

Outer facade retrofitting trough precast insulation panels: method and planning tool applied to an Italian residential building

Graziano Salvalai*, Giuliana Iannaccone, Marta Maria Sesana,
Emilio Pizzi

Highlights

The EASEE project developed an outer solution for envelope retrofitting that allow superior insulating characteristics, installation procedure without fixed scaffoldings, minimization of occupants' discomforts as well as the duration of the intervention. An experimental characterization of a new composite insulation panels was performed in laboratories from structural, hygrothermal and building physical point of view.

Abstract

Developing a more energy efficient building stock is the focus of the European energy policies. Much of the required reduction in energy consumption needs to be achieved through the renovation of existing buildings. To this topic, the work presents all the research steps from the design process, through the experimental characterization in laboratory to the final on-site construction with respective monitoring campaign for the envelope retrofitting of an Italian residential building. The developed system, result of a European founded project EASEE is a prefabricated composite panel that integrate both thermal insulation and exterior finishing.

Keywords

Building retrofitting, Precast solution, Insulation panels, Retrofitting tool

1. INTRODUCTION

According to the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), more than half of the European Building stock are dated between 1925 and 1975, for more than 80 Million buildings. Residential buildings represent about one third of these, 10 millions of them being multi-storey buildings, with distributed ownership. This type of buildings are widely diffused in the European cities centres and present common features from the architectural and structural point of view. They often have a linear façade finished with plaster covering or with bricks, with some three-dimensional architectural elements as well as hydraulic/gas piping or electrical cabling fixed on it. According to the JRC publication [1] a large part of this European existing building stock still needs to be insulated and there is a lack of practical

Graziano Salvalai

DABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, via Ponzio 31, Milano, 20133, Italia

Giuliana Iannaccone

DABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, via Ponzio 31, Milano, 20133, Italia

Marta Maria Sesana

DABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, via Ponzio 31, Milano, 20133, Italia

Emilio Pizzi

DABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, via Ponzio 31, Milano, 20133, Italia

* Corresponding author
e-mail: graziano.salvalai@polimi.it

technical solutions in this area excluding the ETICS insulation practice. When it comes to the building physics, heat losses through building components are proportional to their heat transfer coefficient and to their surface area. Insulating the largest surfaces with the highest heat transfer coefficient is therefore the most efficient in terms of cost-benefit point of view. Multi-storey buildings share a common roof, which reduces its importance and makes the vertical envelope the main issue. Statistical studies show that nearly 76% of Italian dwellings were built before 1981 and 49% have more than 50 years old; with an average annual increase in new dwellings in the 1981–2011 period was only 1%. In Northern Italy, the energy consumption of existing buildings has been estimated, on average, around 18-20 litres of oil fuel per square meter per annum. Buildings dated between 1925 and 1975 were constructed in an era where there was little or no consciousness of the need to design for energy efficient performance and therefore have the largest energy demand. A common feature of these buildings is that they are usually not forced by specific regulatory constraints for their refurbishment, differently from historical buildings, although the original appearance of the façade needs in general to be kept. In this scenario, the project EASEE (Envelope Approach to improve Sustainability and Energy efficiency in Existing multi-storey residential buildings multy-owner), funded by the European Union under the Seventh Framework Programme for Research and Development, lead to the development of a new holistic approach to energy efficient envelope retrofitting of multi-storey and multi-owner buildings which preserves the original appearing of the façade through a combination of modular pre-fabricated components and scaffolding-free installation. The expected and reached outputs were: EASEE methodology and EASEE Toolkit, which integrate affordable solutions and guidelines that construction SMEs, can apply to reduce energy demand while minimising the impact on occupants during retrofitting and EASEE retrofitting planner. The EASEE Toolkit derived from the deep analyses on the three main components of the envelope that influence the energy performance of multi-storey buildings, namely the outer façade, the cavity walls and the inner envelope. For each of these envelope parts, a novel solution have been developed within the project, which combined according to the characteristics of the building to be retrofitted as well as to other non-technical parameters as for example cost and location of the building. In particular, this paper describes the results of the demonstration activities for the outer solution being the focus of the authors, belonging to the project team. The implementation of an overall envelope retrofitting of a residential building with a modular prefabricated façade system composed

1. INTRODUZIONE

Secondo il World Business Council For Sustainable Development (WBCSD), più della metà degli edifici europei esistenti (circa 80 milioni) sono stati costruiti tra il 1925 e il 1975. Tra questi circa un terzo sono edifici residenziali, di cui 10 milioni sono del tipo multi piano e multi proprietà. Questa tipologia di edificio è ampiamente diffusa nei centri cittadini europei e presentano caratteristiche comuni sia dal punto di vista architettonico che strutturale/tecnologico. La maggior parte si caratterizza per la presenza di una facciata lineare costituita da una finitura ad intonaco o da mattoni a vista con elementi architettonici tridimensionali (come cornici e fasce marcapiano), accompagnati spesso dalla presenza di condotti di adduzione del gas e cablaggi elettrici. Uno studio condotto dal Joint Research Center (JRC) [1] ha evidenziato come la maggior parte degli edifici residenziali europei non presenta alcun isolamento termico nell'involucro edilizio e come, nell'attuale mercato europeo delle costruzioni, sia difficile trovare soluzioni competitive con la soluzione a cappotto termico. Dal punto di vista fisico tecnico, le perdite di calore attraverso l'involucro sono proporzionali alla trasmittanza termica dei componenti e alla superficie complessiva degli stessi. Intervenire isolando le superfici con area maggiore e con elevata trasmittanza termica è sicuramente l'intervento più efficiente in termini di costo-beneficio. In generale gli edifici a più piani condividono un tetto comune; la riqualificazione della copertura non in termini di impatto di riduzione del fabbisogno di energia è sicuramente meno efficace rispetto all'involucro verticale opaco. Diverse analisi statistiche hanno evidenziato come quasi il 76% delle abitazioni italiane sono edificate prima del 1981 con circa il 49% delle stesse con più di 50 anni, mentre l'incremento medio annuo delle nuove abitazioni, nel periodo 1981-2011, è pari a circa l'1%. Nel Nord Italia, gli edifici assorbono in media 18-20 litri di metano per metro quadro anno. Tra questi i più energivori sono rappresentati da quelli edificati tra il 1925 e il 1975, costruiti in un periodo in cui non era presente nessuna normativa e tantomeno consapevolezza rispetto al tema dell'efficienza energetica in edilizia. Tali edifici, diversamente dagli edifici storici, non sono soggetti a vincolo, anche se è spesso richiesto il mantenimento dell'aspetto originale della facciata. In questo scenario, il progetto EASEE (Envelope Approach to improve Sustainability and Energy efficiency in Existing multi-storey residential buildings multy-owner), finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del settimo programma quadro di ricerca e sviluppo, ha avuto come obiettivo lo sviluppo di un approccio olistico verso la riqualificazione energetica degli edifici multi piano e multi proprietà con l'obiettivo di conservare l'immagine originaria della facciata attraverso l'utilizzo di componenti isolanti prefabbricati modulari applicabili senza l'utilizzo di ponteggi. Il progetto ha permesso di sviluppare una metodologia di

by a core of EPS and two layers of textile reinforced concrete and applied to the existing structure by means of mechanical anchoring is described from the design phase to the installation procedure onsite for an Italian residential case study. A typical multi-storey residential building built in the 1971 has been selected - with the support of the Lombardy Region - as a demonstration building for the EASEE outer solution. The residential building has four storeys with the ground floor used for parking and storage spaces (Figure 1). The gross floor area for each floor is about 281,0 square meters with an internal height of 3,0 meters; the total area of the building envelope is about 900,0 square meters. From the technological point of view, the envelope is characterized by a cavity wall with an outer steel reinforced concrete layer of 20,0 cm, 2,0 cm of air gap, 3,0 cm of polystyrene and an inner hollow brick layer of 8,0cm with additional 10,0 mm of cementitious plaster. The windows are characterized by an iron frame and a single glass with a thermal transmittance of 6,0 W/m²K.

intervento ed un toolkit in grado, da un lato, di pianificare il processo di riqualificazione e, dall'altro, di indirizzare e facilitare la scelta verso soluzioni tecnologiche appropriate con processi caratterizzati da un minimo impatto sugli occupanti. Il toolkit sviluppato all'interno del progetto considera tre diverse possibili modalità di riqualificazione dell'involucro edilizio: l'isolamento esterno, l'isolamento in cavità e l'isolamento sul lato interno. Per ogni soluzione è stata studiata, sviluppata ed installata una soluzione tecnologica innovativa, la cui scelta applicativa varia in funzione delle caratteristiche dell'edificio da riqualificare e dall'analisi costo-beneficio. In particolare, il seguente lavoro descrive il metodo ed il risultato ottenuto dall'attività dimostrativa condotta attraverso l'uso di sistemi prefabbricati applicati sul lato esterno dell'involucro. Le attività sono state eseguite su un intero edificio residenziale attraverso l'utilizzo di un innovativo sistema modulare di facciata prefabbricato composto da un nucleo centrale in EPS contenuto tra due layer di cemento fibrinizzato e applicato alla struttura esistente mediante sistemi meccanici puntuali.

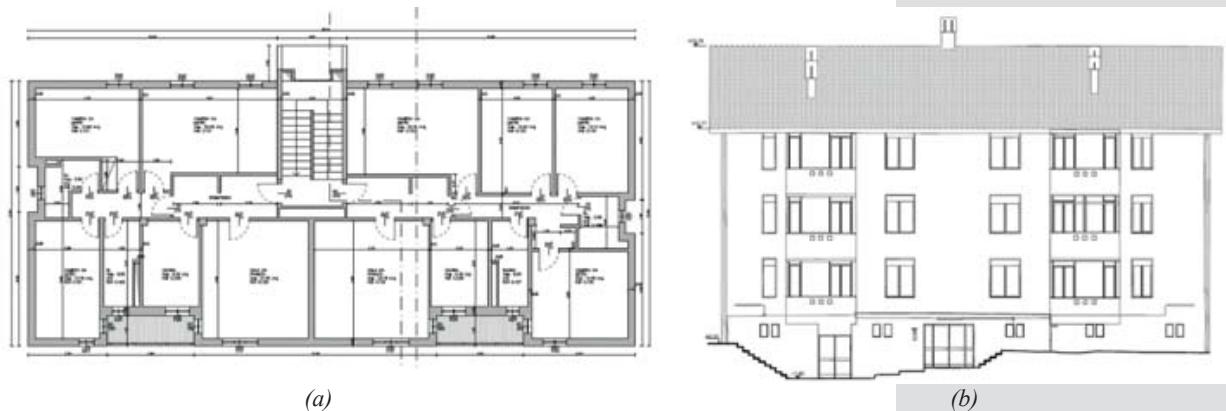


Figure 1. a) Italian demo building typical plan and b) Italian demo building South façade before the retrofitting.

2. STATE OF THE ART

Energy renovation is playing a strong role as a stabilizer of the building sector and consequently of the European economy in the period since the financial crisis. Estimates of the energy renovation market was of the order of EUR 109 billion in 2015 in the EU and created 882,900 jobs with the French, German and Italian energy renovation markets that alone accounted for almost half of the EU energy renovation market. Buildings account for around 40% of the total energy consumption and 36% of the CO₂ emissions in Europe and possess the biggest untapped mitigation potential. Increasing the size of the energy renovation market would unleash the fourth industrial revolution in Europe. The industrial renaissance would require however

L'edificio dimostrativo è un edificio residenziale a più piani costruito nel 1971 scelto, in accordo con Regione Lombardia, all'interno del parco edilizio di ALER Milano. L'edificio si caratterizza per la presenza di quattro piani fuori terra con il piano terra utilizzato per gli spazi di parcheggio e di stoccaggio (Figura 1). La superficie lorda di ogni piano è pari a circa 281,0 metri quadrati con un'altezza interna di 3,0 metri; la superficie totale dell'involucro opaco verticale è pari a circa 900,0 metri quadrati. Dal punto di vista tecnologico si caratterizza per la presenza di una parete a cassa vuota e dall'esterno verso l'interno da uno strato di cemento armato di 20,0 cm, 2,0 cm di spazio d'aria, 3,0 cm di polistirene e una parete di tamponamento in laterizio forato da 8,0 cm finito, verso l'interno, con circa 1,0 cm di intonaco di cemento. La trasmittanza termica misurata è pari a 0,85 W/m²K. Le finestre sono, invece, caratterizzate da un telaio in ferro con vetro singolo dalla trasmittanza

different innovation: to move from the current step-by-step component-based energy renovation to an overall approach to the building; to develop an holistic prefabricated zero energy kits to transform the EU buildings from being passive consumers into being active prosumers; modern methods and methodologies to gather data and analyse them. The roll-out of smart-meters, as now required by directives on the internal market in electricity and gas and the energy efficiency directive, needs to be combined with energy models based on Geographical Information Systems (GIS), the use of drones for inspections and auditing, and well-designed mandatory reporting templates to close the data gap [2]. Considering the construction processes, multi-storey and multi-owner buildings are normally refurbished by construction SMEs, normally with low-skilled work force. This means that new approaches in energy retrofitting should require fault tolerant and simplified procedures as well as easiness of application to reach the expected improvement. Moreover referring to the impact of the retrofitting process on the life of the occupants, traditional approaches need scaffolding on the outer façade for very long times (on average between 12 and 24 months for a seven storey building due to the heavy removal of materials and the wet processes involved), requiring occupants to seal the windows and introducing safety issues. Dust and noise add to these discomforts. Furthermore, scaffolding creates burden to the traffic and to the people walking by, apart being an additional cost as normally local taxes to occupy the ground are to be paid. In this framework, there is the strong need for the development of new modular and fault tolerant solutions for the envelope retrofitting in multi-storey and multi-owner buildings, ensuring an important reduction of building energy demand through off-site prefabricated components and simplified dry construction processes and installation procedures, while at the same time reproducing the original façade and reducing at minimum the discomforts for the occupants. Any novel approach that would also foster the introduction of multi-functionality in the façade system, like for instance integration of piping systems for solar thermal, natural ventilation or hydronics as well as sensors to acquire key physical parameters, would definitely concur to increase the overall cost-effectiveness while introducing more systemic designs interfacing HVAC and energy management.

3. METHODOLOGY

Several research works deal with the energy retrofitting methodology [3][4][5], presenting the impact of different energy conservation measures carried out on building stocks on the reduction of greenhouse gas emissions. According

termica complessiva stimata pari a $6,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2. STATO DELL'ARTE

Nell'attuale periodo caratterizzato da una profonda crisi finanziaria, la riqualificazione energetica degli edifici ha svolto e continua a svolgere un ruolo importante come stabilizzatore del mercato edilizio europeo. Nel 2015, a livello europeo, il comparto delle riqualificazioni edilizie è valso circa 109 miliardi di Euro determinando l'attivazione di 882.900 nuovi posti di lavoro soprattutto per quanto riguarda il mercato francese, tedesco e italiano. Il settore edile assorbe a livello europeo il 40% del consumo finale di energia e circa il 36% delle emissioni di CO₂ atmosfera, e si caratterizza per l'elevato potenziale di riduzione degli usi finali di energia. L'aumento della dimensione del mercato della riqualificazione energetica degli edifici potrebbe portare alla quarta rivoluzione industriale la quale richiede però l'abbandono di un approccio basato sull'uso di singoli componenti, verso l'adozione di una visione olistica che considera l'edificio nel suo complesso e prevede lo sviluppo di kit prefabbricati in grado di trasformare gli edifici da consumatori a produttori di energia. Risulta inoltre importante lo sviluppo di metodi e metodologie moderne per l'analisi e la raccolta di dati. L'utilizzo degli smartmeters, come richiesto dalle direttive sul mercato interno dell'energia elettrica e del gas e dalla direttiva europea sull'efficienza energetica, deve essere combinata con modelli energetici basati su sistemi informativi geografici (GIS), l'uso di droni per ispezioni audit energetici, e modelli di reporting obbligatori ben progettati [2]. Dal punto di vista operativo a livello europeo le ristrutturazioni edili sono di norma eseguite da piccole e medie imprese, con forza lavoro costituita da maestranze poco qualificate. Per tale ragione risulta importante introdurre sistemi innovativi applicabili attraverso procedure semplificate e speditive ma comunque in grado di contribuire al raggiungimento degli obiettivi di progetto. Le attuali pratiche edili impattano fortemente sulla vita degli occupanti: la presenza di ponteggi che spesso insistono per mesi (mediamente tra i 12 e i 24 mesi per un edificio a sette piani) impediscono agli utenti l'uso delle finestre generando problematiche di sicurezza oltre che fastidi dovuti alla presenza di polveri e rumori. La presenza delle impalcature crea, inoltre, problemi al traffico e ai pedoni, e crea un costo aggiuntivo dovuto alla presenza di oneri di occupazione del suolo. In questo contesto esiste la forte necessità di sviluppare nuove soluzioni modulari e facilmente applicabili per la riqualificazione dell'involucro degli edifici garantendo comunque un'importante riduzione dell'energia finale per il condizionamento. I processi di costruzione e le procedure di esecuzione indagati all'interno del progetto, permettono di riprodurre la facciata originale riducendo al minimo le interferenze con gli occupanti. Un tale approccio favorisce l'introduzione del concetto di multifunzionalità nel sistema di facciata attraverso l'integrazione di

to literature on the topic, there are a large number of methodologies available for improving the energy performance of existing buildings, but often they are too complicated or they requested too detailed data often not available for existing building stock or too sectorial, considering only one aspect per time (i.e. technic, economic, aesthetic, historical and cultural aspects) without considering them together as a whole. As mentioned in the introduction, to address the issue of energy efficiency retrofitting facades of existing buildings, the EASEE project aims to be an integrated design process, combining advanced analysis of the building stock with the development of innovative strategies, for the final goal of reducing the energy required by the building occupants. This section describes and explains the EASEE methodology defined and then applied and verify within the project on demonstrative building case study. The new approach to envelope retrofitting proposed by EASEE is schematically depicted in Figure 2. Being the EASEE retrofitting method based on a high level of prefabrication with components which have the final appearance without additional finishing on site, accurate measuring information of the building envelope are required. The first step of the retrofitting process consist therefore in a careful assessment of the envelope both from structural and energetic point of view, as well as in terms of other non-technical parameters and indicators that will be useful for the planning of the retrofitting intervention. These analyses have been carried out starting from technical drawings of the buildings that will serve as a guide for a deeper assessment of the envelope characteristics and conditions. In this respect, it is worth noticing that in some cases and depending form the Country, drawings were not available for buildings built before 1950. In this case, more accurate non-destructive techniques were used, as for example flux meters, to have detailed information of the envelope structure. More in detail, the structural and physical conditions of the demo building have been evaluated through state of the art non-destructive technologies: 3D laser scanning, infrared (IR) imaging. These techniques has allowed to acquire three-dimensional morphological data, temperature maps (to evidence thermal bridges or heat losses), plaster stability and other building data as for example wall thickness and characteristics of the critical points as windows and balconies.

By combining both geometrical and stratigraphic information, a Building Information Model (BIM) of the demonstrative building has been generated, also taking into consideration the different structural elements following the constructive logic of the building: elements of the cover, walls, insulation, panels, roof, pillars and beams (object oriented approach to the design). The data analyses based on the input and model derived from the first steps

sistemi di produzione dell'energia (solare termico e fotovoltaico), della ventilazione naturale o meccanica, e di sensori per l'acquisizione di parametri fisici chiave concorrendo ad aumentare l'efficienza energetica complessiva.

3. METODOLOGIA

Molte sono le ricerche condotte sui metodi di riqualificazione energetica che hanno studiato e valutato l'impatto che, differenti misure di risparmio energetico applicate al patrimonio edilizio esistente, possono avere sulla riduzione delle emissioni di CO₂ [3]/[4]/[5]. In letteratura sono disponibili svariate metodologie per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici esistenti, ma a volte sono troppo complicate o altre volte richiedono dati troppo dettagliati, spesso non disponibili per gli edifici esistenti o troppo settoriali, perché si focalizzano esclusivamente su una tipologia di parametri (ad esempio tecnologici, economici, estetici, storici o culturali) senza considerarli nel loro complesso. Come anticipato nell'introduzione, il progetto EASEE ha cercato di rispondere all'esigenza di riqualificare le facciate degli edifici esistenti con la creazione di un processo di progettazione integrato che, partendo da un'analisi avanzata degli edifici esistenti con tecniche di rilievo avanzate, porti alla riduzione dei consumi energetici come richiesti dagli utenti stessi. Questo paragrafo descrive e spiega nel dettaglio la metodologia EASEE, sviluppata, applicata e verificata durante il progetto su un edificio dimostrativo. Il nuovo approccio di riqualificazione dell'involucro proposto è illustrato nello schema di Figura 2. Essendo la metodologia EASEE basata su un elevato livello di prefabbricazione con componenti che presentano già la finitura completa al momento dell'installazione in cantiere senza necessità di ulteriori opere di intervento, è necessario un accurato rilievo geometrico dell'edificio. La prima fase del processo di adeguamento consiste quindi in un'attenta valutazione dell'involucro sia dal punto di vista strutturale che energetico, nonché in termini di parametri e indicatori non strettamente tecnologici, utili alla completa pianificazione dell'intervento di recupero. Queste analisi sono state eseguite partendo dalla documentazione esistente sull'edificio, input iniziale per una valutazione più approfondita delle caratteristiche e delle condizioni attuali dell'involucro. A questo proposito, è importante sottolineare come in alcuni casi e per certe nazioni, la documentazione tecnica non fosse disponibile per gli edifici costruiti prima del 1950. In questo caso, sono state utilizzate tecniche più precise non distruttive, come ad esempio termo flussimetri, per rilevare informazioni il più dettagliate possibili per determinare la composizione dell'involucro esistente. Inoltre al fine di determinare nel dettaglio anche le componenti strutturali e le loro condizioni attuali, sono state condotte ulteriori analisi con tecnologie di ultima generazione non distruttive come ad esempio una scansione con un laser scanner 3D o una campagna

allow identifying within the EASEE approach the most suitable solution (outer, inner, internal) for envelope retrofitting. The final phase concerns the retrofitting process from building design to construction site coupled with monitoring campaign.

di rilievo con una temocamera ad infrarossi. Queste tecniche hanno permesso di acquisire dettagliate informazioni tridimensionali, mappe di temperatura superficiali (per individuare eventuali ponti termici), stabilità degli intonaci o altri elementi di finitura, oltre ad altri dati come ad

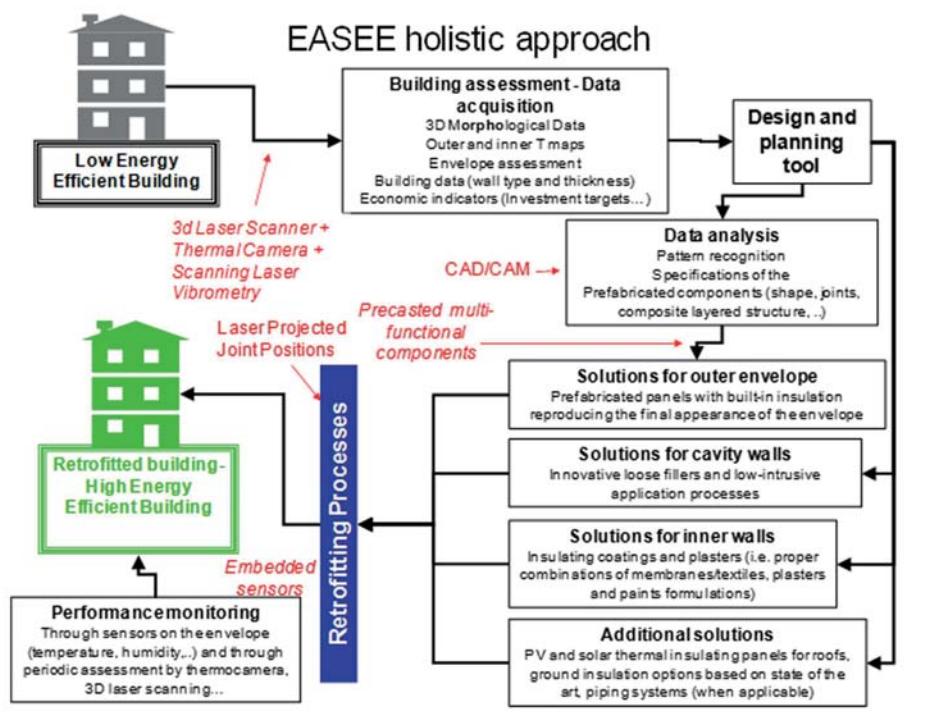


Figure 2. EASEE methodology for envelope retrofitting.

4. RESULTS

The Italian demo building was targeted to validate the retrofitting approach on a large scale, from assessment of the starting conditions to the manufacturing and installation of the modular elements to the monitoring of performance after retrofitting. The demo building was selected among others in cooperation with ALER (Public Housing Agency of Lombardy Region) because it perfectly fulfilled the desired specifications towards the demonstration activities (multi-storey residential buildings built between 1925 and 1975 with cavity walls). Moreover, the information collected from the survey with a thermal imaging camera revealed and confirmed the needs to apply an energy retrofitting in order to solve the high-energy losses from the envelope. Among the other reasons, the retrofitting of the Italian demo building, being a public housing building, would strengthen the importance of replicability and impact of the EASEE approach for future improvement and applications. The building geometrical, structural and energetic analysis has been performed towards a complete evaluation of building boundary conditions and the validation

esempio lo spessore delle chiusure verticali o la caratterizzazione di punti critici quali finestre e/o balconi.

La combinazione di tutte queste informazioni, sia geometriche che tecnologiche, ha permesso di ottenere un modello BIM dell'edificio dimostrativo, tenendo in considerazione la logica costruttiva dei diversi elementi strutturali: copertura, pareti, pilastri, travi, isolamento e pannelli (secondo un approccio alla progettazione per oggetti). Le analisi dei dati derivati dalle prime fasi dell'approccio EASEE hanno permesso di identificare la soluzione (esterna, nell'intercapedine o interna) più idonea di recupero dell'involucro. Partendo dalla progettazione della soluzione di recupero di facciata, si è giunti alla fase finale del processo che ha visto la realizzazione in cantiere dell'installazione del pannello EASEE con relativa campagna di monitoraggio prima e dopo l'intervento.

4. RISULTATI

Il dimostratore italiano è stato sviluppato allo scopo di validare l'approccio metodologico di EASEE alla grande scala, dalla valutazione delle condizioni iniziali, fino alla produzione e installazione degli elementi prefabbricati modulari e al monitoraggio delle prestazioni dopo l'intervento di recupero. L'edificio è

of the EASEE methodology. The geometrical and technological survey on the residential case study has been conducted in order to build a BIM model reproducing the real geometric irregularities of the fabric and to make a correct design of the new envelope panels (Figure 3).

stato selezionato in collaborazione con ALER Milano (Azienda Lombarda Edilizia Residenziale) sulla base delle sue caratteristiche che lo rendono rappresentativo dello stock edilizio assunto come target del progetto di ricerca (edificio residenziale multipiano, costruito tra il 1925 e

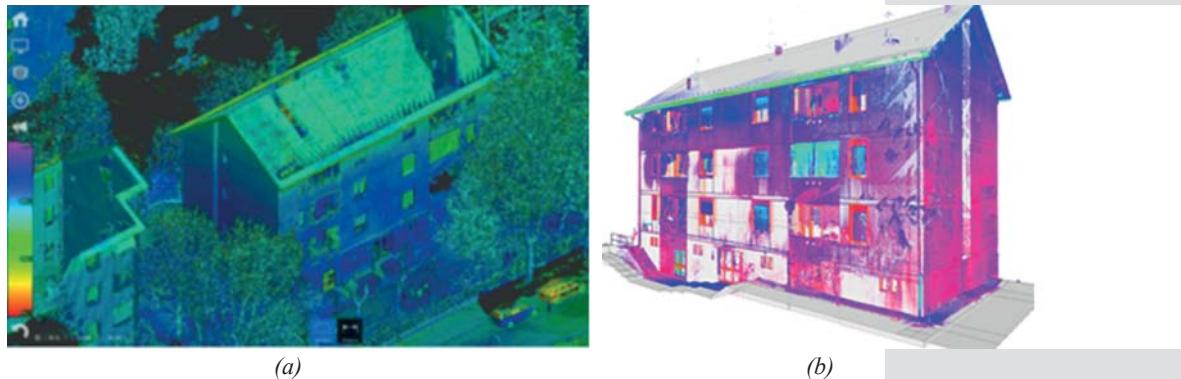


Figure 3. EASEE Italian demo building model from survey and elaboration in a) Revit and in b) Rhino.

Together with the 3D laser survey, an IR imagines campaign (Figure 4) has been conducted, allowing to perform a non-destructive investigation on the building, viewing in real time the heat map on the elevation, and measuring the facade surface temperature without contact (Figure 5). The survey revealed the critical points of the building, mainly thermal bridges (both structural and between windows and the opaque envelope).

il 1975, con parete esterna a cassa vuota). Le informazioni raccolte nell'ambito dell'indagine termografica preliminare hanno confermato per l'edificio l'esigenza di attuare un intervento di riqualificazione energetica dell'involucro al fine di ridurre le elevate perdite per trasmissione. Inoltre, l'intervento di recupero sull'edificio dimostratore italiano, in quanto social housing, ha permesso di evidenziare l'impatto che

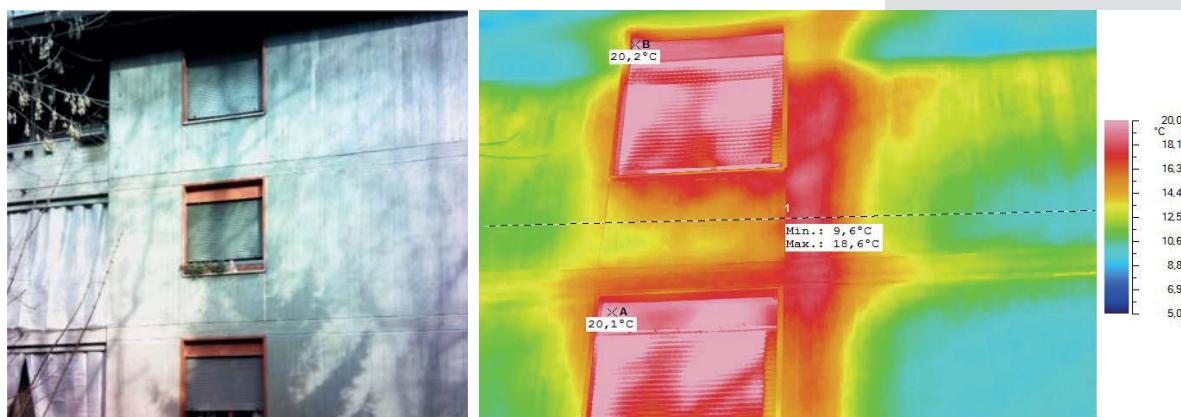


Figure 4. Italian demo building thermal imaging survey on North/East facade (Source. POLIMI Elaboration).

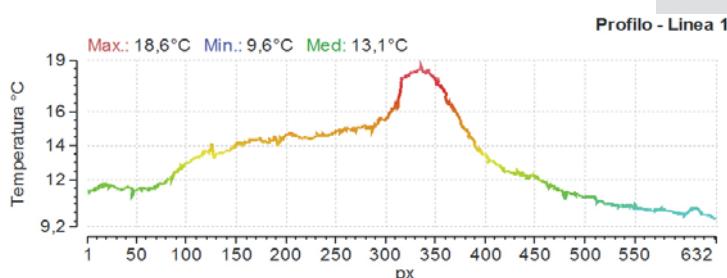


Figure 5. Temperature profile line of the thermal survey on North/East facade.

As described in the introduction, the EASEE project lead to the creation of three envelope retrofit solutions. Within the analyses of the data derived from the building assessment of first phase of EASEE methodology, the outer solution has been identified as the most suitable for the envelope retrofitting of the case study. The design of the outer solution has been conducted focusing on the main typological, morphological and technological features of a typical residential building and aiming at preserving the architectural features of the exterior building envelope or, wherever possible, at improving them with a reduced extra-load on the existing structure. Moreover, lightness and fast and easy assembly techniques were the major concern in parallel with the goal to install the solution without fixed scaffolds to reduce impact on inhabitants' life. The solution obtained is a prefabricated insulation panel consists of a core of EPS, 100 mm thickness laminated to two outer layers of concrete, fibre-reinforced with polymer fibres (Textile Reinforced Concrete - TRC) of thickness equal to 10 mm. Excellent resistance to compression and a high tensile strength characterizes the system. Several tests in research laboratories at Politecnico di Milano - combined with dynamic simulations - have been conducted before starting the production of the panels in order to investigate mechanical [6], energetic and hygrothermal properties [7].

la replicabilità dell'approccio EASEE può avere, anche in vista di futuri miglioramenti e applicazioni. L'analisi delle caratteristiche geometriche, strutturali ed energetiche dell'edificio esistente è stata condotta al fine di pervenire ad una completa valutazione delle condizioni al contorno e di validare la metodologia EASEE. L'indagine geometrica e tecnologica sul caso di studio residenziale ha permesso di costruire un modello BIM in grado di riprodurre fedelmente le irregolarità geometriche della struttura e di consentire la corretta progettazione dei nuovi pannelli di involucro (Figura 3).

Insieme al rilievo laser 3D, sono state eseguite ulteriori indagini di tipo non-distruttivo sull'edificio, come una campagna termografica (Figura 4) che ha restituito in tempo reale una mappatura del calore sui prospetti con i dati della temperatura superficiale delle facciate (Figura 5). L'indagine ha permesso di evidenziare i punti critici dell'edificio, ovvero i ponti termici, sia strutturali che in corrispondenza dei giunti tra infissi ed involucro opaco.

Come descritto nell'introduzione, nell'ambito del progetto EASEE sono state sviluppate tre diverse soluzioni per la riqualificazione energetica dell'involucro. Dall'analisi dei dati raccolti nella prima fase di indagine prevista dalla metodologia EASEE, la soluzione per la riqualificazione dall'esterno dell'involucro è stata ritenuta quella più adatta all'intervento sul dimostratore

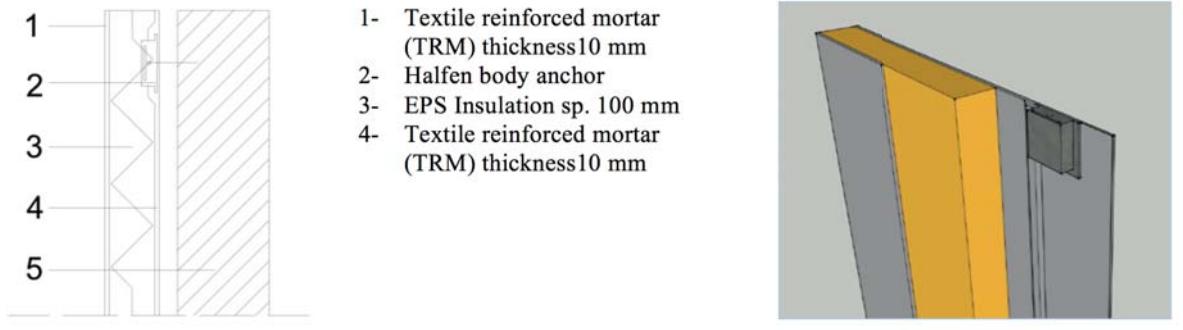


Figure 6. Scheme of the outer insulation panel (on the left) and axonometric view of the panel (on the right).

The design of the prefabricated panels started from the following concepts:

- Energy performance improvement with the achievement of the thermal transmittance targets (in terms of U value);
- Installation time minimization and mistakes reduction for the building retrofitting, by performing an accurate survey of the building and by developing optimized prefabricated panels components;
- Availability of wide range of different finishing layers of the retrofitting panels;
- Easiness of local replacement in case of damage of a single panel;
- Possibility to retrofit the building without burdening occupants and users

italiano. Il progetto della soluzione per l'esterno è stato sviluppato sulla base delle principali caratteristiche tipologiche, morfologiche e tecnologiche di un tipico edificio residenziale, allo scopo di preservare le caratteristiche esistenti delle facciate esterne o, ove richiesto, di migliorarle con un ridotto sovraccarico sulla struttura esistente. Inoltre, sono stati perseguiti come ulteriori obiettivi di progetto la leggerezza dei componenti ed una procedura di assemblaggio semplice e rapida al fine di garantire l'installazione della soluzione senza ponteggi fissi, con un ridotto impatto per gli occupanti. La soluzione ottenuta è un pannello di isolamento prefabbricato che consiste di un nucleo di EPS, dello spessore di 100 mm, rivestito da due strati esterni di cemento rinforzato

as well as normal activities inside the building during the intervention. From the structural point of view the panels were connected with the existing facade by means of specific anchoring systems (developed by Halfen), which are connected with dedicated HPFRC (High Performance Fibre-Reinforced Concrete) boxes located in the four corners of the perimeter of the panel. Magnetti Building S.p.a. has produced the panels installed on the demonstrative building by means of the reconfigurable formwork designed by STAM and assembled at Magnetti premises. This formwork allows the realization of different types of panels finishes in terms of colours and texture. Indeed, pigments of colours can be added to the TRC before the concrete injection and a form liner can be applied to the internal side of the formwork in order to obtain the desired finishing. As already mentioned in the Methodology paragraph, BIM process was extensively used at supporting the building design of the Italian building retrofitting, towards the anchoring systems definition, check congruence with irregularities façade, indication for adjustment anchor and related tracking on site (Figure 7 and Figure 8). The BIM model become an input for the Retrofitting Planning tool (developed by IES within the project – as a partner of the consortium). Then the software analysed the model in order to identify panels dimension according to the façade and its technological and structural characteristics.

con fibre polimeriche (TRC) ognuno dello spessore di 10 mm. Il prodotto si caratterizza per l'eccellente resistenza a compressione ed una elevata resistenza a trazione. Diversi test sono stati condotti nei laboratori di ricerca del Politecnico di Milano – in combinazione con simulazioni di tipo dinamico – prima della produzione dei pannelli in modo da investigarne preliminarmente le proprietà meccaniche [6], energetiche e igrometriche [7].

Il progetto dei pannelli prefabbricati è stato sviluppato tenendo conto dei seguenti obiettivi:

- miglioramento delle prestazioni energetiche con il raggiungimento di valori target di trasmittanza energetica (U);
- minimizzazione del tempo di installazione e riduzione degli errori nella fase di cantierizzazione, mediante l'implementazione di un rilievo accurato dell'edificio e lo sviluppo di una componentistica ottimizzata per i pannelli prefabbricati;
- disponibilità di un'ampia scelta di differenti finiture per la superficie esterna dei pannelli;
- facilità nella sostituzione locale dei pannelli in caso di danno;
- possibilità di realizzare l'intervento di recupero senza disturbare gli occupanti e le normali attività che si svolgono nell'edificio durante il cantiere.

Dal punto di vista strutturale i pannelli sono stati fissati alla facciata esistente mediante uno specifico sistema di ancoraggio sviluppato da Halfen connesso ai pannelli mediante specifiche scatole di calcestruzzo

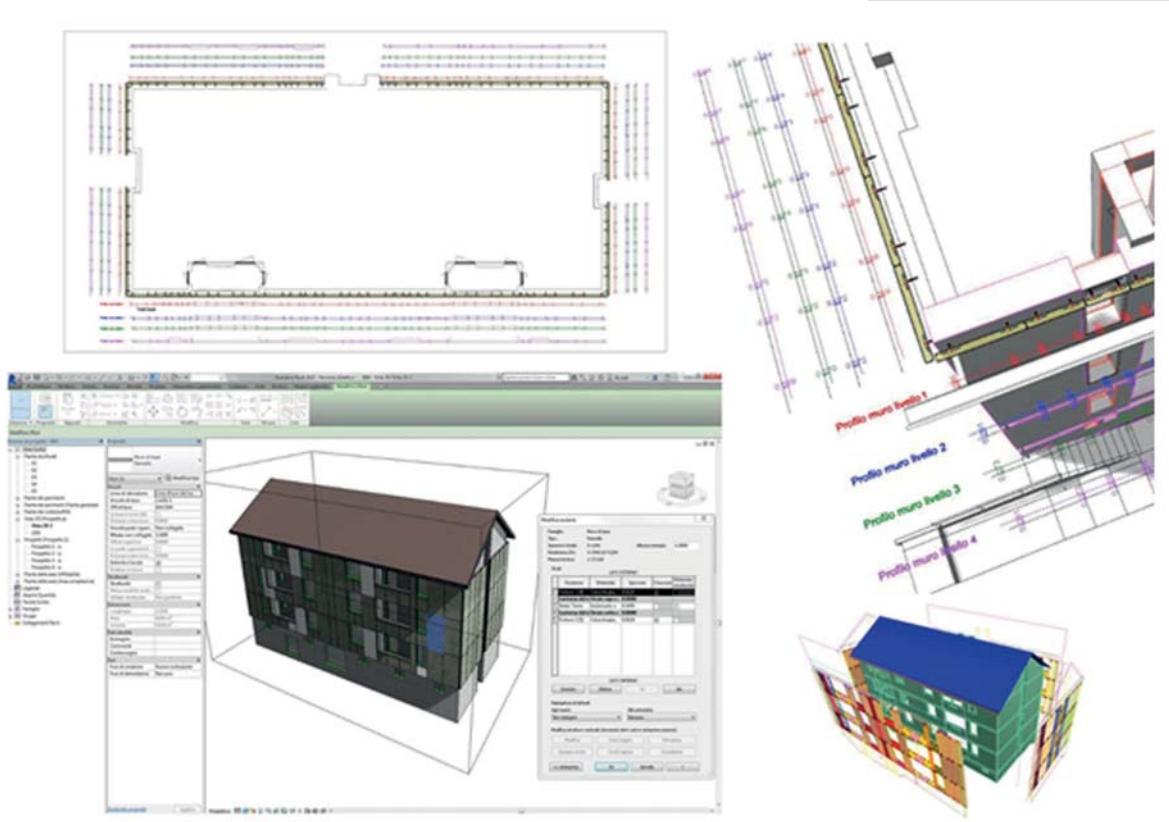


Figure 7. BIM approach at supporting retrofitting design.

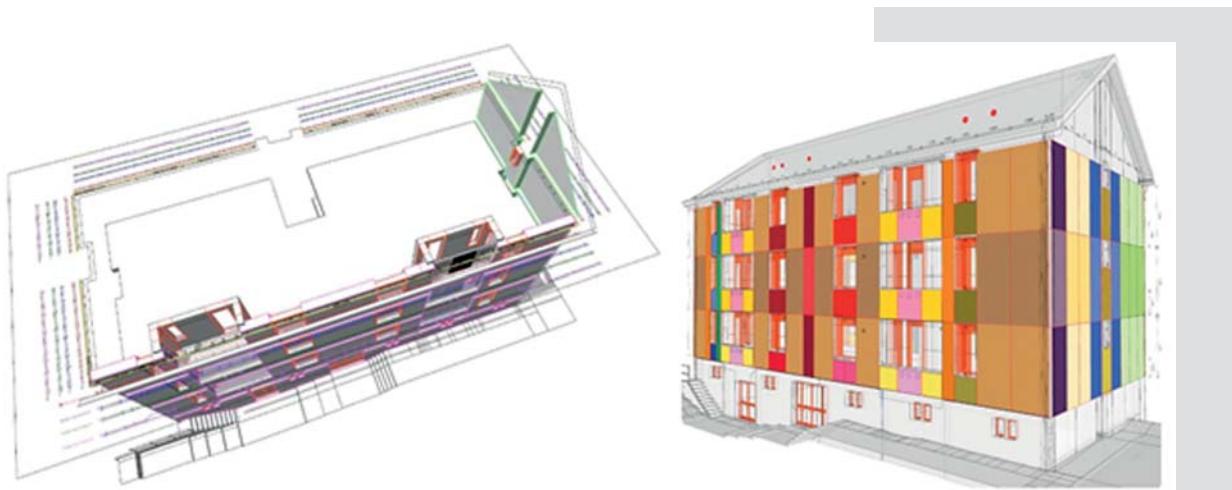


Figure 8. Axonometric design of the Italian demo building with the EASEE outer envelope solution.

The results is a file containing all the necessary manufacturing data directly provided to the project partner for the production of the different panels.

fibrerinforzato ad alte prestazioni (HPFRC) disposte in quattro punti (due sul bordo superiore e due su quello inferiore). I pannelli installati

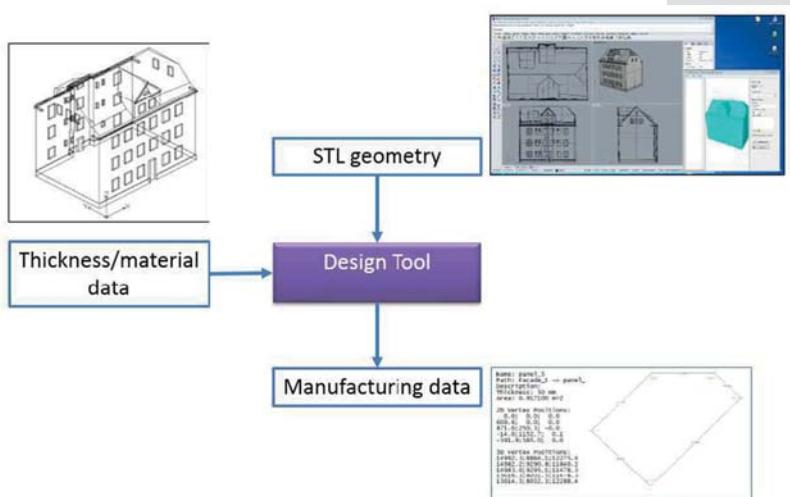


Figure 9. Scheme of the flow data from Input to Output of the Retrofitting Planning Tool.

5. CONCLUSIONS

The Italian demo building of the EASEE project, concerning the design of the outer façade renovation solution and the EASEE methodology application, has been presented in the article. The EU project outputs demonstrated the effectiveness of an innovative modular prefabricated system for the outer envelope retrofitting characterized by good insulation performances ($U_w = 0,27$ W/m²K after the retrofitting) and durability and a wide variability of finishes for both colour and textures. The overall EASEE holistic retrofitting approach has been validated through the retrofitting of an entire building case study in Italy, where all technical details have been evaluated and put in place. During

sull'edificio dimostrativo sono stati prodotti da Magnetti Building S.p.A. con casseri riconfigurabili progettati da STAM e assemblati negli stabilimenti di Magnetti. Il cassetto riconfigurabile permette la realizzazione di differenti tipi di finiture in termini sia di colore che di texture. Per il colore, alla miscela di TRC prima del getto iniezione possono essere aggiunti dei pigmenti, mentre per le finiture, queste possono essere realizzate mediante l'applicazione di una matrice sul lato interno del cassetto. Come già citato nel paragrafo sulla Metodologia, un processo di tipo BIM è stato ampiamente usato per guidare tutto il processo di recupero dell'edificio italiano; lo stesso ha permesso di controllare la congruenza del sistema di ancoraggio rispetto all'irregolarità delle facciate e di operare il tracciamento in cantiere degli stessi punti di ancoraggio (Figure 7 e 8).

the building-retrofitting phase, the occupants have always expressed interest and very positive attitude towards the works and they have really appreciated the absence of scaffolding and the possibility to perform daily activities in full freedom. Moreover, they have also experienced the quick installation of the panels themselves that took 3 month for their completion. The widest façade of the building have been indeed retrofitted in approximately 10 days. Finally, building occupants will appreciate the benefits of the EASEE thermal solution not only in winter, but also in summer when they always complain about thermal discomfort inside their homes. The result of the building façade renovation is presented in Figure 10. The research leading to these results has received funding from the European Union 7th Framework Programme 2007-2013 under Grant Agreement n. EeB.NMP.2011-3-285540.

Inoltre, il modello BIM ha fornito i dati di input per il Retrofitting Planning Tool, sviluppato dal partner IES all'interno del progetto. Dall'analisi del modello, il software ha elaborato lo sviluppo delle caratteristiche dimensionali dei pannelli sulla base delle caratteristiche tecnologiche e strutturali della facciata.

Il risultato finale è un file contenente tutte le informazioni necessarie alla produzione e gestione dei differenti pannelli di facciata.

5. CONCLUSIONI

L'articolo ha presentato le attività dimostrative sviluppate nell'ambito del progetto EASEE e riguardanti, nello specifico, la ricerca e lo sviluppo di una soluzione per la riqualificazione di facciata e l'implementazione di un'innovativa metodologia di recupero. I risultati del progetto europeo hanno dimostrato l'efficacia di un innovativo sistema modulare



Figure 10. View of the South-West Façade after the EASEE panels installation.

6. REFERENCES

- [1] Yamina, Saheb, Bodis Katalin, Szabo Sandor, Ossensbrink Heinz, and Panev Strahil. 2015. JRC Science and Policy Reports, European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- [2] Yamina, Saheb. 2016. *Energy Transition of the EU Building Stock. Unleashing the 4th Industrial Revolution in Europe*.
- [3] Corrado, Vincenzo, Ilaria Ballarini, and Simona Padoos. 2014. *Assessment of cost-optimal energy performance requirements for the Italian residential building stock*. In Energy Procedia, 45:443–452. doi:10.1016/j.egypro.2014.01.048.
- [4] Di Turi Silvia, and Pietro Stefanizzi. 2015. *Energy analysis and refurbishment proposals for public housing in the city of Bari, Italy*. Energy Policy 79: 58–71. doi:10.1016/j.enpol.2015.01.016.
- [5] EA-ECBCS, Annex 50 (International energy Agency). Prefabricated systems for low Energy renovation of residential buildings, final report.

prefabbricato per la riqualificazione della facciata esterna degli edifici caratterizzato da buone prestazioni di isolamento termico ($U_w=0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$) dopo l'intervento di recupero) e di durabilità e da ampia variabilità di finiture, sia di colore che di texture. L'approccio olistico, implementato nell'ambito di EASEE, è stato validato attraverso un intervento completo di recupero su un caso di studio in Italia, dove tutti gli aspetti tecnici sono stati valutati e messi in opera. Durante la fase di realizzazione dell'intervento di recupero, gli occupanti hanno sempre manifestato interesse ed una positiva predisposizione, apprezzando inoltre l'assenza di ponteggi che ha limitato i disagi nello svolgimento delle loro attività giornaliere. Inoltre hanno potuto testimoniare la rapida realizzazione dell'intervento

- [6] Isabella, Colombo, Colombo Matteo, and Di Prisco Marco. 2015. *Bending behaviour of Textile Reinforced Concrete sandwich beams*. Construction and Building Materials 95: 675–680.
- [7] Iannaccone Giuliana, Salvalai Graziano, Sesana Marta, and Paolini Riccardo. 2016. *Integrated approaches for large scale energy retrofitting of existing residential building through innovative external insulation prefabricated panels*. In SBE Conference proceeding.

che ha richiesto 3 mesi per il suo completamento. La facciata principale dell'edificio è stata invece completata in soli 10 giorni. I benefici della soluzione EASEE saranno apprezzati non soltanto in inverno, ma anche in estate, laddove si sono registrate lamentele per l'eccessivo caldo all'interno degli appartamenti. Il risultato del recupero di facciata è presentato nella Figura 10. La ricerca che ha portato a questi risultati ha ricevuto finanziamenti nell'ambito del Settimo Programma Quadro dell'Unione Europea 2007-2013 con contratto n. EeB.NMP.2011-3-285540.