

Tecnologie *Plug-and-Play* e processo innovativo (*Mapping/Modelling/Making/Monitoring*) negli interventi di *deep renovation*

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Emanuele Piaia^a, Beatrice Turillazzi^b, Danila Longo^b, Andrea Boeri^b, Roberto Di Giulio^a,

^a Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, Italia

^b Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Bologna, Italia

emanuele.piaia@unife.it
beatrice.turillazzi@unibo.it
danila.longo@unibo.it
andrea.boeri@unibo.it
dgr@unife.it

Abstract. *Deep renovation* è il termine con il quale la *Energy Efficiency Directive* della CE (2012/27) definisce gli interventi di ristrutturazione edilizia, economicamente vantaggiosi, che consentono di ridurre i consumi energetici di un edificio per un valore pari ad almeno il 60% rispetto alla condizione precedente all'intervento. In questo ambito il progetto di ricerca P2ENDURE, finanziato dalla Unione Europea nel quadro del programma Horizon2020, è finalizzato alla messa a punto strategie di recupero, riconversione funzionale e miglioramento delle prestazioni energetiche di edifici esistenti basate sull'utilizzo di tecnologie e componentistica *Plug-and-Play* testate su 10 casi studio secondo una procedura denominata 4M (*Mapping/Modelling/Making/Monitoring*).

Parole chiave: Tecnologie *Plug-and-Play* (PnP); *Building Information Modelling* (BIM); *Deep renovation*; Edifici a elevata efficienza energetica; Sostenibilità economica.

Introduzione e contesto di riferimento

Il settore delle costruzioni è responsabile di quasi il 40% del consumo energetico, del 55% di quello elettrico e del 36% delle emissioni di CO₂ dell'intera Unione Europea (Commissione Europea, 2014): la riduzione fino al 90% di tali emissioni attraverso il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio immobiliare risulta un obiettivo strategico da raggiungere entro il 2050, sulla base degli standard indicati dalla Direttiva sulla Performance Energetica degli Edifici (EPBD 2010) e dalla Direttiva sull'Efficienza Energetica (EED 2012). L'intervento sugli edifici esistenti diventa quindi una priorità, sollecitata anche dalla loro data di costruzione che, per oltre il 90%, è precedente al 1990 (BPIE 2011). Il mediocre comportamento energetico dovuto alle prestazioni sia dell'involucro edilizio che degli impianti per il riscaldamento e condizionamento (Roaf, 2015) – che ha ripercussioni anche sul comfort ambientale inter-

Plug-and-Play and innovative process technologies (*Mapping/Modelling/Making/Monitoring*) in *deep renovation* interventions

Abstract. *Deep renovation* is the term coined by the Energy Efficiency Directive of the EC (2012/27) for defining economically advantageous building renovation interventions that make possible the reduction of the energy consumption of a building by at least 60% compared to the condition prior to the refurbishment. In this field, the P2ENDURE research project, funded by the European Union under H2020 programme, is aimed at developing refurbishment strategies, functional transformation and improvement of the energy performance of existing buildings based on the use of *Plug-and-Play* technologies and components tested on 10 case studies according to a procedure called 4M (*Mapping/Modelling/Making/Monitoring*).

Keywords: *Plug-and-Play* (PnP) technologies; *Building Information Modelling* (BIM); *Deep renovation*; Energy-efficient buildings; Economic sustainability.

no – impongono azioni di *deep renovation* che la stessa Direttiva EED 2012 definisce quali interventi di ristrutturazione edilizia, economicamente vantaggiosi, capaci di ridurre i consumi energetici di un edificio per un valore pari ad almeno il 60% rispetto alla condizione precedente. Sono azioni radicali ad approccio integrato che riguardano quindi il sistema involucro/impianti.

Quello della *deep renovation* è un percorso non privo di ostacoli economici (costi elevati, contributi pubblici minimi e ritorno dell'investimento solo a lungo termine), procedurali (frammentazione della catena produttiva), normativi (differenze tra requisiti e linee guida nazionali ed europee) e tecnici (elevata complessità ed estrema varietà tipologica) (Artola, 2016) (Economidou, 2011). È un percorso i cui vantaggi, in termini di comfort e qualità della vita, sono spesso ignorati anche da chi lo dovrebbe attivare, in particolare dai proprietari di edifici residenziali e di edifici pubblici.

Molte di queste barriere possono essere superate grazie all'applicazione di soluzioni *Plug-and-Play* (PnP), termine che nel settore dell'informatica indica componenti che possono essere utilizzati collegandoli semplicemente al computer e che, mutato anche nel settore delle costruzioni, identifica elementi funzionali, modulari e montabili a secco. Si tratta di componenti realizzati prevalentemente in fabbrica, la cui standardizzazione e *user-friendliness* semplifica l'assemblaggio in cantiere riducendo tempi e costi di realizzazione.

La capacità di ottimizzare la propria performance energetica, quella di adattare il proprio comportamento operativo alle esi-

Introduction and reference context

The building sector is responsible for almost 40% of the energy consumption, 55% of the electricity consumption and 36% of the CO₂ emissions of the entire European Union (European Commission, 2014): the reduction of up to 90% of these emissions through the improvement of the energy efficiency of the real estate assets is a strategic objective to be achieved by 2050, based on the standards set by the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD 2010) and the Energy Efficiency Directive (EED 2012).

The intervention on existing buildings therefore becomes a priority, also prompted by their date of construction which, for over 90% of them, is prior to 1990 (BPIE 2011). The mediocre energy behaviour due to the performance of both the building envelope and the heating and cooling systems (Roaf,

2015) – which also has repercussions on the internal environmental comfort – call for *deep renovation* actions that the 2012 EED Directive defines as economically advantageous building retrofitting interventions capable of reducing the energy consumption of a building by at least 60% compared to its previous condition. These are radical actions with an integrated approach that therefore concern the building envelope/MEP-HVAC system.

The *deep renovation* path is not without economic obstacles (high costs, minimum public contributions and returns on investment only in the long term), procedural (fragmentation of the production chain), regulations (differences between national and European requirements and guidelines), and technical (high complexity and extreme typological variety) (Artola, 2016) (Economidou, 2011). It is a path

genze degli utenti e la flessibilità del suo intero sistema in relazione all'ambiente e alle reti esterne (Moseley, 2017) sono le tre caratteristiche chiave di un edificio che lo definiscono come *smart*: le soluzioni PnP contribuiscono efficacemente a questa caratterizzazione.

Le strategie di recupero, riconversione funzionale e miglioramento delle prestazioni energetiche di edifici esistenti basate sull'utilizzo di tecnologie PnP hanno ricadute certe su tutto il processo edilizio ma primariamente sulle metodologie di progetto e si concentrano inevitabilmente sulle fasi esecutive. Il progetto dell'interfaccia diventa un momento decisivo per il raggiungimento dei risultati programmati, sia nella fase di progettazione e controllo di produzione dei componenti che nel progetto dei dettagli costruttivi relativi allo smontaggio delle parti da sostituire e al montaggio dei nuovi elementi.

A tal fine, se utilizzata in modo corretto e coordinato, l'assistenza degli strumenti offerti dalla quarta rivoluzione industriale (Industria 4.0) quali Laser Scanner 3D, Building Information Modelling (BIM), stampanti 3D e robotizzazione, risulta indispensabile. Nel settore delle costruzioni il ricorso alle Realtà Virtuale (VR), Aumentata (AR) e Mista (MR) e l'ampliamento dell'uso del BIM nella fase di cantiere delinea un esempio significativo delle loro potenzialità.

Già nel corso della Rivoluzione Digitale degli anni '80, l'introduzione di uno strumento di rappresentazione come il CAD (Computer-Aided Design), trasferendo il progetto in un ambiente digitale, aveva permesso una precisione di dettaglio e una dilatazione della capacità creativa (Naboni, 2015) mai visti in passato; di contro aveva aggravato la nota discrepanza di *know-how* e la difficile comunicazione esistenti tra gli attori che intervengono

the advantages of which, in terms of comfort and quality of life, are often ignored even by those who should be following it, in particular by the owners of residential buildings and public buildings.

Many of these barriers can be overcome thanks to the application of the Plug-and-Play (PnP) solutions, a term that in the IT sector indicates components that can be used by simply connecting them to the computer and which, when also deployed in the building sector, identifies functional, modular and dry-mountable elements. These are components made predominantly in the factory: their standardisation and user-friendliness on-site assembly reduces construction time and costs.

The ability of a building to optimise its energy performance, adapt its operating behaviour to the needs of users and

the flexibility of its entire system in relation to the environment and external networks (Moseley, 2017) are the three key features that they define a building as smart: Plug-and-Play solutions effectively contribute to this characterisation.

The refurbishment, functional re-use and improvement strategies of the energy performance of existing buildings based on the use of PnP technologies have certain repercussions on the whole building process but primarily on the project methodologies and they inevitably focus on the manufacturing and construction phases. The design of the interface becomes a key moment for the achievement of the planned results, both in the design and production control phase of the components and in the design of the construction details related to the disassembly of the parts to be replaced and the assembly

nel processo edilizio (Sebastian, 2018) e che si caratterizzano appunto per spiccata varietà di competenze, capacità, ruoli e responsabilità.

Industria 4.0 è un modello che, diversamente dai precedenti, riesce a supportare attività e attori diversi attraverso procedure e applicazioni di simulazione integrata tra ambienti reali e digitali e i risultati sono promettenti perché interessano la sfera percettiva, che è esclusiva di uno dei fattori più critici e meno controllabili del processo, il fattore umano.

Ricerche significative correlate

Negli ultimi decenni, ma solo fino al recente – seppur ancora immaturo – avvento della stampa 3D, molti studi si sono focalizzati sugli impianti e sugli elementi di involucro edilizio dotati di elevate prestazioni energetiche, favorendo un intenso processo di trasformazione che è stato caratterizzato dal perfezionamento di tecnologie già disponibili più che dall'introduzione di configurazioni e procedure radicalmente innovative (Antonini, 2014).

Più recentemente, in un contesto di riferimento in grande evoluzione e rispondendo anche ad una richiesta di innovazione da parte dell'industria delle costruzioni che opera nel campo della deep renovation, temi quali la progettazione, la produzione e la digitalizzazione – particolarmente se integrati – sono infine diventati oggetto di progetti di ricerca e sperimentazione, nazionali ed internazionali. Questi ultimi sono stati in larga parte finanziati dalla Commissione Europea nell'ambito degli ultimi due programmi quadro confermando la riqualificazione spinta del patrimonio edilizio esistente come centro della sua strategia di transizione energetica.

of the new elements.

To this end, if used correctly and in a coordinated manner, the assistance of the tools offered by the fourth industrial revolution (Industry 4.0) such as 3D Laser Scanners, Building Information Modelling (BIM), 3D printers and robotization, is essential. In the building sector, the use of Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) and Mixed Reality (MR) and the expansion of the use of BIM in the construction stage outlines a significant example of their potential.

Already during the Digital Revolution of the 1980s, the introduction of a representation tool such as CAD (Computer-Aided Design), by transferring the project into a digital environment, allowed for a precision of detail and an expansion of the creative capacity (Naboni, 2015) never before seen in the past; conversely, it aggravated the

known discrepancy of know-how and the difficult communication existing among the actors who intervene in the building process (Sebastian, 2018) and who are characterized precisely by their marked variety of skills, abilities, roles and responsibilities. Industry 4.0 is a model which, unlike the previous ones, manages to support different activities and actors through integrated simulation procedures and applications between real and digital environments, and the results are promising because they concern the perceptive sphere, which is exclusive to one of the most critical and less controllable factors of the process, namely, the human factor.

Significant related research

In latest decades, but only until the recent – although still immature – advent of 3D printing, many studies have

Le soluzioni proposte da più di 30 progetti finanziati in questo ambito riguardano diversi aspetti quali:

- le tecnologie innovative, comprese le facciate prefabbricate PnP;
- il supporto delle tecnologie ICT (Information and Communication Technology) ai sistemi di gestione BMS (Building Management System) dell'edificio;
- l'integrazione con sistemi di energia rinnovabile RES (Renewable Energy Systems);
- la modellazione BIM e quella di simulazione delle prestazioni energetiche BPSM (*Building Performance Simulation Models*);
- i sistemi di riscaldamento, condizionamento e ventilazione avanzati HVAC (*heating, ventilation and air conditioning*);
- la geomatica avanzata;
- la stampa in 3D.

Sono soluzioni la cui semplice adozione individuale non garantisce il livello di performance che viene richiesto ad un intervento di *deep renovation* per definirsi tale (D'Oca, 2018). Le nuove procedure e le nuove soluzioni possono dirsi efficaci solo se gli aspetti tecnici, finanziari e sociali vengono sufficientemente approfonditi, con particolare riguardo – sin dalle prime fasi di progetto – sia al coinvolgimento e alla partecipazione dell'utenza, che deve essere motivata e consapevole, sia alla stima economica, che deve essere sostenibile.

Il progetto di ricerca P2ENDURE

product and process innovation for Energy-efficient building deep

All'interno di questo campo di ricerca si è collocato il progetto P2ENDURE (*Plug-and-Play*

focused on high energy performance HVAC systems and building envelope elements, favouring an intense transformation process that has been characterised by the optimization of technologies already available more than the introduction of radically innovative configurations and procedures (Antonini, 2014).

More recently, in a context of reference in great evolution and also responding to a request for innovation by the building industry that operates in the field of deep renovation, issues such as design, production and digitisation – particularly if integrated – have finally become the subject of national and international research and experimentation projects. The latter have been largely funded by the European Commission within the sphere of the last two framework programmes, thus confirming the strong redevelopment

of the existing building stock as the centre of its energy transition strategy. The solutions proposed by more than 30 projects financed in this context concern various aspects such as

- innovative technologies, including prefabricated PnP façades;
- the support of ICTs (Information and Communication Technologies) for the BMS (Building Management System) management systems of the building;
- integration with RES (Renewable Energy Systems);
- BIM modelling and BPSM (Building Performance Simulation Models);
- advanced HVACs (Heating, Ventilation and Air Conditioning);
- advanced geomatics;
- 3D printing.

These are solutions the simple individual adoption of which is not able

renovation) cofinanziato per 4 milioni di Euro dalla Commissione Europea nell'ambito del programma di H2020 "*Reducing energy consumption and carbon footprint by smart and sustainable use*" sul tema "EE-10-2016 - Supporting accelerated and cost-effective deep renovation of buildings through Public Private Partnership (EeB PPP)" per il quadriennio 2016-2020 (Fig. 1).

Si tratta di una Innovation Action (IA) condotta da un Consorzio di 16 partners pubblici e privati (8 Piccole e Medie Imprese, 5 grandi imprese, 2 Università e 1 ente locale pubblico) di 5 paesi della Comunità, coordinato dalla società olandese DEMO Consultants bv.

Il progetto di ricerca è finalizzato all'applicazione di sistemi prefabbricati PnP flessibili a basso impatto per la ristrutturazione dell'involucro e degli impianti termici o sistemi di approvvigionamento di energia da fonti rinnovabili di edifici pubblici esistenti, anche storici.

La principale innovazione del progetto risiede nell'uso di procedure di stampa in 3D assistite dalla modellazione BIM del fabbricato esistente integrata dalla scansione con laser scanner 3D e da tecniche di diagnostica avanzata. Se ne prevede l'applicazione, il monitoraggio e la validazione su 10 casi studio distribuiti in 4 macro-aree geografiche, esemplari delle più frequenti tipologie di *deep renovation* in Europa.

Obiettivo strategico è il raggiungimento di un risparmio energetico del 60% in rapporto al fabbisogno energetico primario dell'edificio prima dell'intervento di recupero; obiettivi complementari della ricerca sono inoltre la riduzione del 15% dei costi di ristrutturazione e la riduzione del 50% dei tempi di realizzazione.

to guarantee the level of performance that is required for a deep renovation intervention to be defined as such (D'Oca, 2018). The new procedures and the new solutions can be said to be effective only if the technical, financial and social aspects are analysed sufficiently in depth, with particular regard – right from the early stages of the project – both to the involvement and participation of the user, who must be motivated and aware, and also to the economic estimation, which must be sustainable.

The P2ENDURE research project

Within this field of research, the P2ENDURE (Plug-and-Play product and process innovation for Energy-efficient deep renovation building) project was co-funded for 4 million euros by the European Commission under the H2020 programme "Reduc-

ing energy consumption and carbon footprint by smart and sustainable use" on the topic "EE-10-2016 - Supporting accelerated and cost-effective deep renovation of buildings through Public Private Partnership (EeB PPP)" for the 2016-2020 four-year period (Fig. 1).

This is an Innovation Action (IA) conducted by a Consortium of 16 public and private partners (8 Small and Medium Enterprises, 5 large companies, 2 Universities and 1 public local authority) from 5 Community countries, coordinated by the Dutch company DEMO Consultants B.V.

The research project is aimed at the application of low-impact flexible prefabricated PnP systems for the renovation of the building envelope and HVAC or energy supply systems from renewable sources of existing public buildings, including historic ones.

The main innovation of the project lies



L'approccio 4M del progetto P2ENDURE

cui scopo principale è la riduzione dei costi e dei tempi di esecuzione in cantiere. Le fasi sono 4: *Mapping, Modelling, Making e Monitoring* (P2ENDURE D2.1) (Fig. 2).

La fase del *Mapping* comprende le attività di raccolta di tutta la documentazione disponibile (gli *As Built*, ad esempio) e le attività di rilievo con laser scanner 3D, anche termico, in modo da stabilire le prestazioni energetiche e tecnologiche e la qualità dell'ambiente interno del fabbricato prima della *deep renovation*. Sulla base di un quadro dettagliato dello stato dell'arte viene

Il progetto propone una metodologia innovativa per fasi, definita "processo modulare 4M", il

quindi prodotto uno studio di fattibilità dell'intervento che analizza l'eventuale cambio di destinazione o del modello tipologico e identifichi le prime soluzioni, economicamente e tecnicamente vantaggiose.

quindi prodotto uno studio di fattibilità dell'intervento che analizza l'eventuale cambio di destinazione o del modello tipologico e identifichi le prime soluzioni, economicamente e tecnicamente vantaggiose.

La fase del *Modelling* riguarda la creazione del modello BIM e del modello BEM (*Building Energy Modelling*) dell'edificio allo scopo di produrre un progetto esecutivo corredato della simulazione delle prestazioni energetiche delle diverse soluzioni, che guidi quindi nella scelta di quelle ottimali; il modello permette anche il controllo dell'interfaccia tra l'esistente e i componenti adottati. Il risultato è un progetto contenente anche la scelta delle aziende produttrici degli elementi – scelte tra quelle presenti in

in the use of 3D printing procedures assisted by the BIM modelling of the existing building integrated by scanning with a 3D laser scanner and advanced diagnostic techniques. It is expected to be applied, monitored and validated on 10 demonstration cases distributed in 4 macro-geographical areas, representative of the most frequent types of deep renovation in Europe.

The strategic objective is to achieve energy savings of 60% in relation to the primary energy needs of the building before the renovation interventions; the complementary objectives of the research also include a 15% cut in the construction costs and a 50% reduction of the construction times.

The 4M approach of the P2ENDURE project

The project proposes an innovative methodology by phases, defined as a

"4M modular process", which main purpose is to reduce costs and construction times on site. There are 4 phases: *Mapping, Modelling, Making and Monitoring* (P2ENDURE D2.1) (Fig. 2).

The *Mapping* phase includes the activities of collecting all the available documentation (*As Built*, for example) and the 3D laser scanner survey activities, also thermal, in order to establish the energy and technological performances and the quality of the environment inside the building before the *deep renovation*. Based on a detailed picture of the state-of-the-art, a feasibility study of the intervention is produced that analyses the possible change of destination or the typological model and identifies the initial economically and technically advantageous solutions.

The *Modelling* phase concerns the creation of the BIM model and the BEM

model (*Building Energy Modelling*) of the building in order to produce an executive project accompanied by the simulation of the energy performance of the different solutions, which then acts as a guide in choosing the optimal ones; the model also allows for controlling the interface between the existing and the adopted components. The result is a project that also includes the selection of the manufacturers of the elements – chosen from those present in a special e-Marketplace catalogue – configured as a 5D model.

The *Making* phase is the implementation of the previous phase and includes the factory production of the components and their assembly on site. The activities are planned so that the daily life of any occupants of the building are only subjected to minimal interference. Accurate recording and documentation of the intervention are the

necessary basis for monitoring during the operational phase.

The last phase, the *Monitoring*, is conceived as a continuum throughout the entire life cycle of the building: the achievement of the expected level of energy savings is verified – following the intervention and over the years – with sensors and control instruments the data of which, connected to the BIM model, are compared and verified with those simulated during the design phase.

The support and optimisation of the 4M process is guaranteed by innovative technologies to be used *in situ*. *3D scanning*, a fast and accurate technique used as the basis for the three-dimensional digital models is innovative if LiDAR (Light - or Laser Imaging - Ranging Detection) is deployed, an optical radar via which the laser beam acquires high-resolution and very

un apposito catalogo *e-Marketplace* – configurandosi come modello 5D.

La fase del *Making* è la concretizzazione della fase precedente e comprende le attività di produzione in fabbrica dei componenti e il loro assemblaggio in cantiere. Le attività sono pianificate in modo che la vita quotidiana degli eventuali occupanti del fabbricato subisca interferenze minime. La registrazione e documentazione accurate dell'intervento sono base necessaria per il monitoraggio in fase operativa.

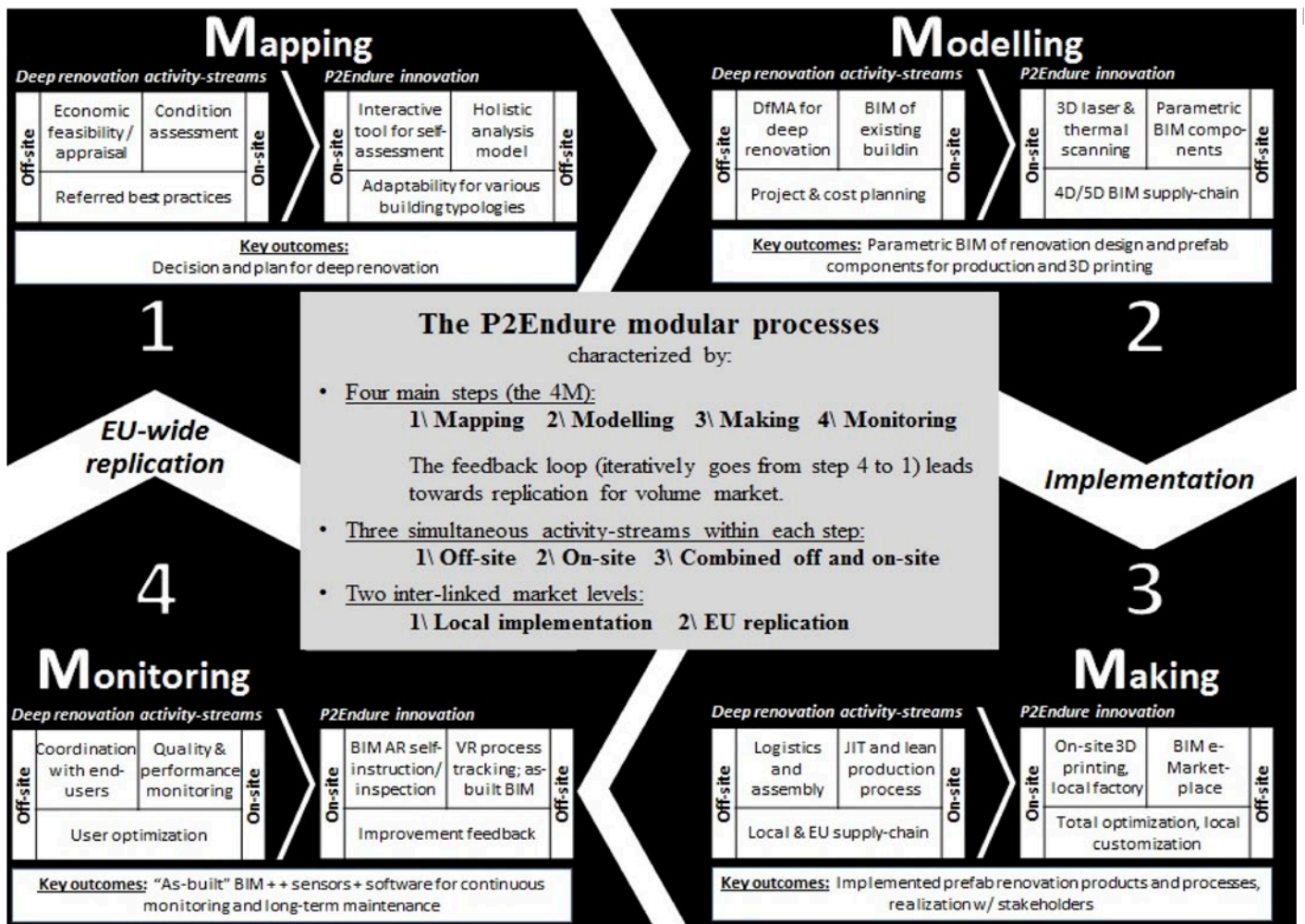
L'ultima fase, il *Monitoring*, è pensata come continua nel corso dell'intero ciclo di vita dell'edificio: il raggiungimento del livello di risparmio energetico previsto viene verificato – ad intervento avvenuto e nel corso degli anni – con sensori e strumenti di controllo i cui dati, connessi al modello BIM, vengono confrontati e verificati con quelli simulati in fase di progetto.

Il supporto e l'ottimizzazione del processo 4M viene garantito da tecnologie innovative da impiegare *in situ*.

La *scansione 3D*, tecnica veloce ed accurata usata come base per i modelli digitali tridimensionali è innovativa se si utilizza il LiDAR (*Light - o Laser Imaging - Ranging Detection*), radar ottico con il cui fascio laser acquisisce dati ad elevata risoluzione e ad altissima velocità. In P2ENDURE il modello BIM viene prodotto con:

- 1) scansione multipla dell'edificio da diverse stazioni;
- 2) registrazione ed elaborazione dei dati in cantiere o in remoto;
- 3) sviluppo del modello con softwares CAD.

L'applicazione del software BIM Parametric Modeler, per l'ispezione nell'edificio con dispositivi mobili e del software di gestione del Life Cycle Cost (LCC) sono *app ottimizzate* in P2ENDURE per agevolare gli specialisti nella corretta programmazione e verifica degli interventi di manutenzione (Fig. 3).



La robotica e la stampa in 3D viene usata in P2ENDURE per produrre componenti di facciata completi anziché, come attualmente, il solo strato superficiale, in modo da contrarre i tempi e semplificare il montaggio. La ricerca prevede anche la stampa in cantiere di rivestimenti tramite l'uso dell'Universal Robot (bracci antropomorfi automatizzati): una piattaforma munita di binari per il movimento in orizzontale del robot viene posizionata parallelamente alla facciata da rivestire; il file contenente le istruzioni e i dati viene caricato sul robot sul quale sono montati il contenitore con il materiale da estrarre sulla facciata e la fresa che lo lavora quando il robot è in funzione (Fig. 4).

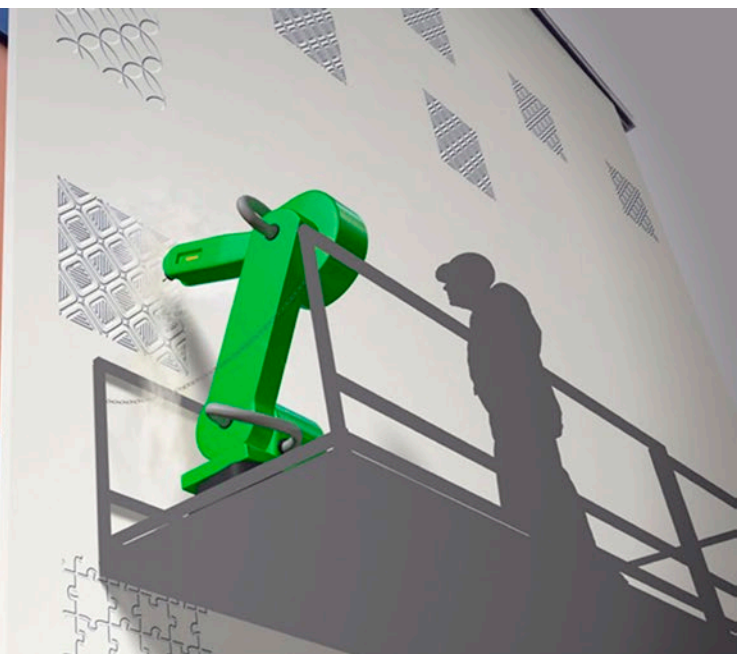
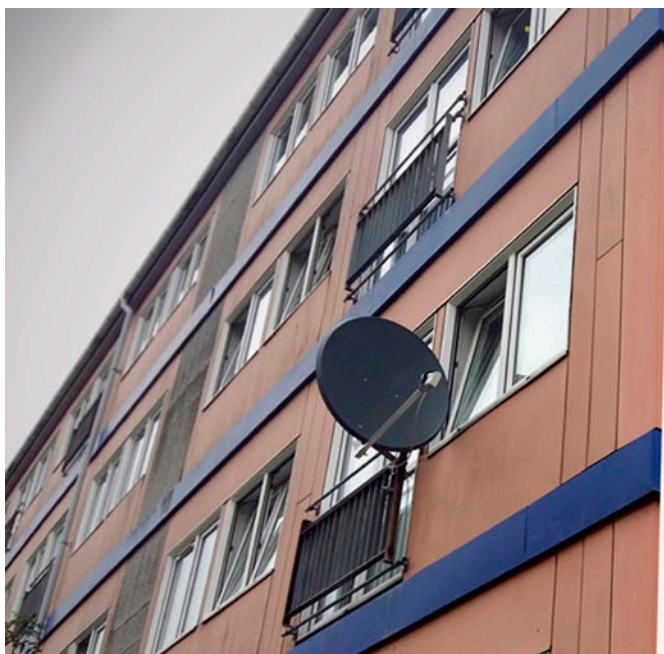
Infine, P2ENDURE si avvale di *dispositivi di monitoraggio* a basso costo di cui ne prevede un potenziamento. Un esempio è il *Comfort Eye*, composto da due apparecchiature di cui una montata sul soffitto che misura costantemente la temperatura media radiante e la seconda che monitora i parametri relativi all'aria (temperatura, umidità, ecc.). I dati sono elaborati da un sistema in grado anche di automatizzare alcune azioni correttive sugli impianti di riscaldamento e condizionamento al fine di mantenere i livelli ottimali di comfort ambientale IEQ (*Indoor Environment Quality*) (Fig. 5).

Soluzioni PnP del progetto P2ENDURE Il progetto di ricerca ha anche classificato in due categorie le soluzioni PnP disponibili nel campo del recupero, sia quelle già sul mercato che quelle allo stato di prototipo sviluppate da ricerche precedenti (Arnesano, 2018):



1. componenti PnP per l'involucro;
 2. componenti per il retrofitting degli impianti.
- Per gli elementi PnP per l'involucro sono state selezionate 4 soluzioni.

- Pannello multifunzionale della Fermacell: si tratta di un pannello per facciate con struttura in legno o acciaio che ha attinenza con il progetto grazie alla versatilità e applicabilità su edifici esistenti, all'installazione rapida (caratteristica strategica in aree urbane con aree di cantiere ridotte), alla corrispondenza con le normative vigenti sui requisiti di durabilità e comfort, alla predisposizione per l'alloggiamento sia di tubature orizzontali e verticali che di dispositivi per il condizionamento, il riscaldamento e la ventilazione scelti dagli utenti. P2ENDURE sta sviluppando il prototipo di un kit di facciata basato su questa struttura in combinazione con piani in gesso e/o cemento in classe A, già predisposto per gli impianti; la scansione 3D rientra come procedura nel kit a garanzia del corretto allacciamento delle nuove condutture con quelle esistenti.



- Pannello EASEE: è un pannello isolante prototipato dalla Magnetti Building durante il progetto europeo EASEE (Envelope Approach to improve Sustainability and Energy Efficiency in existing multi-owner residential buildings) particolarmente efficace sul piano della trasmittanza termica delle pareti; il suo spessore limitato e l'alto livello estetico lo rendono molto interessante per gli interventi sul patrimonio storico.
 - *Smart window*: si tratta di un infisso prodotto dalla Bergamo Technologie che deve il suo nome alla presenza di una lastra di vetro a bassa emissività che assorbe o riflette il calore solare in base alla sua posizione che può essere ruotata, manualmente o automaticamente, di 180°. P2ENDURE prevede di sviluppare il tema della reversibilità anche su infissi esistenti (Fig. 6).
 - Modulo residenziale additivo in copertura: è una soluzione sviluppata da PAN+ Architectuur basata sulla sopraelevazione di edifici residenziali con moduli interi costruiti con struttura in acciaio e pannelli verticali e orizzontali, completi di impianti. Se non sono presenti vincoli normativi, tecnici ed economici, questa soluzione risulta tra le più rapide.
- Per gli elementi PnP per gli impianti sono state selezionate 2 soluzioni.
- PnP HVAC della Huygen Installatie Adviseurs: gli impianti sono tutti integrati in un unico sistema/piattaforma che assicura molti vantaggi: riduzione del 40% dei costi e dei tempi di installazione, semplificazione dell'acquisto, facilità di manutenzione, peso ridotto di ogni elemento rispetto a quelli tradizionali e integrabilità con fonti da energia rinnovabile. P2ENDURE prevede di combinare tutto il sistema in un unico prodotto.

high-speed data. In the P2ENDURE project, the BIM model is produced with:

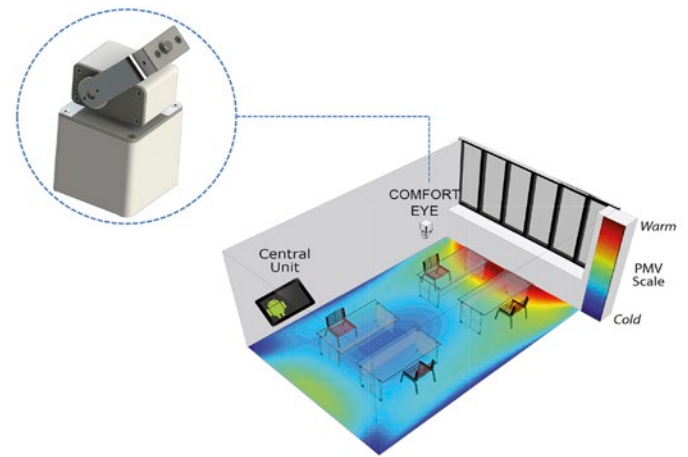
- 1) multiple scanning of the building from different stations;
- 2) recording and processing of data either on-site or remotely;
- 3) development of the model with CAD software.

The application of the *BIM Parametric Modeller* software, for inspection in the building with mobile devices and the Life Cycle Cost (LCC) management software, are *optimised apps* in the P2ENDURE project facilitate the specialists in the correct programming and verification of maintenance interventions (Fig. 3).

Robotics and *3D printing* are used in the P2ENDURE project to produce complete façade components rather than, as currently happens, only the surface layer, in order to reduce time

and simplify the assembly. The research also envisages the printing on the building site of claddings through the use of the Universal Robot (automated anthropomorphic arms): a platform equipped with tracks for the horizontal movement of the robot is positioned parallel to the façade to be cladded; the file containing the instructions and the data is uploaded on the robot on which the container with the material to be extruded on the façade and the cutter that works when the robot is in operation are mounted (Fig. 4).

Finally, the P2ENDURE project avails of low-cost *monitoring devices* for which it provides an enhancement. One example is the Comfort Eye, consisting of two devices, one of which is mounted on the ceiling that constantly measures the average radiant temperature, and the second that monitors the



- Smart connectors: sono integrati nei pannelli PnP dell'involucro in modo da velocizzare l'allacciamento con gli impianti (idraulico, elettrico, dati, ecc.).

I casi studio del progetto P2ENDURE

la fase del *Making*), che le soluzioni PnP stesse sono stati applicati in 10 casi studio, alcuni dei quali, nel corso del progetto, sono stati sostituiti a causa di ritardi, sospensione o cancellazione degli interventi.

Sia l'approccio 4M, con le procedure e le tecnologie proprie di ogni sua fase (ad oggi è in corso

air parameters (temperature, humidity, etc.). The data are processed by a system that is also able to automate several corrective actions on the heating and air conditioning systems in order to maintain the optimal levels of IEQ (Indoor Environment Quality) environmental comfort (Fig. 5).

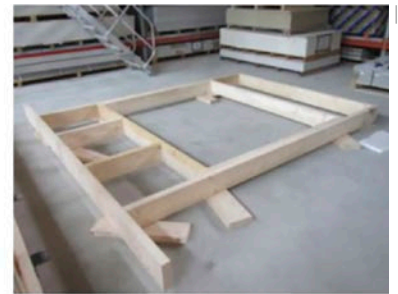
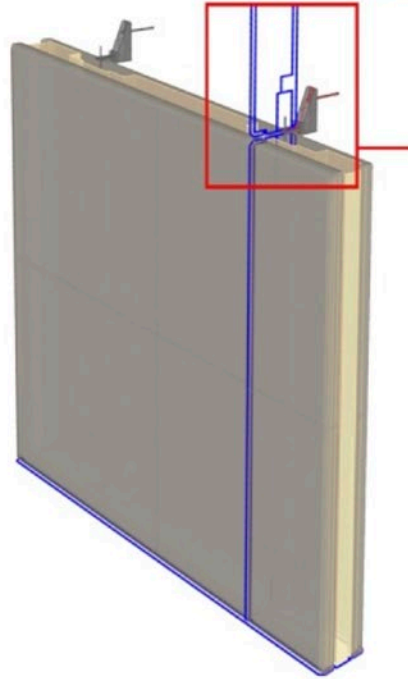
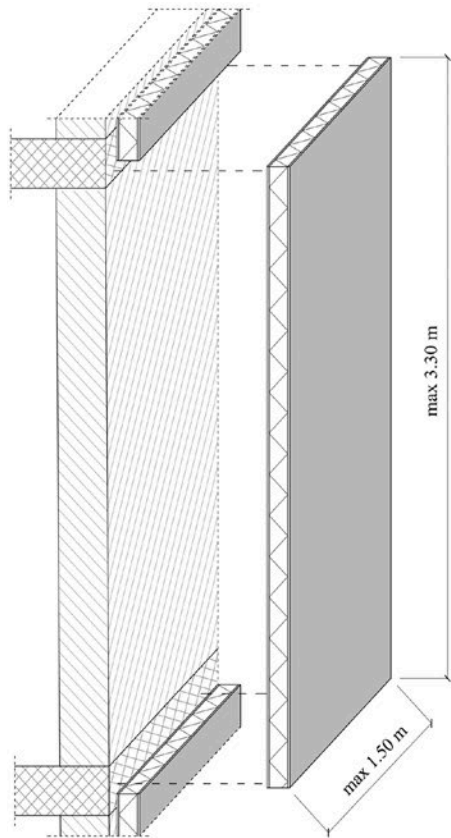
PnP solutions of the P2ENDURE project

The research project has also classified the PnP solutions in two categories available in the recovery field, namely, those already on the market and those in the prototype stage developed by previous research (Arnesano, 2018):

1. PnP components for the building envelope;
2. components for MEP-HVAC systems.

Four solutions were selected for the PnP elements of the building envelope.

- The Fermacell multifunctional panel: this is a panel for building façades realized with wooden or steel structure. The main advantage proposed by this solution is related to its versatility and applicability on existing buildings, fast installation (strategic feature in urban areas with reduced construction areas), correspondence with the regulations in force on the durability and comfort requirements. Moreover, it proposes high predisposition for laying both horizontal and vertical pipes as well as the air-conditioning, heating and ventilation devices selected by the users. The P2ENDURE project is currently developing the prototype of a façade kit based on this structure in combination with plaster and/or concrete levels in class A, already set up for the systems; 3D scanning forms part of the kit as the



- procedure for guaranteeing the correct connection of the new conduits with the pre-existing ones.
- The EASEE panel: this is an insulating panel that was prototyped by Magnetti Building during the European project, EASEE (Envelope Approach to improve Sustainability and Energy Efficiency in existing multi-owner residential buildings) which is particularly effective in terms of thermal transmittance of the walls; its limited thickness and high aesthetic level make it very interesting for interventions on the historical heritage.
- Smart window: this is a frame produced by Bergamo Tecnologie S.r.l. that owes its name to the presence of a low-emissivity glass plate that absorbs or reflects solar heat based on its position which can be rotated, both manually and automatically, by

- 180°. The P2ENDURE project plans to develop the theme of reversibility also on existing frames (Fig. 6).
 - Additional residential roofing module: this renovation strategy is developing by PAN + Architectuur based on the adding of upper storeys on residential buildings with entire modules built with a steel structure and vertical and horizontal panels, complete with systems. If there are no regulatory, technical or economic constraints, this solution is among the fastest.
- Two solutions were selected for PnP elements for the installations.
- HVAC PnP by Huygen Installatie Adviseurs: the systems are all integrated in a single system/platform that offers numerous advantages: a 40% cut in installation costs and times, simplified purchase, easy maintenance, low weight of each

- element compared to the traditional ones and integration with renewable energy sources. The P2ENDURE project plans to combine the whole system into a single product.
 - Smart connectors: these are integrated in the PnP panels of the envelope in order to speed up the connection with the installations (hydraulic, electric, data, etc.).
- The demonstration cases of the P2ENDURE project**
- Both the 4M approach, with its own procedures and technologies of each phase (the Making phase is currently underway), and the PnP solutions themselves have been applied in 10 demo cases, some of which, during the project, had to be replaced due to delays, suspension or cancellation of the interventions. In all the demo cases the activities foreseen in the first two phases were

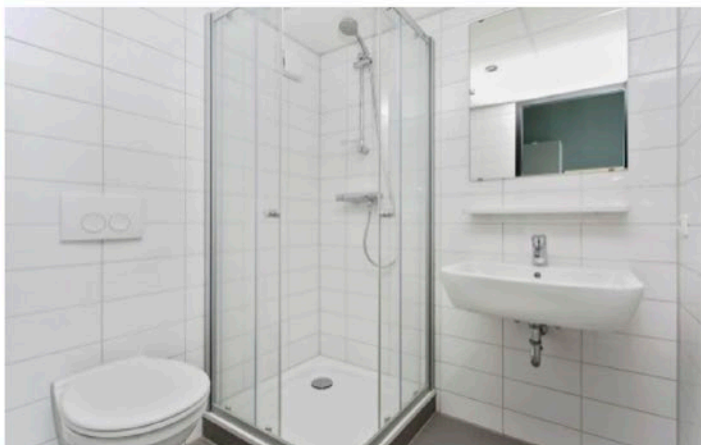
carried out (*Mapping and Modelling*) without any particular difficulties emerging except for the effort required to recover as much information as possible on the energy behaviour of the buildings: the comparison followed by the validation of the results after the interventions requires precise and homogeneous data with regard to the calculation methods. Specific guidelines concerning data collection and usable calculation software have been developed and used by BEM modellers.

The *Making* phase, which has only just been started, is the most delicate and demanding. The case studies in which the broadest spectrum of P2ENDURE PnP solutions is about to be applied include the Gdyna and Warsaw childcare centres in Poland and the Enschede residences in the Netherlands. In both buildings in Poland, the interventions concern the application

Su tutti i casi studio sono state eseguite le attività previste nelle prime due fasi (*Mapping* e *Modelling*) senza che emergessero difficoltà particolari se non lo sforzo di recuperare più informazioni possibili sul comportamento energetico degli edifici: la comparazione e poi la validazione dei risultati dopo gli interventi necessita di dati precisi e omogenei quanto a modalità di calcolo. Specifiche linee guida in merito alla raccolta dei dati e ai

softwares di calcolo utilizzabili sono state elaborate e utilizzate dai modellatori BEM.

La fase del *Making*, appena iniziata, è la più delicata ed impegnativa. I casi studio in cui sta per essere applicato il più ampio spettro delle soluzioni PnP di P2ENDURE sono: gli asili nido di Gdyna e di Varsavia in Polonia e le residenze di Enschede in Olanda.



In Polonia, in entrambi gli edifici, gli interventi riguardano l'applicazione dei pannelli di facciata multifunzionale della Fermacell (Fig. 7), l'installazione delle *smart windows* prodotte dalla Bergamo Tecnologie e, solo nell'asilo di Varsavia, la sopraelevazione con il modulo progettato da PAN+ architectuur.

In Olanda, invece, le soluzioni riguardano la parte impiantistica: le camere verranno equipaggiate ciascuna da un modulo – smontabile – di bagno completo di sanitari e tubazioni e sull'intero edificio verranno applicate strutture prefabbricate contenenti la reti per le nuove pompe di calore (Fig. 8).

Risultati del progetto P2ENDURE

Il progetto si trova a metà del terzo anno di ricerca e, seguendo ancora la scansione per fasi

del metodo 4M, è possibile tracciarne i risultati, ottenuti e potenziali e le difficoltà emerse (Sebastian, 2018).

Sia la procedura protocollata che assiste la scansione in 3D e la successiva modellazione BIM che l'applicazione *BIM Parametric Modeler* la quale, importando il modello e scomponendolo, funziona da guida in merito al tipo e al numero di interventi da effettuare, sono i risultati più interessanti della fase *Mapping*. Il limite è la mancanza di un metodo totalmente automatizzato di trasformazione della nuvola di punti del rilievo in 3D in un modello BIM.

La fase *Modelling* ha prodotto procedure di calcolo del comportamento energetico risultanti in un BEM anch'esso importabile nell'applicazione *BIM Parametric Modeler* anche se emergono ancora difetti di interoperabilità.

I primi risultati della fase *Making* sono le soluzioni stesse in corso di assemblaggio nei casi studio. La scarsa disponibilità dei

of Fermacell multifunctional building façade panels, the installation of the smart windows produced by Bergamo Technologies and, only in the Warsaw childcare centre, the creating of an upper floor with the strategies proposed by PAN + Architectuur (Fig. 7).

In the Netherlands, instead, the solutions regard the installation part: the rooms will each be equipped with a bathroom module – which can be dismantled – complete with all sanitary fixtures and pipes and prefabricated structures containing the networks for the new heating pumps will be applied to the entire building (Fig. 8).

Results of the P2ENDURE project

The project is currently in the middle of its third year of research and by still following the 4M scanning method of the phases, it is possible to trace both the already obtained and potential re-

sults, and the difficulties emerging (Sebastian, 2018).

The most interesting results of the *Mapping* phase concern the registered procedure that assists the 3D scan and the subsequent BIM modelling, and the *BIM Parametric Modeler* application which, by importing the model and breaking it down, acts as a guide with regard to the type and number of interventions to be performed. The limit is the lack of a totally automated method of transforming the 3D point cloud survey into a BIM model.

The *Modelling* phase has produced calculation procedures of the energetic behaviour resulting in a BEM that are also importable in the *BIM Parametric Modeler* application, even though some interoperability defects still emerge.

The first results of the *Making* phase include the solutions themselves dur-

ing the assembly in the demonstration cases. The limited availability of property owners and managers partly limits the expansion of the possible applications that could be adopted.

The *Monitoring* phase will begin with completed interventions, also assisted by the devices (Comfort Eye) already installed and the data of which on the quality of the internal environment, detected before and after the intervention, will certify the outcome of the operation. Ethical constraints and data interchange must be examined and if necessary, overcome.

Conclusioni

Le tematiche sulle quali sta lavorando il progetto P2ENDURE si inquadrano in uno dei tanti scenari che la quarta rivoluzione industriale ha aperto in questi ultimi anni nel settore delle costruzioni.

Con l'obiettivo puntato sugli interventi di recupero e riqualificazione gestiti in regime di partenariato pubblico-privato, la ricerca sta sperimentando metodologie, procedure e tecnologie innovative in un contesto nel quale l'innovazione deve spesso fare i conti con innumerevoli barriere.

L'efficacia di tali strumenti, la spinta innovativa che potranno generare, dipenderà dalla loro adattabilità alle caratteristiche particolarmente variabili di questo segmento, complesso ma decisamente strategico, dell'industria delle costruzioni. Si misurerà, in particolare, nei progetti di *deep renovation* da realizzare in comparti del patrimonio esistente sottoposti, come avviene nella maggior parte dei casi quando si opera nei centri storici, a vincoli e restrizioni.

La sperimentazione degli strumenti e delle tecnologie messi a punto in P2ENDURE è tuttora in corso. I risultati finora raggiunti hanno messo in evidenza le sue potenzialità, non solo in

renovation and redevelopment interventions managed in a public-private partnership system, the research is experimenting with innovative methodologies, procedures and technologies often has to break down innumerable barriers.

The effectiveness of these tools and the innovative drive they can generate, will depend on their adaptability to the particularly variable characteristics of this complex but decidedly strategic segment of the building industry. The effectiveness will be measured, in particular, in *deep renovation* projects to be carried out in compartments of the existing heritage which are subjected to constraints and restrictions, as in the majority of cases when operating in the historical centres.

Conclusions

The issues on which the P2ENDURE project is working fit into one of the numerous scenarios that the fourth industrial revolution has opened in recent years in the construction sector. With the objective focused on building

Le tematiche sulle quali sta lavorando il progetto P2ENDURE

si inquadrano in uno dei tanti scenari che la quarta rivoluzione industriale ha aperto in questi ultimi anni nel settore delle costruzioni.

Con l'obiettivo puntato sugli interventi di recupero e riqualificazione gestiti in regime di partenariato pubblico-privato, la ricerca sta sperimentando metodologie, procedure e tecnologie innovative in un contesto nel quale l'innovazione deve spesso fare i conti con innumerevoli barriere.

L'efficacia di tali strumenti, la spinta innovativa che potranno generare, dipenderà dalla loro adattabilità alle caratteristiche particolarmente variabili di questo segmento, complesso ma decisamente strategico, dell'industria delle costruzioni. Si misurerà, in particolare, nei progetti di *deep renovation* da realizzare in comparti del patrimonio esistente sottoposti, come avviene nella maggior parte dei casi quando si opera nei centri storici, a vincoli e restrizioni.

La sperimentazione degli strumenti e delle tecnologie messi a punto in P2ENDURE è tuttora in corso. I risultati finora raggiunti hanno messo in evidenza le sue potenzialità, non solo in

renovation and redevelopment interventions managed in a public-private partnership system, the research is experimenting with innovative methodologies, procedures and technologies often has to break down innumerable barriers.

The effectiveness of these tools and the innovative drive they can generate, will depend on their adaptability to the particularly variable characteristics of this complex but decidedly strategic segment of the building industry. The effectiveness will be measured, in particular, in *deep renovation* projects to be carried out in compartments of the existing heritage which are subjected to constraints and restrictions, as in the majority of cases when operating in the historical centres.

The experimentation of the tools and technologies developed in the P2EN-

termini di ottimizzazione e affinamento delle funzioni previste nel progetto di ricerca, ma anche di un loro sostanziale ampliamento prefigurandone un'elevata attitudine di replicabilità nei diversi paesi dell'Unione Europea.

RICONOSCIMENTI

Il progetto di ricerca P2ENDURE (<https://www.p2endure-project.eu/en>) è cofinanziato dall'Unione Europea nell'ambito del programma quadro H2020 con il contratto n. 723391.

REFERENCES

- Antonini, E., Boeri, A., Gaspari, J. and Longo, D. (2014), "Innovazione di prodotto: esperienze e prospettive di collaborazione tra Università e PMI", *Techne, Journal of Technology for Architecture and Environment*, n. 7, pp. 186-193.
- Arnesano, M., Revel, G.M., Zampetti, L., Sebastian, R., Gralka, A., Bornemann, R., Willems, E., Visser, L. and Hartmann, T. (2018), "Plug- and-play product, process and sensing innovation for energy-efficient building deep renovation", *World Sustainable Energy Days (WSED2018) Proceedings*, Wels, Austria.
- Artola, I., Rademaekers, K., Williams, R. and Yearwood, J. (2016), *Boosting Building Renovation: What Potential and Value for Europe?* European Parliament, Brussels, Belgium.
- D'Oca, S., Ferrante, A., Ferrer, C., Pernetti, R., Gralka, A., Sebastian, R. and Op 't Veld, P. (2018), "Technical, Financial and Social Barriers and Challenges in Deep Building Renovation: Integration of Lessons Learned from the H20202 Cluster Projects", *MDPI, Buildings*, Vol. 8, Issue 12, 174.
- Economidou, M. (2011), *Europe's Buildings under the Microscope: A Country-by-Country Review of the Energy Performance of Buildings*, Buildings Performance Institute Europe (BPIE), Brussels, Belgium.
- Farzaneh, A., Carriere, J., Forgues, D. and Monfet, D. (2018), "Framework for Using Building Information Modeling to Create a Building Energy Model", *Journal of Architectural Engineering*, Vol. 24, Issue 2, June.
- Moseley, P. (2017), "EU support for innovation and market uptake in smart buildings under the Horizon 2020 Framework Programme", *Buildings*, Vol. 7, Issue 4, 105.
- Naboni, R. and Paoletti, I. (2015), "*Advanced Customization in Architectural Design and Construction*", PoliMI, SpringerBriefs, Milan, Italy, 2015.
- Op 't Veld, P. (2015), "MORE-CONNECT: Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for modular retrofitting and smart connections", *6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, Elsevier, Energy Procedia* 78, pp. 1057-1062.
- P2ENDURE Deliverable Report, "D2.1 - 4M process roadmap and implementation guidelines", available at: <https://www.p2endure-project.eu/en>.
- Revel, G.M. et al. (2013), "Advanced tools for the monitoring and control of indoor air quality and comfort", *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 12, n. S11, November, pp. 229-232.
- Roaf, A., Brota, L. and Nicol, F. (2015), "Counting the costs of comfort", *Building Research & Information*, Vol. 43, pp. 269-273.
- Sebastian, R., Olivadese, R., Piaia, E., Di Giulio, R., Bonsma, P., Braun, J-D. and Riexinger, G. (2018), "Connecting the Knowhow of Design, Production and Construction Professionals through Mixed Reality to Overcome Building's Performance Gaps", *Sustainable Places 2018 Proceedings MDPI*, Vol. 2, 1153.
- Sebastian, R., Gralka, A., Olivadese, R., Arnesano, M., Revel, G.M., Hartmann, T. and Gutsche, C. (2018), "Plug-and-Play Solutions for Energy-Efficiency Deep renovation of European Building Stock", *Sustainable Places 2018 Proceedings MDPI*, Vol. 2, 1157.
- Zerjav, V., Hartmann, T. and Achammer, C. (2013), "Managing the Process of Interdisciplinary Design: Identifying, Enforcing and Anticipating Decision Making Frames", *Architectural Engineering and Design Management*, Vol. 9, Issue 2, pp. 121-133.

DURE project is still ongoing. The results achieved so far have highlighted its potential, not only in terms of optimisation and refinement of the functions emerged in the research project, but also of their significant development, prefiguring its high aptitude for replicability in the various countries of the European Union.

ACKNOWLEDGEMENTS

The P2ENDURE research project (<https://www.p2endure-project.eu/en>) is co-financed by the European Union within the H2020 framework programme with contract no. 723391.