, the present work summarizes the role that BIM technology has in the control of the environmental dimension of natural matrix innovative building materials. This evaluation is pursued through the processing of a set of criteria able to describe the quality of a given material especially in terms of compatibility.

KEYWORDS

building information modeling, capacità carico materiali, compatibilità ambientale, data base, materiali innovativi
building information modelling, database, environmental compatibility, innovative materials, material load capacity

Lo studio della dimensione ambientale dei materiali per la costruzione è il focus delle considerazioni descritte nel presente lavoro che approfondisce quelli innovativi a matrice naturale. Attualmente questi materiali presentano particolari potenzialità al fine di sensibilizzare il mondo della produzione industriale a promuovere cicli produttivi che integrino l'efficienza dei materiali con la compatibilità ambientale per preservare e valorizzare gli ecosistemi e i cicli biologici della natura. Tale approccio, orientato all'utilizzo di materiali innovativi attraverso la gestione/controllo di diversi criteri qualificanti la dimensione ambientale, può consentire di rivedere il rapporto tra edilizia e materiali da costruzione. Questi criteri, mettendo a sistema più requisiti (dal risparmio di risorse naturali alla mitigazione e riduzione dell'impatto ambientale), possono contribuire sia alla definizione della limitazione dell'impronta per ciascun materiale sia all'individuazione della capacità di carico dello stesso.

L'integrazione tra tecnologia BIM e criteri di controllo per la valutazione dei materiali innovativi in ambito edilizio costituisce uno degli elementi più significativi dello studio fornendo, inoltre, uno strumento decisionale e di controllo sia dei processi di obsolescenza negli interventi di recupero dell'esistente sia del progetto ex-novo in chiave eco-orientata. La tecnologia BIM, infatti, ricostruendo digitalmente non solo la geometria di un edificio ma proponendone un clone virtuale, si pone come strumento di supporto per il progetto in tutte le sue fasi, consentendo un miglior controllo rispetto ai consolidati processi tradizionali. In questo modo, tutti gli elementi caratterizzanti l'opera, dalla geometria, ai materiali e alle tecnologie da costruzione, ai costi nonché alle specifiche riguardanti la realizzazione, possono essere modellati e comunicati agli operatori interessati nell'intero processo progettuale/realizzativo/manutentivo (Saieg et alii, 2018). Lo studio proposto, mettendo a sistema queste importanti potenzialità della piattaforma BIM, si pone l'obiettivo di fornire un supporto preliminare nelle scelte relative ai componenti edilizi e ai materiali che li costituiscono, attraverso valutazioni prestazionali anche in termini di sostenibilità delle scelte stesse. Nello specifico a titolo esemplificativo si presentano alcune simulazioni che evidenziano i significativi vantaggi ambientali derivanti da soluzioni tecnologiche con materiali innovativi a matrice naturale rispetto a scelte prevalentemente tradizionali.

Materiali a matrice naturale e compatibilità – Tra le maggiori preoccupazioni dell'uomo contemporaneo sono sicuramente prioritarie quelle ambientali. La questione ambientale, strettamente connessa a quella energetica, condiziona in modo molto marcato lo studio, l'applicazione e la gestione delle nuove tecnologie, sia innovative che semplicemente evolutive. Ciò è particolarmente sentito in tutti i campi e soprattutto in quello edilizio che è un settore caratterizzato da un alto consumo di risorse naturali e da un fortissimo impatto sull'ambiente e sui sottosistemi che lo caratterizzano. I problemi di degrado e inquinamento, infatti, si riflettono su tutti i sottosistemi naturali: acqua, aria e suolo, e oggi i tecnici e le Istituzioni sono sempre più impegnati a trovare soluzioni non solo per intervenire e 'curare' casi particolarmente gravi, ma soprattutto nel 'prevenire' eventuali problemi futuri. È importante, quindi, che le analisi di convenienza, generalmente orientate solamente dalla necessità di risparmiare risorse, siano necessariamente affiancate anche dall'analisi di compatibilità ambientale.

A tal riguardo, si propongono spunti di riflessione relativi a soluzioni che impiegano le risorse ambientali con l'obiettivo di utilizzare i principi della natura come modello di gestione sostenibile. Utilizzare la capacità propria della natura attraverso le sue risorse è sicuramente più conveniente non solo 'ambientalmente', ma anche economicamente in quanto in alcuni casi si riesce a contenere il ricorso a costose soluzioni impiantistiche (Kabisch, 2017). In questo ambito il presente lavoro concentra la propria attenzione sul ruolo svolto dai materiali innovativi come elementi chiave del progresso tecnologico sostenibile del settore edilizio. Fino a qualche tempo fa lo sviluppo dei materiali per la costruzione è stato focalizzato soprattutto sul miglioramento delle prestazioni degli stessi sia in termini di efficienza che di resistenza nel tempo, il tutto con controllo del contenimento dei costi. Soltanto più recentemente, si è aggiunta anche l'attenzione alle problematiche ambientali determinate sia dalla produzione che dall'utilizzo e dal relativo smaltimento finale, allargando anche all'auspicabile riciclo/riuso (Altamura, 2015; Das and Neithalath, 2019).

Al fine di poter contribuire a creare un ambiente urbano più sostenibile è importante che l'attenzione sia rivolta, dunque, anche ai materiali utilizzati e a tal riguardo particolari potenzialità sembrano presentare quelli innovativi che per la loro costituzione attingono alle risorse rinnovabili del no-



Figg. 1, 2 - *The Circular Garden* (ENI and Carlo Ratti Associati, 2019), installation in Orto Botanico Brera, Milano (credit: R. Franchino).

stro pianeta. I materiali innovativi per definizione presentano un'ottimizzazione delle proprietà rispetto a quelli tradizionali per consentire il raggiungimento di prestazioni innovative intervenendo sulle caratteristiche fisiche e chimiche. Particolare attenzione deve essere rivolta, quindi, a quei materiali che consentono il miglioramento delle prestazioni funzionali e contemporaneamente sono attenti anche agli effetti ambientali estesi all'intero ciclo di vita.

L'introduzione dei materiali innovativi ha una grande influenza sull'ambiente artificiale di oggi (Beylerian et alii, 2007) e stravolge il rapporto tra edilizia e materiali da costruzione in quanto mentre quelli tradizionali hanno sempre svolto una funzione statica, quelli innovativi si caratterizzano proprio per acquisire una funzione dinamica che gli consente di adattarsi anche ai cambiamenti ambientali. Ciò permette di allargare le frontiere del dialogo tra l'edificio e il contesto ambientale circostante, che in questo modo può avvenire anche mediante l'accurato utilizzo dei materiali. Per tali applicazioni risultano particolarmente indicati i materiali smart, che nell'ambito di quelli innovativi si distinguono per la capacità di modificarsi in risposta a stimoli provenienti dall'esterno e si caratterizzano proprio perché in grado di sfruttare le risorse ambientali, utilizzando i principi della natura per il loro funzionamento stimolando le strategie proposte dalla natura stessa (Casini, 2016; Kretzer, 2017).

Restando in tale ambito, interessanti prospettive offrono, inoltre, i materiali innovativi a matrice naturale che perseguono un approccio che assimila i materiali a elementi naturali in grado, quindi, di rigenerarsi. Il potenziale delle risorse naturali rinnovabili del nostro pianeta può essere utilizzato, pertanto, anche per la creazione di materiali per la costruzione, così come suggerito in maniera suggestiva dall'installazione *The Circular Garden*, realizzata da ENI in collaborazione con lo studio di design Carlo Ratti Associati in occasione della Design Week 2019 presso l'Orto Botanico di Brera a

Milano (Figg. 1, 2). L'installazione si caratterizza per l'esposizione di alcune strutture realizzate in micelio come materiale da costruzione le quali, dopo la dismissione, possono essere reimmesse nel ciclo biologico naturale. Il micelio, infatti, che costituisce la radice fibrosa dei funghi, è un materiale organico e biodegradabile che una volta dismesso può essere riutilizzato come fertilizzante. L'installazione ha promosso il tema dell'economia circolare, e in particolare il binomio uso-riciclo, sensibilizzando notevolmente gli utenti, i tecnici e in generale il mondo della produzione verso le opportunità offerte dai materiali naturali.

Partendo da tali premesse il lavoro proposto mira a evidenziare i significativi vantaggi ambientali derivanti da soluzioni tecnologiche con materiali innovativi a matrice naturale rispetto a scelte prevalentemente tradizionali, avendo cura di effettuare una vera e propria 'analisi di compatibilità' del materiale che aggiunge allo scopo del risparmio di risorse naturali anche quello della mitigazione dell'impatto ambientale (Mulhall et alii, 2019). L'analisi di compatibilità consente, infatti, di poter definire per ciascun materiale la limitazione dell'impronta e l'individuazione della capacità di carico dello stesso definibile come la capacità di assorbire e controllare i fenomeni delle trasformazioni ambientali con un impatto sostenibile per l'ecosistema. In particolare, le soluzioni tecnologiche analizzate sono una chiusura verticale, una chiusura orizzontale e una partizione interna di un edificio tipo. Come illustrato nel paragrafo che segue, il confronto è stato possibile grazie all'utilizzo della piattaforma BIM che ha consentito valutazioni prestazionali anche in termini di sostenibilità al riguardo dei materiali utilizzati (Fig. 3).

Rappresentazione parametrica del dato ambientale – La modellazione parametrica attraverso piattaforma BIM offre, tra gli innumerevoli vantaggi, quello di associare a ciascun elemento rappresentato non solo il dato geometrico ma anche altre di-

mensioni, personalizzabili dall'utente. Tale opzione permette valutazioni dei diversi dati associati a ciascun componente edilizio che, attraverso la rappresentazione parametrica, è digitalizzato all'interno del modello numerico dell'edificio. Il maggior vantaggio risiede nella possibilità di valutare scelte sia in relazione a nuovi edifici che esistenti, replicando in forma digitale l'intero processo progettuale, edilizio e più in genere di vita dell'edificio (Tang et alii, 2019). Nello specifico, la piattaforma BIM offre un supporto nella valutazione delle scelte tecnologiche in ottica di sostenibilità, applicata al caso studio presentato e riferito a un edificio a uso misto, commerciale e residenziale (Figg. 4-6). In particolare, l'analisi valuta le prestazioni dell'edificio nel confronto tra soluzioni costruttive basate su tecnologie e materiali tradizionali, confrontati con soluzioni innovative a matrice ambientale. La modellazione parametrica degli elementi tecnologici costitutivi le chiusure orizzontali e verticali e le partizioni interne sono state modellate, non solo nei loro aspetti geometrici e dimensionali, ma anche in funzione di diversi parametri che analizzano la sostenibilità delle diverse fasi di vita dell'edificio. La flessibilità offerta dal BIM permette all'utente di definire i parametri esplicativi del dato ambientale dalla fase di lavorazione del materiale e del componente tecnologico, fino alla sua demolizione, dismissione e riciclo/riuso.

Con particolare riferimento al caso studio, tali valutazioni sono state effettuate attraverso il confronto tra due fasi di vita dell'edificio: una prima durante la quale le soluzioni tecnologiche e i materiali erano di tipo tradizionale, e una seconda – in una fase temporalmente successiva – nella quale è stata ipotizzata la sostituzione di tali elementi con altri che impiegano materiali innovativi a matrice naturale. Lo studio ha avuto come obiettivo principale la comparazione tra scelte tecnologiche differenti con specifico riferimento al dato ambientale; pertanto, il laterizio tradizionale della partizione è stato sostituito con un biomattone, così come l'in-

tonaco tradizionale con altro a base di calce idraulica, mentre la copertura è stata trasformata in tetto verde estensivo non praticabile (Fig. 7). Tali scelte tecnologiche sono state valutate, ai fini della presente ricerca, con esclusivo riferimento al dato relativo alla sostenibilità dei materiali utilizzati, parametrizzando per ciascun componente i valori relativi agli allergeni respiratori organici e inorganici, ai minerali presenti nella lavorazione, all'influenza nel cambiamento climatico, alla presenza di sostanze cancerogene e di radiazioni nel processo industriale di produzione, così come all'uso di combustibili fossili, all'acidificazione e eutrofizzazione, e all'eco-tossicità (Fig. 8).

Tali parametri declinati per ciascun componente permettono di descrivere e rappresentare numericamente il dato relativo alla sostenibilità di un componente in ogni fase di vita dell'edificio, rappresentandolo anche attraverso grafici e abachi descrittivi non solo del dato geometrico, di costo o di performance energetica (non oggetto del presente studio) ma anche della sua valenza ambientale e sostenibile. Gli elementi tecnologici sono stati, quindi, integralmente riprogettati e rimodellati in modo da aggiornare le librerie delle famiglie e i dati parametrici a essi associati. Questi ultimi sono stati arricchiti di ulteriori parametri utili a una valutazione di confronto tra le due fasi temporali al fine di supportare le relative scelte tecnologiche. L'ingente quantità di informazioni e la complessità dei dati da elaborare, infatti, rende la piattaforma BIM ideale alla valutazione della sostenibilità ambientale delle costruzioni (Djuedja et alii, 2019).

L'evoluzione di questa metodologia progettuale ha portato all'affermazione di un nuovo approccio di rappresentazione dell'architettura per mezzo di piattaforme Building Information Modeling, un processo di realizzazione di un modello digitale di un'opera architettonica che contiene un ampio database di informazioni riferite a ogni elemento architettonico, strutturale o relativo a impianto, a supporto della gestione dell'opera in tutte le fasi del suo ciclo di vita (Building Life-Cycle Management): progettazione, realizzazione, manutenzione e dismissione (Jalaei et alii, 2019; Dixit et alii 2019). Cambia quindi l'impostazione del metodo di progettazione, affidato in passato alla sola restituzione piana del disegno, modificando il modo di percepire lo spazio di intervento e semplificando la comunicazione e la comprensione del progetto ai fini del processo costruttivo (Chu et alii, 2018; Fig. 9). L'esito di tale processo è un modello digitale complessivo delle caratteristiche fisiche e funzionali dell'edificio espresse dal modello geometrico e dalle informazioni associate alle sue parti con le informazioni relative ai materiali costruttivi, ai componenti e alle tecniche strutturali, ai tempi e ai costi di realizzazione, agli interventi progressi, allo stato di conservazione. Il vantaggio che deriva dall'applicazione e dall'impiego di tali piattaforme permette la condivisione di informazioni tra le figure professionali coinvolte nella progettazione e nella realizzazione di interventi di nuova costruzione o di manutenzione sul patrimonio costruito esistente (Saieg et alii, 2018).

Il modello parametrico BIM segue, parallelamente al reale edificio, tutte le fasi del ciclo di vita, fino a un livello di conoscenza e approfondimento (LOD) che considera il flusso di materiali, i tempi di esecuzione dei lavori e la relativa valutazione economica. Questa capacità di gestione delle infor-

mazioni è integrata con la possibilità di visualizzare tutti i sistemi e componenti, assemblati o in sequenza, in scale diverse rispetto all'intero progetto o ai singoli elementi, e di rilevamento di conflitti (clash-detection) che penalizzano tempi e costi e gestione. L'uso della tecnologia BIM, pertanto, consente, attraverso le interrogazioni delle banche dati, l'ampliamento delle indagini conoscitive finalizzate alla gestione e alla valorizzazione dell'oggetto edilizio: tutte le informazioni e i dati acquisiti dall'analisi multidimensionale del bene architettonico possono essere organizzati in un Building Information Model (Matthews et alii, 2018). L'approccio Building Information Modeling può offrire la possibilità di gestire integralmente la complessità delle informazioni e dei valori riferiti ai sistemi tecnologici e ai componenti che costituiscono l'architettura, oltre che ai relativi momenti differenti del ciclo di vita dello stesso.

Il BIM va quindi a integrarsi con le analisi di Life Cycle Assessment (LCA) volte alla stima dell'impatto ambientale nelle costruzioni, in tutto il loro ciclo di vita, dalla fase di produzione dei materiali, al loro trasporto in opera, alla installazione e manutenzione, fino alla dismissione (Chong et alii, 2017). Tale approccio mira a esporre le modalità secondo le quali il BIM gestisce ampie quantità di dati, contribuendo così a fornire in fase di progettazione informazioni circa la sostenibilità delle scelte operate in aggiunta ad altri dati e valutazioni, supportando le diverse scelte che un tecnico o un utente è tenuto a svolgere nell'ottica della circolarità, non solo durante la vita dell'edificio ma anche nelle successive fasi di demolizione e recupero di componenti e materiali.

Edilizia circolare e materiali da costruzione – La spinta verso modelli economici di tipo circolare, orientati cioè alla promozione e adozione di strategie che minimizzano il prelievo di risorse non rinnovabili, trova nel settore delle costruzioni un interessante campo di indagine e di sperimentazione

(Sennett, 2008; Osservatorio Recycle, 2017; Starace and Realacci, 2018). L'idea che l'economia circolare – concetto che ha le sue radici negli anni Settanta – possa configurarsi come un vero e proprio strumento di sviluppo per il settore delle costruzioni¹ deriva dal fatto che si tratta di un settore con un forte impatto ecologico-ambientale dovuto sia ai consumi di risorse non rinnovabili sia alla produzione di scarti e rifiuti (Fig. 10). In un'ottica di circolarità, ossia di valorizzazione delle risorse che prevede il superamento dell'idea stessa di rifiuto, l'industria delle costruzioni dovrà lavorare sulla riduzione degli sprechi, il che si traduce in un'attenzione particolare, prima di tutto, sia alle modalità costruttive/dismissione sia ai materiali impiegati. La Fondazione Ellen MacArthur, nell'ambito delle sue attività rivolte alla promozione di una transizione verso l'economia circolare, ha sviluppato un diagramma a farfalla che graficizza l'idea secondo cui i materiali possono essere articolati in due diversi cicli: quello biologico e quello tecnico. «All'interno del ciclo biologico, rinnovabile e vegetale le risorse sono utilizzate, rigenerate e restituite in modo sicuro alla biosfera – come nel compostaggio o digestione anaerobica. All'interno del ciclo tecnico, i prodotti creati dall'uomo sono progettati in modo che alla fine della loro vita utile – quando non possono più essere riparati e riutilizzati per il loro originale scopo – i loro componenti sono separati e riutilizzati, o rigenerati in nuovi prodotti. Ciò evita l'invio di rifiuti alla discarica e crea un ciclo a circuito chiuso» (ARUP, 2016, p. 16).

Uno degli esiti più significativi della ricerca portata avanti dalla Fondazione è il ReSOLVE framework basato su sei azioni strategiche: Rigenerare, Condividere, Ottimizzare, Ciclo continuo, Virtualità, Scambio (MacArthur et alii, 2015). Tali azioni, restringendo il campo ai materiali da costruzione, hanno delle ricadute sulle filiere produttive che le adottano e, pertanto, dovranno essere prevalentemente orientate a promuovere l'utilizzo

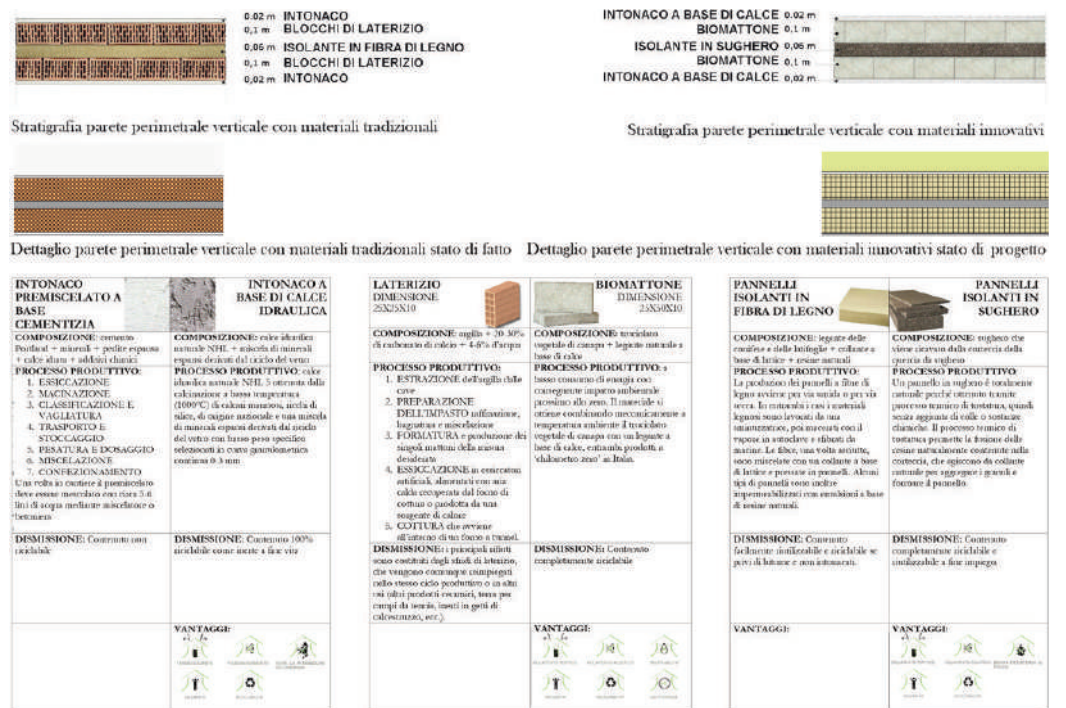


Fig. 3 - Comparison between traditional and innovative materials for the perimeter wall with BIM platform (credit: R. Russo).

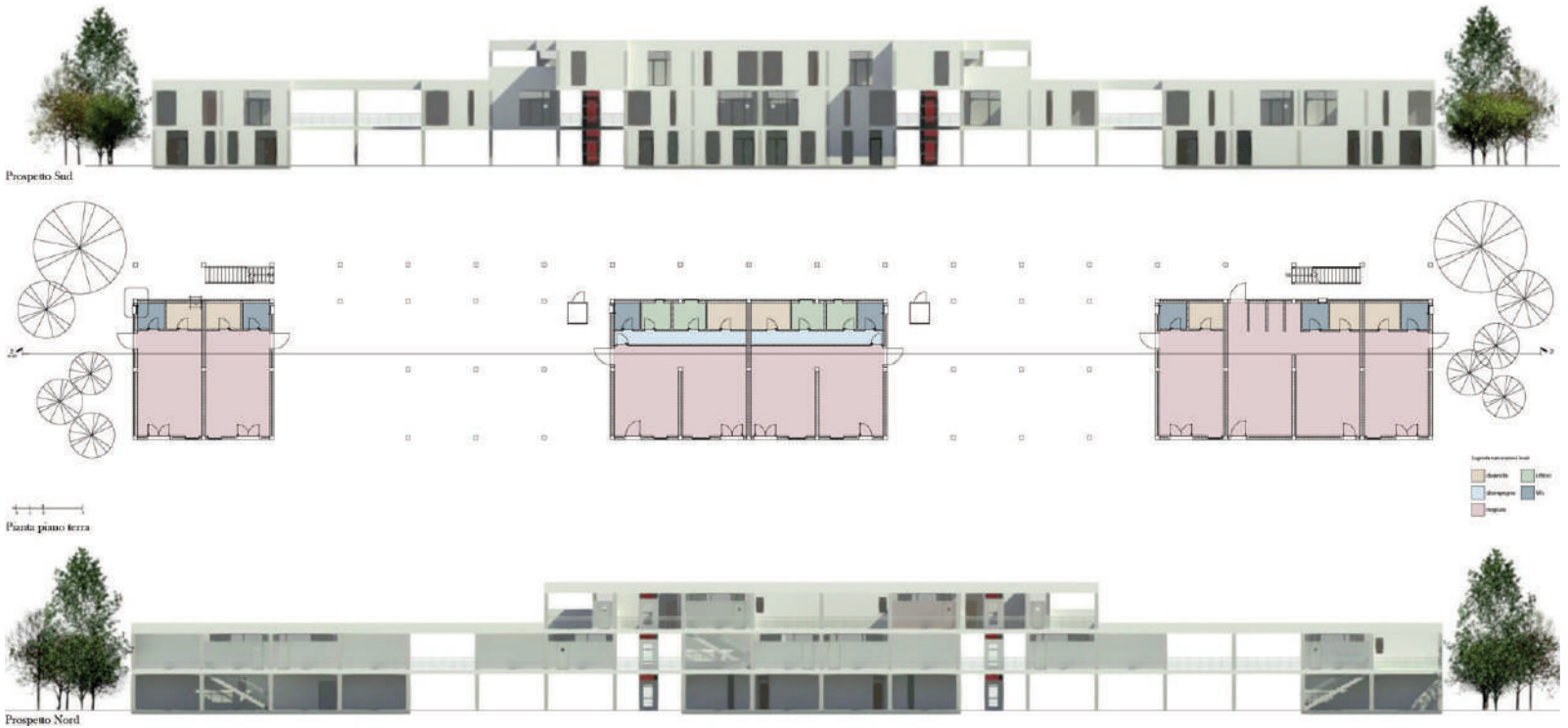


Fig. 4 - Ground floor plan and North and South elevations from BIM platform (credit: R. Russo).

di materiali e risorse disponibili localmente, ottimizzandone il potenziale e minimizzandone gli scarti. Un approccio questo che si interfaccia necessariamente con il concetto di innovazione sia di processo che di prodotto. Parafrasando il lavoro fatto dallo studio ARUP, e trasferendo pertanto il contenuto delle sei azioni all'ambiente costruito, è possibile evidenziare le interrelazioni tra un approccio di tipo circolare e il ruolo dei materiali da costruzioni nell'intero ciclo di vita dell'edificio. Tale interesse, che trova attualmente un contesto di sviluppo nell'ambito dell'economia circolare, ha un background maturato anche nel settore scientifico della Tecnologia dell'Architettura la quale ha promosso ricerche e sperimentazioni sul ciclo di vita degli edifici e sul riciclo/recupero/riutilizzo dei materiali da costruzione e demolizione a partire dagli anni Novanta². Attualmente chi si occupa di questi argomenti di ricerca deve confrontarsi con la presenza di strumenti digitali, grazie ai quali è possibile sperimentare modelli di costruzione 'arricchiti' da una serie di dati che, messi a sistema, possono fornire un supporto decisionale rispetto a specifici focus nell'ottica della sostenibilità. La tecnologia BIM, utilizzata nel caso studio illustrato, consente l'inserimento di dati diversificati, che vanno opportunamente costruiti e selezionati, affinché siano misurabili (quantitativamente o qualitativamente) e, di conseguenza, confrontabili.

L'analisi del ReSOLVE framework – utilizzata nella ricerca in oggetto – è stata utile per individuare focus critici rispetto ai quali orientare, in una fase successiva dello studio ancora in corso, l'insieme di criteri di controllo per la valutazione dei materiali rispetto al loro impatto nell'intero ciclo di vita. Il ReSOLVE framework applicato all'ambiente costruito, infatti, fornisce indicazioni di carattere strategico per l'individuazione dei parametri e dei descrittori inerenti i materiali che, una volta messi a sistema, potranno supportare il progettista nelle diverse fasi del ciclo di vita dell'edificio.

In particolare, l'analisi puntuale delle azioni strategiche che di seguito si propone, è funzionale al tema dei materiali da costruzione: essa evidenzia, infatti, soprattutto gli aspetti che favoriscono riflessioni in merito al ruolo e alla potenzialità che un approccio di tipo circolare applicato ai materiali da costruzione può portare in termini di riduzione dell'impatto ambientale.

Rispetto all'azione Rigenerare, un uso più efficiente dei materiali da costruzione, con sensibile riduzione del conferimento in discarica, ha un impatto positivo in termini di miglioramento delle performance dell'edificio se riferito al concetto stesso di circolarità. L'introduzione di criteri progettuali relativi al riutilizzo di materiali e alle modalità di demolizione/smontaggio consente di rispondere meglio al bisogno di edifici e città più resilienti in grado cioè di far fronte alle esigenze degli utenti in continua evoluzione (Marini and Santangelo, 2013; Mayor of London, 2018).

L'asse strategico Condivisione è sicuramente importante se pensiamo non solo alla condivisione di informazioni ma, soprattutto, alla realizzazione di un codice che consenta di confrontarle e renderle comprensibili, così che possano confluire in pratiche consolidate a livello progettuale. Probabilmente l'utilizzo di una metodologia come quella BIM può favorire e rendere più agevole questa condivisione uniformando, ad esempio, alcune tipologie di dati. La circolarità intesa come condivisione di beni e servizi si traduce anche nella creazione di luoghi, virtuali o meno, di stoccaggio per la rivendita e ridistribuzione di materiali e componenti, il che comporta numerosi benefici soprattutto rispetto alle conseguenze delle collaborazioni che vengono a crearsi tra i soggetti coinvolti.

Il concetto di Ottimizzazione applicato al mondo delle costruzioni si traduce nell'esigenza di mantenere in efficienza componenti e materiali durante tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio: lavorare, quindi, sulla durabilità dei materiali e sulla

compatibilità tecnologica delle componenti, in modo da massimizzare le potenzialità di riutilizzo e aumentare il controllo della qualità dei prodotti. La modularità e l'industrializzazione delle fasi costruttive, ovviamente, riducono la produzione di rifiuti e scarti. Sia il ciclo biologico sia quello tecnico prevedono delle modalità di recupero e riciclo dei materiali che garantiscano il compimento del Ciclo continuo. Naturalmente la corretta programmazione dei cicli manutentivi contribuisce alla riuscita del proseguimento della vita del materiale o del componente le cui prestazioni dovrebbero essere costantemente monitorate. Più si mantengono inalterate le proprietà dei materiali a fine vita, più si riduce la necessità di approvvigionarsi di materie prime, con benefici anche in termini di riduzione dei costi economici e ambientali.

Gli aspetti legati all'azione Virtualità sono riconducibili prevalentemente al BIM come strumento in grado di fornire informazioni relative a tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio. Tale metodologia consente sia di realizzare delle vere e proprie banche dati di materiali sia di controllare le fasi di manutenzione fondamentali per il mantenimento in efficienza dei sistemi e componenti. L'azione Scambio, può essere intesa come sostituzione di vecchie strategie con nuovi approcci basati su criteri di scelta dei materiali e prodotti innovativi che, ad esempio, indirizzino verso l'uso di materiali rinnovabili o biologici al posto di materiali che presentano una scarsa attitudine a essere recuperati.

L'applicazione del ReSOLVE framework al mondo delle costruzioni, se da un lato conferma gli esiti di ricerche e sperimentazioni condotte da decenni sul tema della sostenibilità, dall'altro, apre a nuovi scenari in cui l'edificio è concepito in rapporto a tutto il ciclo di vita e non solo rispetto al suo uso finale. Un approccio in cui grazie ai modelli BIM sarà possibile condividere in maniera dinamica dati, scelte e esiti progettuali con il comune

obiettivo di rendere il processo edilizio un ciclo continuo. Dalla lettura delle suddette azioni strategiche emerge così un'indicazione rilevante rispetto ai criteri da individuare per il controllo della dimensione ambientale. Infatti, al fine di poter tracciare, quantificare e pianificare il processo di recupero o di riciclo dei materiali impiegati in un determinato manufatto, si evidenzia l'opportunità di ragionare prima di tutto sulla definizione del livello prestazionale dei materiali dopo la loro dismissione. Successivamente, tale criterio dovrà essere integrato in termini di 'potenzialità' a essere sottoposto ai diversi processi di recupero, riutilizzo e riciclo. Ragionare sulle potenzialità significherà, inoltre, tenere nella giusta considerazione tutti quegli aspetti che concorrono alla determinazione dei tempi e dei costi associati ai singoli processi post dismissione. Il tutto non solo per orientare le scelte in fase di progetto, ma anche per facilitare i rapporti tra domanda e offerta di materiali recuperati, nelle filiere dell'edilizia e delle infrastrutture.

Conclusioni – L'applicazione relativa al caso studio di un edificio a uso misto (commerciale e residenziale) ha evidenziato i vantaggi in termini di sostenibilità ambientale derivanti dall'utilizzo di soluzioni costruttive basate su materiali innovativi a matrice naturale rispetto a quelle che impiegano materiali tradizionali. La modellazione degli aspetti geometrici e dimensionali degli elementi tecnologici costitutivi le chiusure e le partizioni interne, così come il confronto qualitativo in termini di sostenibilità nelle diverse fasi di vita dell'edificio, per mezzo di parametri quantitativi descrittivi del dato ambientale dei materiali utilizzati, ha evidenziato la flessibilità della piattaforma BIM come strumento di supporto alle scelte progettuali con una particolare attenzione alla gestione integrata dei vari sistemi tecnologici e componenti che costituiscono l'edificio, nell'intero ciclo di vita. Infine, l'analisi del ReSOLVE framework applicata al mondo delle costruzioni ha evidenziato e confermato la necessità da un lato di promuovere l'uso di materiali a matrice naturale – o che presentino

un'elevata propensione a essere recuperati – dall'altro, di definire il livello prestazionale dei materiali in relazione prevalentemente alla durabilità e compatibilità tecnologica dopo la loro dismissione.

ENGLISH

The main focus of this paper is the study of the environmental dimension of building materials. In depth analysis of innovative materials made with natural matrices are reported. Presently these latter have a great potential for raising awareness among the industrial producers in order to promote productive cycles that connect materials efficiency with environmental compatibility. The aim of this process is to protect and safeguard the ecosystems and the biological cycles of nature. This approach allows to redefine the relation between building and construction materials through the use of innovative materials by definition of criteria for the environmental dimension. In this context, combining multiple variables, such as natural resources savings and the reduction of environmental impacts, it can be found a global reduction in the footprint of each material and the detection of its load capacity.

The integration between BIM technology and control criteria for the evaluation of innovative materials in the building sector is one of the most significant elements of the study, providing, moreover, a decision-making and control tool for both the processes of obsolescence in the recovery of existing projects of the ex-novo project in an eco-oriented key. BIM technology, in fact, digitally rebuilding not only the geometry of a building but proposing a virtual clone, stands as a tool of support for the project in all its phases, allowing a better control than the consolidated traditional processes. In this way, all the elements characterizing the work, from the geometry, to the materials and to the building technologies, to the costs and to the specifications concerning the realization, can be modelled and communicated to the operators interested in the whole design/realization/maintenance process (Saieg et alii, 2018). The proposed

study, putting to system these important potentialities of the BIM platform, aims to provide preliminary support in the choices regarding the building components and the materials that constitute them, through evaluations performance also in terms of the sustainability of the choices themselves. Specifically, for example, there are some simulations that highlight the significant environmental advantages deriving from technological solutions with innovative materials with natural matrix compared to predominantly traditional choices.

Materials with natural matrix and compatibility – Nowadays, among the major human concerns are certainly the environmental issues. The latter, strictly related to the energetic matter, affects in a sharp way the study, the application and the assessment of new technologies, both in terms of innovation and of merely evolution. This condition is applied to all the fields and especially in the building branch that is characterized by high consumption of natural resources, an extreme impact on the environment and on its subsystems. Problems of deterioration and pollution, in fact, are reflected on all the natural subsystems: water, air and soil. Presently technicians and Institutions are involved in finding solutions in order to treat particularly serious cases and to prevent any future problems. Hence, it is important that convenience analysis, usually oriented only to the necessity of saving resources, are coupled with environmental compatibility analysis.

In this context, here are presented points of reflection regarding solutions that use environmental resources with the main goal to take nature principles as a model of sustainable management. Using the nature capacity through its resources is certainly more convenient not only from an environmental point of view, but also economically, since in some cases it prevents the use of expensive system solutions (Kabisch, 2017). In this regard, the present work focuses its attention on the role of innovative materials as key elements of sustainable technological progress for building sector. Until



Fig. 5 - First floor plan: comparison between state of art and project from BIM platform (credit: R. Russo).

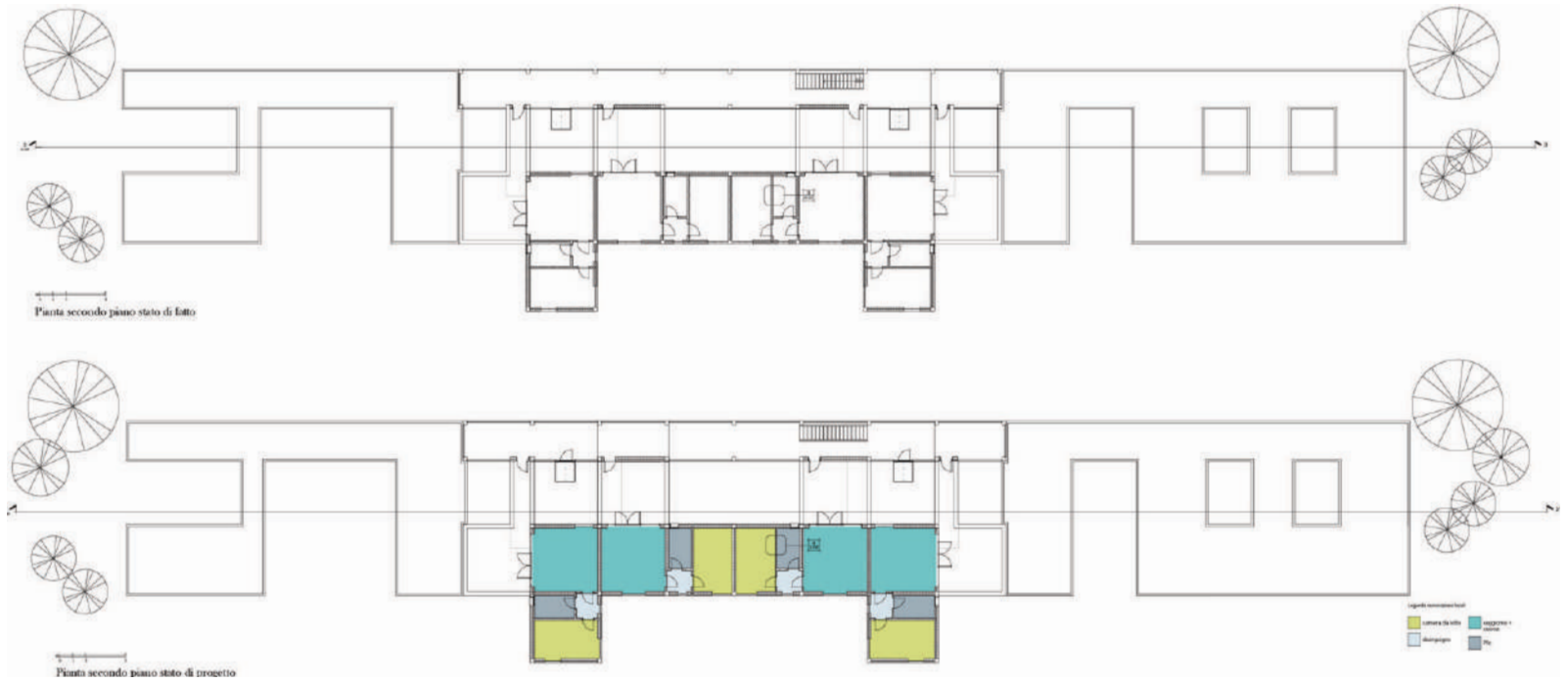


Fig. 6 - Second floor plan: comparison between state of art and project from BIM platform (credit: R. Russo).

some time ago the development of construction materials has been focused mainly on their improvement of performance both in terms of efficiency and resistance over time with an overall control of cost containment. Only in more recent times, attention on environmental issues has been added for the production, the utilization and the final disposal of a given material, taking into account also its possible recycle or reuse (Altamura, 2015; Das and Neithalath, 2019).

In order to contribute to create a more sustainable urban environment it is important to focus the attention on the used materials. In this regard particular potential seems to have the innovative ones that use the renewable resources of the Earth. For definition they present an optimisation of properties with respect to the traditional ones in order to gain an innovative performance in terms of physical and chemical characteristics. Great attention should be given to those materials that allow the improvement of functional performance and that at the same time are attentive to the environmental effects extended to their whole life cycle.

The utilization of innovative material has a great influence on the artificial environment nowadays (Beylerian et alii, 2007) and that overturns the relationship between building and construction materials. While the traditional materials have always done a static function, the innovative ones are characterized in order to acquire a dynamic function, which allows them to adapt to environmental changes. This aspect enables to extend the borders of the discussion on the building and its environmental context through the adequate use of materials. For these applications the most indicated solutions are the smart materials that in the context of innovative materials stand out for their capacity of shifting as an answer to external stimuli and are characterized by the possibility of take advantage of environmental resources using natural principles for their functioning (Casini, 2016; Kretzer, 2017).

Remaining in this context, interesting prospec-

tives are represented by innovative materials with natural matrix that are based on an approach that assimilates the materials with natural elements able to regenerate. Hence, the potential of renewable natural resources of our Planet can be used even for the creation of construction materials as suggested in a suggestive way by the installation *The Circular Garden*, realized by ENI with the collaboration of the design studio Carlo Ratti Associati for the Design Week 2019 in the Botanical Garden of Brera in Milan (Figg. 1, 2). The installation consisted in an exhibition of several structures realized in mycelium as construction material that after the disposal can re-enter in the natural biological cycle. The mycelium, in fact, represents the fibrous root of a fungus and is an organic material that is obviously biodegradable after the disposal and can be used as a fertilizer. The installation, that has promoted the theme of circular economy, and in particular the concept of use and recycle has considerably sensitized the users, technicians and in general the production world towards the opportunity provided by natural materials.

Starting from these premises the proposed work aims to highlight the significant environmental benefits arising from technological solutions with natural matrix innovative materials compared to traditional choices predominantly. This study is pursued with a compatibility analysis of the material in exam that takes into account both natural resources savings and the mitigation of environmental impact (Douglas et alii, 2019). In this regard, this analysis allows to define for each material the limitation of its footprint and the detection of its load capacity defined as the ability to absorb and control phenomena regarding environmental transformations with a sustainable impact for the ecosystems. In particular, the analysed technological solutions represent a vertical and horizontal closure systems and an internal partition for a building example. As shown in the following paragraph, the comparison has been made thanks to the utilization of the BIM platform that has allowed

performance evaluations also in terms of sustainability of used materials (Fig. 3).

Parametric representation of the environmental datum – Parametric modelling through BIM platform offers among the many advantages, such as the temporal dimension connected to the life cycle of the building, that of associating to each element represented not only the geometric data but also other dimensions, customizable by the user. This advantage allows evaluations in order to data associated with each building component that, through the parametric representation, is digitized within the numerical model of the building. The greatest advantage lies in the possibility to evaluate choices both in relation to new buildings and existing, replicating in digital form the whole process of design, building and more generally of life of the building (Tang et alii, 2019). Specifically, the BIM platform offers in the present work a support in the evaluation of technological choices with a view to sustainability related to the case study of a building for mixed, commercial and residential use (Figg. 4-6). In particular, the analysis assesses the performance of the building in comparing constructive solutions based on traditional technologies and materials, compared with innovative environmental matrix solutions. The parametric modelling of the constituent technological elements the horizontal and vertical closures and the internal partitions have been modelled, not only in their geometric and dimensional aspects, but also in function of different parameters that analyse the sustainability of the different stages of the building's life. The flexibility offered by BIM allows the user to define the explanatory parameters of the environmental data from the processing phase of the material and the technological component, until its demolition, disposal and recycling/reuse.

With particular reference to the case study, these evaluations were made through the comparison between two phases of the building's life: a first during which technological and material so-

lutions were of a traditional type, and a second one – in a phase temporally successive – in which the substitution of these elements has been hypothesized with others employing innovative natural-matrix materials. The main objective of the study was the comparison between different technological choices with specific reference to the environmental datum; therefore, the traditional brick of the partition has been replaced with a bio-brick, as well as the traditional plaster with other hydraulic lime based, while the cover has been transformed into a non-workable, expansive green roof (Fig. 7). These technological choices have been assessed, for the purposes of this research, with exclusive reference to the data on the sustainability of the materials used, by parameterizing the values for each component of the organic respiratory allergens and minerals in the processing, the influence in climate change, the presence of carcinogenic substances and radiation in the industrial process of production, as well as the use of fossil fuels, acidification and eutrophication, and eco-toxicity (Fig. 8).

These parameters declined for each component allow to describe and represent numerically the data relating to the sustainability of a component in each phase of the building's life, representing them also through graphs and abachi, descriptive not only of geometric data, cost or energy performance (not covered by this study) but also of environmental and sustainable value. The technolog-

ical elements were, therefore, fully redesigned and reshaped in order to update the family libraries and the parametric data associated with them. The latter were enriched with additional parameters useful for a comparison assessment between the two temporal phases in order to support the relative technological choices. The large amount of information and the complexity of the data to be elaborated, in fact, makes the BIM platform ideal for the evaluation of the environmental sustainability of the constructions (Djuedja et alii, 2019).

The evolution of this design methodology has led to the affirmation of a new approach of representation of architecture by means of Building Information Modeling platforms, a process of realization of a digital model of a work Architecture that contains a large database of information related to each architectural element, structural or plant related, in support of the management of the work in all phases of its life cycle (Building Life-Cycle Management): design, construction, maintenance and disposal (Jalaei et alii, 2019; Dixit et alii 2019). Then changes the design method setting, entrusted in the past to the only flat restitution of the design, modifying the way of perceiving the intervention space and simplifying the communication and the comprehension of the project for the purposes of the process construction (Chu et alii, 2018; Fig. 9). The outcome of this process is an overall digital model of the physical and functional characteristics of the building expressed by the ge-

ometric model and the information associated to its parts with information relating to construction materials, components and to the structural techniques, to the time and to the costs of realization, to the previous interventions, to the state of preservation. The advantage that derives from the application and use of these platforms allows the sharing of information between the professional figures involved in the design and realization of new construction or maintenance interventions on existing built Heritage (Saieg et alii, 2018).

The parametric model BIM follows, parallel to the actual building, all the phases of the life cycle, up to a level of knowledge and deepening (LOD) that considers the flow of materials and time of execution of the works and the relative economic evaluation. This information management capability is integrated with the possibility to visualize all systems and components, assembled or sequentially, in different scales from the whole project or the individual elements, and of the Clash-detection, that penalise time and cost and management. The use of BIM technology, therefore, allows, through queries from the databases, the extension of the cognitive surveys aimed at the management and enhancement of the building object: all the information and data acquired from the analysis multi-dimensional architectural good can be arranged in a Building Information Model (Matthews et alii, 2018). The Building Information Modeling approach can offer the possibility to manage in full

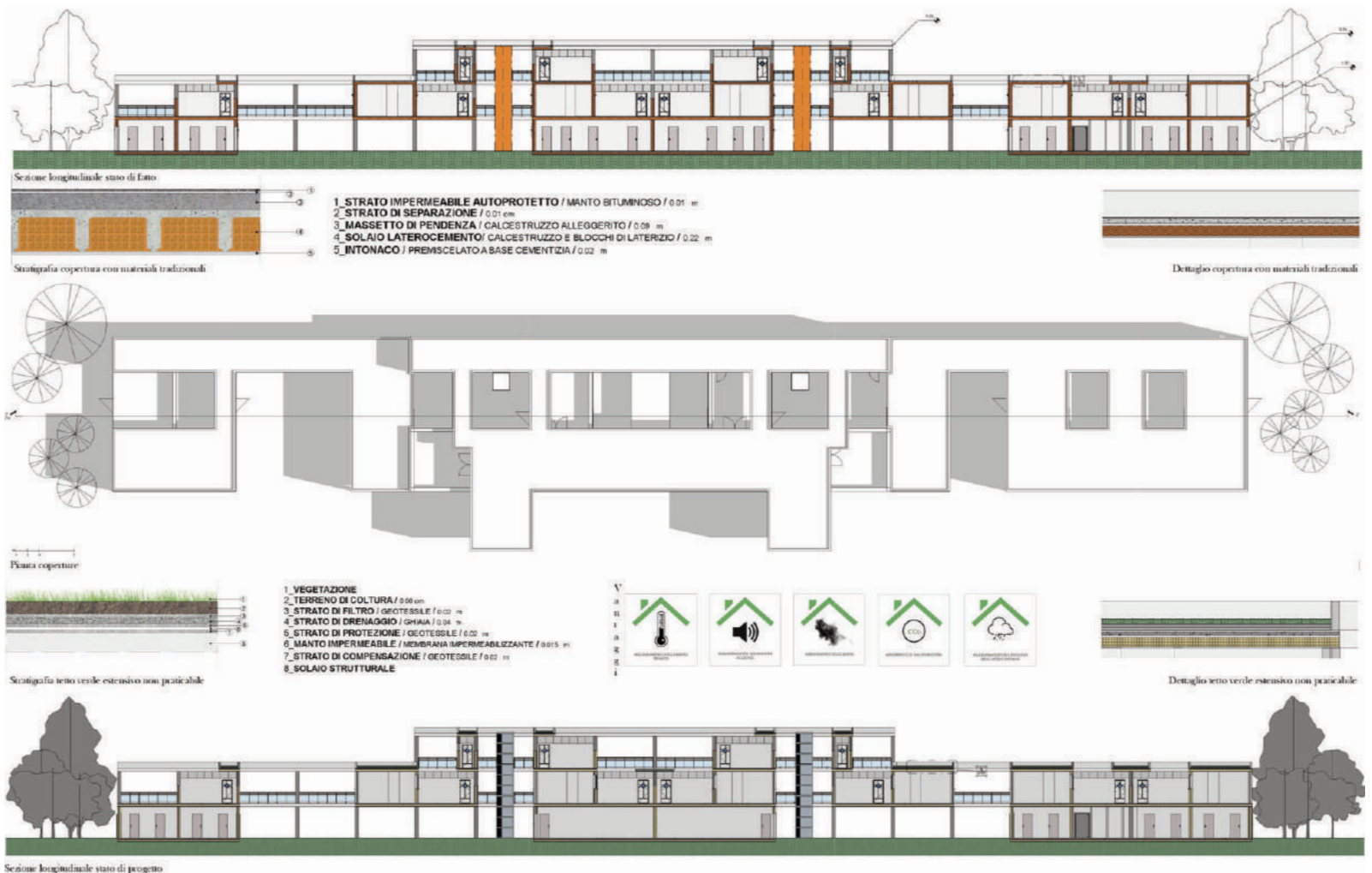


Fig. 7 - Roof plan and vertical sections: comparison between traditional and innovative materials from BIM platform (credit: R. Russo).

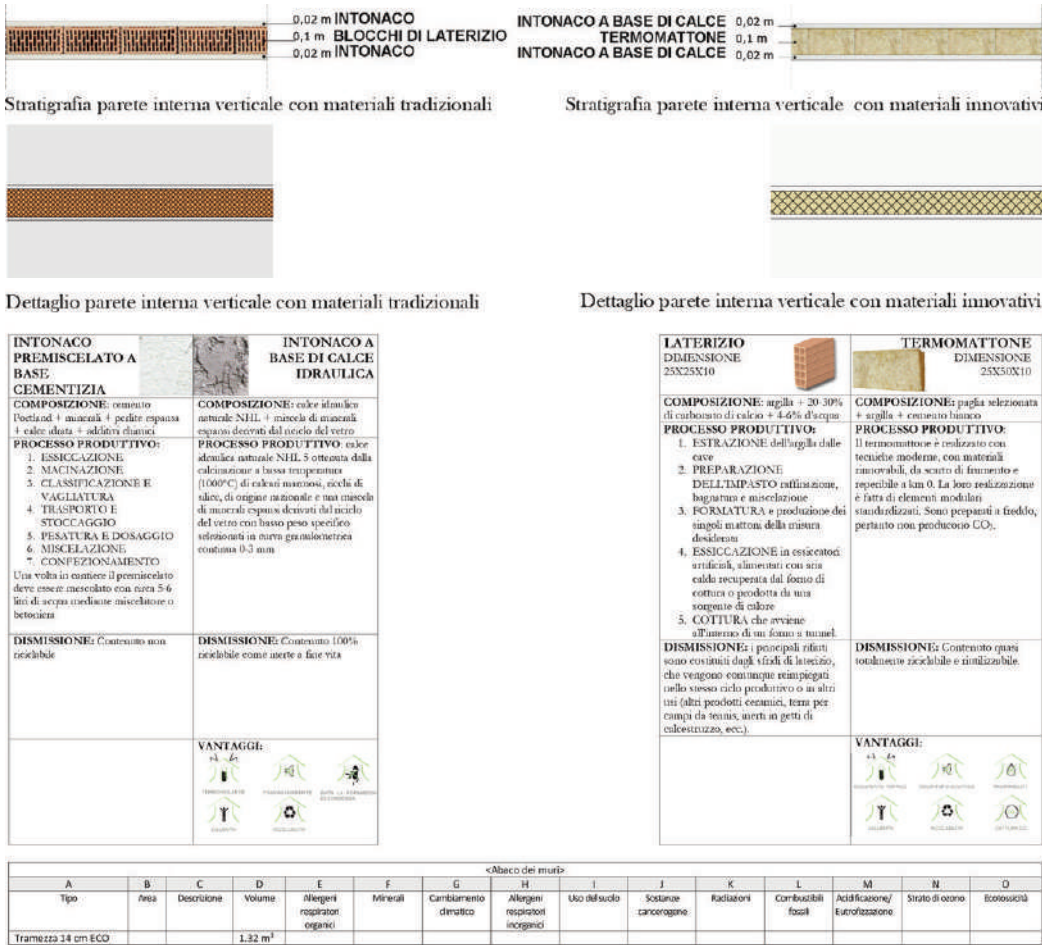


Fig. 8 - Comparison between traditional and innovative materials for interior partition from BIM platform (credit: R. Russo).

the complexity of the information and the values related to the technological systems and the components that make up the architecture, as well as to its different moments of the life cycle of the same.

The BIM is therefore integrated with the analysis of Life Cycle Assessment (LCA) aimed at estimating the environmental impact in buildings, throughout their life cycle, from the production phase of the materials, to their transport in work, to the installation and maintenance, until the dismissal (Chong et alii, 2017). This approach aims at exposing the ways in which BIM manages large amounts of data, thus contributing to the design of information about the sustainability of the choices made in addition to other data and evaluations, supporting the several choices that a technician or user is obliged to carry out in the perspective of circularity not only during the life of the building but also in the subsequent stages of demolition and recovery of components and materials.

Circular construction and building materials – The thrust towards economic models of a circular type, i.e. oriented to the promotion and adoption of strategies that minimize the collection of non-renewable resources, finds in the construction sector an interesting field of investigation and experimentation (Sennett, 2008; Osservatorio Recycle, 2017; Starace and Realacci, 2018). The idea that the circular economy – a concept that has its roots in the Seventies – can be a real tool of development for the construction¹ sector stems from the fact that it is a sector with a strong ecological-environmental impact due both to the consumption of non-renew-

able resources and to the production of waste (Fig. 10). In a perspective of circularity, that is, the enhancement of resources that involves overcoming the idea itself of rejection, the construction industry will have to work on reducing waste, which translates into a particular attention, first of all, to the constructive and disposal modalities as well as to the materials used. The Ellen MacArthur Foundation, as part of its activities aimed at promoting a transition to the circular economy, has developed a butterfly chart that graphizes the idea that materials can be articulated according to two different cycles: the biological one and the technical one. « Within the biological cycle, renewable and plant-based resources are used, regenerated and safely returned to the biosphere – as in composting or anaerobic digestion. Within the technical cycle, man-made products are designed so that at the end of their service life – when they can no longer be repaired and reused for their original purpose their components are extracted and reused, or re-manufactured into new products. This avoids sending waste to landfill and creates a closed-loop cycle» (ARUP, 2016, p. 16).

One of the most significant outcomes of the research carried out by the Foundation is the ReSOLVE framework based on six strategic actions: Regenerate, Share, Optimize, Loop, Virtualise, Exchange (MacArthur et alii, 2015). These actions, restricting the field to building materials, have re-lapses on the production chains that adopt them and, therefore, must be predominantly geared towards promoting the use of locally available materials and resources, optimising its potential and

minimizing its waste. An approach that necessarily interfaces with the concept of both process and product innovation. By paraphrasing the work done by the ARUP studio, and thus transferring the content of the six actions to the built environment, it is possible to highlight the interrelations between a circular approach and the role of construction materials throughout the whole life cycle of the building. This interest, which currently finds a development context within the framework of the circular economy, has a background also matured in the scientific field of Architecture Technology which has promoted research and experimentations on the life cycle of Buildings and on the recycling/recovery/reuse of construction materials and demolition from the Nineties². Currently, those who deal with these research topics must confront the presence of digital tools, thanks to which it is possible to experiment with 'enriched' construction models from a series of data that, put to system, can provide a support with specific focus in the perspective of sustainability. The BIM technology, used in the illustrated study case, permits the insertion of diversified data, which must be suitably constructed and selected, so that they can be measured (quantitatively or qualitatively) and, consequently, comparable.

The ReSOLVE Framework analysis – used in the research in question – has been useful for identifying critical focus in relation to which orientate, at a later stage of the study still in progress, the set of control criteria for the evaluation of materials than their impact within the life cycle. The ReSOLVE framework applied to the built environment, in fact, provides strategic indications for the identification of parameters and descriptors concerning the materials that, once set to system, will be able to support the designer in the different phases of the building's life cycle. In particular, the punctual analysis of the strategic actions that is proposed below, is functional to the theme of construction materials: it highlights, in fact, above all the aspects that foster reflections on the role and the potential that a circular approach applied to building materials can lead in terms of reducing environmental impact.

Compared to the Regenerate action, a more efficient use of building materials, with a significant reduction in landfills, has a positive impact in terms of improving the building's performance when referring to the concept itself of circularity. The introduction of design criteria relating to the reuse of materials and the dismantling mode allows to better respond to the need for more resilient buildings and cities able to cope with the constantly evolving requests of users (Marini and Santangelo, 2013; Mayor of London, 2018).

The strategic axis Share is certainly important if we think not only to the sharing of information but, above all, to the creation of a code that allows us to compare and make them understandable, so that they can converge in consolidated practices at the design level. Probably the use of a methodology like that BIM can facilitate and make this sharing easier by standardising, for example, some types of data. The circularity understood as sharing of goods and services also translates into the creation of places, whether virtual or not, of storage for the resale and redistribution of materials and components, which involves many benefits especially compared to the consequences of the col-

laborations that come to be created among the subjects involved.

The concept of Optimization applied to the world of constructions translates into the need to maintain components and materials in efficiency during all phases of the building's life cycle: to work, therefore, on the durability of the materials and on the technological compatibility of components in order to maximize the reuse potential and increase the control of the products quality. The modularity and industrialization of the construction phases, of course, reduce the production of wastes. Both the biological and the technical cycle provide for the methods of recovery and recycling of the materials that guarantee the completion of the continuous Cycle. Of course, the correct programming of maintenance cycles contributes to the continuation of the life of the material or component whose performance should be constantly monitored. The more you maintain unchanged the properties of the materials at the end of life, the more you reduce the need to obtain raw materials, with benefits also in terms of reducing economic and environmental costs.

The aspects related to Virtualise are mainly attributable to BIM as a tool able to provide information about all phases of the life cycle of the building. This methodology allows both to realize real databases of materials and to control the essential maintenance phases for the keeping in efficiency of the systems and components. The Exchange action can be understood as the substitution of old strategies with new approaches based on criteria of choice of materials and innovative products that, for example, direct towards the use of renewable or biological materials instead of materials that have a lower attitude to be recovered.

The application of the ReSOLVE framework to the world of constructions, while confirming the results of research and experimentation carried out for decades on the subject of sustainability, on the other, opens up to new scenarios in which the building is conceived in relation to the whole cycle of life and not only with respect to its final use. An approach in which thanks to the BIM models it will be possible to share in a dynamic way data, choices and project outcomes with the common objective of making the building process a continuous cycle. From the reading of these strategic actions there emerges a relevant indication in relation to the criteria to be identified for the control of the environmental dimension. In fact, in order to be able to trace, quantify and plan the process of recovery or recycling of materials used in a particular artefact, we highlight the opportunity to reason first of all on the definition of the performance level of materials after their dismissal. Subsequently, this criterion must be integrated in terms of 'potentialities'

ties' to be subjected to the different processes of recovery, reuse and recycling. Thinking about potential will mean, moreover, keeping in the right consideration all those aspects that contribute to the determination of the times and costs associated with post-disposal distinct processes. This is not only to guide the choices in the project phase, but also to facilitate the relationship between supply and demand of recovered materials, in the building and infrastructure sectors.

Conclusions – The application to the case study of a mixed-use building (commercial and residential) highlighted the advantages in terms of environmental sustainability deriving from the use of constructive solutions based on natural matrix innovative materials than those employing traditional materials. The modelling of the geometric and dimensional aspects of the technological elements constituting the internal closures and partitions, as well as the qualitative comparison in terms of sustainability in the different phases of the building's life, by means of parameters Descriptive quantities of the environmental data of the materials used, highlighted the flexibility of the BIM platform as a tool to support the design choices with a particular attention to the integrated management of the various technological systems and components that make up the building throughout the lifecycle. Finally, the analysis of the ReSOLVE framework applied to the construction world has highlighted and confirmed the necessity on the one hand to promote the use of natural matrix materials – or that they have a high propensity to be recovered – on the other, to define the performance level of materials in relation mainly to durability and technological compatibility after their disposal.

ACKNOWLEDGEMENTS

The paper is the result of a common reflection by the Authors. Nevertheless, the paragraph 'Materials with natural matrix and compatibility' is by R. Franchino, the paragraph 'Parametric representation of the environmental datum' is by N. Pisacane and the paragraph 'Circular construction and building materials' is by C. Frettoloso.

The images n. 3-9 are related to the thesis research by R. Russo titled BIM Platform Application to Define Building Innovative Materials.

The publication of this paper is realized thanks to the contribution of the 'Progetto VALERE – Fondi 2019'.

NOTES

- 1) For a deepening, cfr.: *Edilizia circolare: parte il primo 'speciale' di green.it*. [Online] available at: <https://www.green.it/edilizia-circolare/> [Accessed 26 March 2019].
- 2) For a deepening, cfr.: Gangemi, V. (ed.) (1991), *Architettura e tecnologia appropriata*, FrancoAngeli, Milano; Gangemi, V. (ed.) (2004), *Riciclare in Architettura: scenari innovativi della cultura del progetto*, Clean Edizioni, Napoli.

REFERENCES

- Altamura, P. (2015), *Costruire a zero rifiuti. Strategie e strumenti per la prevenzione e l'upcycling dei materiali di scarto in edilizia*, FrancoAngeli, Milano.
- ARUP (2016), *The Circular Economy in the Built Environment*. [Online] available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment> [Accessed 26 March 2019].
- Beylerian, G. M., Dent, A. H. and Quinn, B. (2007), *Ultra Materials: How Materials Innovation is Changing the World*, Thames and Hudson, New York.
- Casini, M. (2016), *Smart Buildings. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance*, Woodhead Publishing.
- Chong, H. Y., Lee, C. Y. and Wang, X. (2017), "A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability", in *Journal of Cleaner Production*, n. 142, pp. 4114-4126.
- Chu, M., Matthews, J. and Love, P. E. (2018), "Integrating mobile building information modelling and augmented reality systems: an experimental study", in *Automation in Construction*, n. 85, pp. 305-316.
- Das, B. B. and Neithalath, N. (eds) (2019), *Sustainable Construction and Building Materials*, Springer.
- Dixit, M. K., Venkatraj, V., Ostadalimakhmalbaf, M., Pariafsai, F. and Lavy, S. (2019), "Integration of facility management and building information modeling (BIM) A review of key issues and challenges", in *Facilities*, vol. 37, issue 7-8, pp. 455-483.
- Djuedja, J. F. T., Karray, M. H., Fogue, B. K., Magniont, C. and Abanda, F. H. (2019), "Interoperability Challenges in Building Information Modelling (BIM)", in Popplewell, K., Thoben, K. D., Knothe, T. and Poler, R. (eds), *Enterprise Interoperability VIII. Proceedings of the I-ESA Conferences*, vol. 9, Springer, Cham, pp. 275-282.
- Jalaei, F., Zoghi, M. and Khoshand, A. (2019), "Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM)", in *International Journal of Construction Management*. [Online] available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15623599.2019.1583850> [Accessed 30 March 2019].
- Kabisch, N., Bonn, A., Korn, H. and Stadler, J. (eds) (2017), *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages Between Science, Policy and Practice*, Springer.
- Kretzer, M. (2017), *Information Materials. Smart Materials for Adaptive Architecture*, Springer.
- MacArthur, D. E., Zumwinkel, K. and Stuchtey, M. R. (2015), *Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe*. [Online] available at: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf [Accessed 26 March 2019].
- Marini, S. and Santangelo, V. (eds) (2013), *Nuovi cicli di vita per architetture e infrastrutture della città e del paesaggio*, Aracne, Roma.
- Matthews, J., Love, P. E., Mewburn, J., Stobaus, C. and Ramanayaka, C. (2018), "Building information mod-

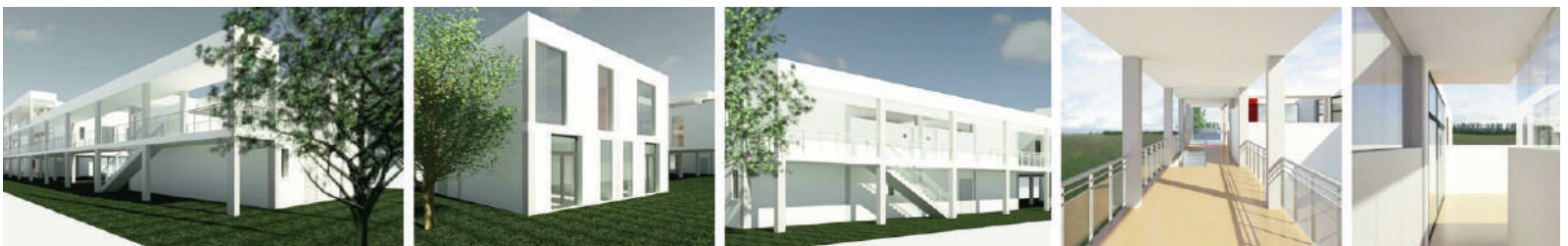


Fig. 9 - Render from BIM platform (credit: R. Russo).

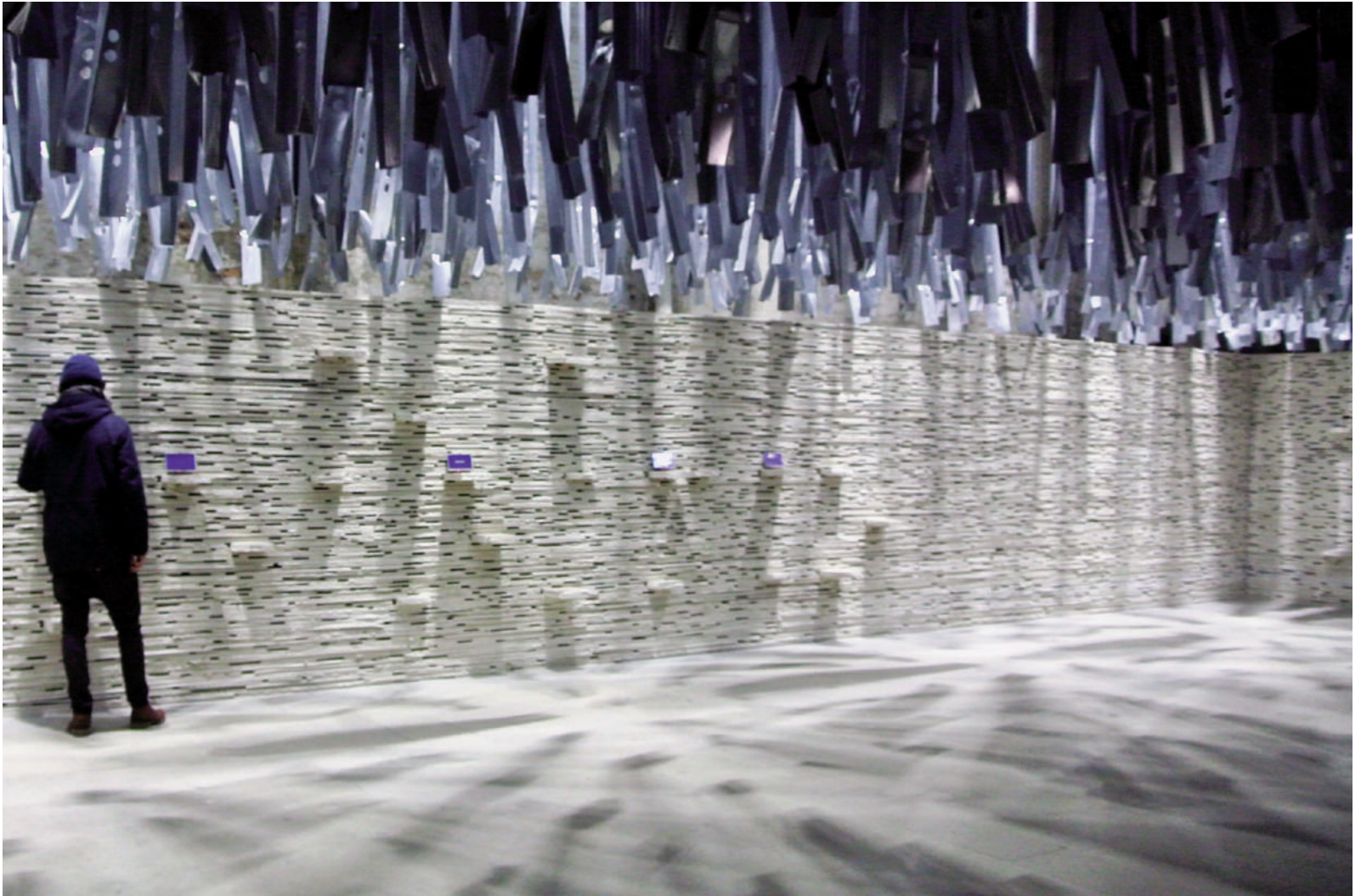


Fig. 10 - Italy Pavilion (Focus: Recycling, Reuse, Urban Regeneration), XV International Biennale Architecture: the 'heavy curtain' of metal is made with waste materials from the previous Biennale exhibition (credit: C. Frettoloso).

elling in construction: insights from collaboration and change management perspectives”, in *Production Planning & Control*, vol. 29, issue 3, pp. 202-216.

Mayor of London (2018), *London Environment Strategy*, Greater London Authority, London.

Mulhall, D., Braungart, M. and Hansen, K. (2019), *Creating buildings with positive impacts*, Technische Universität München, München.

Osservatorio Recycle (2017), *L'economia circolare nel settore delle costruzioni*. [Online] available at: https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/rapporto_recycle_2017.pdf [Accessed 28 March 2019].

Saieg, P., Sotelino, E. D., Nascimento, D. and Caiado, R. G. G. (2018), “Interactions of building information modeling, lean and sustainability on the architectural, engineering and construction industry: a systematic review”, in *Journal of cleaner production*, n. 174, pp. 788-806.

Sennett, R. (2008), *L'uomo artigiano*, Feltrinelli, Milano.

Starace, F. and Realacci, E. (2018), *100 Italian circular economy stories*. [Online] available at: <http://www.symbola.net/html/article/100italiancircularconomy> [Accessed 28 March 2019].

Tang, S., Sheldon, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P. and Gao, X. (2019), “A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends”, in *Automation in Construction*, n. 101, pp. 127-139.

^a ROSSELLA FRANCHINO, engineer and PhD, Associate Professor at the Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania 'Luigi Vanvitelli' (Italy). She carries out research on the themes of quality and environmental characters control, with the detection of degradation phenomena caused by anthropogenic activity and with the identification means and intervention strategies for the recovery, improvement and protection. Mob. +39 334/99.16.734. E-mail: rossella.franchino@unicampania.it

^b CATERINA FRETTOLOSO, Architect and PhD, is Assistant professor at the Department of Architecture and Industrial Design, Università degli Studi della Campania 'Luigi Vanvitelli' (Italy). She carries out research on the themes of the qualification of the settlements and environmental systems with particular attention to the regeneration of the open urban spaces and the sensitive contexts (archaeological areas and landscapes). Mob. +39 339/22.82.786. E-mail: caterina.frettoloso@unicampania.it

^c NICOLA PISACANE, Architect and PhD, Associate Professor at Department of Architecture and Industrial Design, Università degli Studi della Campania 'Luigi Vanvitelli' (Italy). Author of scientific papers and proceedings of international and national congresses about landscape, territorial and architectural representation. Mob. +39 339/86.58.673. E-mail: nicola.pisacane@unicampania.it