

**SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE,
ECONOMIA CIRCOLARE E PRODUZIONE EDILIZIA.**

**La ricerca scientifica nel Settore delle Costruzioni nell'era delle nuove sfide
ambientali e digitali.**

**ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY,
CIRCULAR ECONOMY AND BUILDING PRODUCTION.**

**The scientific research in the Construction Industry in the age of new environmental and
digital challenges.**

A cura di

Giuseppe Alaimo

Pietro Capone

Angelo Ciribini

Bruno Daniotti

Guido R. Dell'Osso

Maurizio Nicoella

ISBN 978-88-916-1222-9

© Copyright 2015 by Maggioli S.p.A.

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, anche ad uso interno e didattico, non autorizzata.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.

Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8

Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggiolieditore.it

e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

L'editore rimane a disposizione degli aventi diritto per eventuali fonti iconografiche non identificate

Il catalogo completo è disponibile su www.maggioli.it area università

Finito di stampare nel mese di settembre 2015

Da Digital Print Service s.r.l. – Segrate (Milano)

SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE, ECONOMIA CIRCOLARE E PRODUZIONE EDILIZIA.

**La ricerca scientifica nel Settore delle Costruzioni nell'era delle nuove sfide ambientali e digitali
 ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, CIRCULAR ECONOMY AND BUILDING PRODUCTION.
 The scientific research in the Construction Industry in the age of new environmental and digital
 challenges**

Building Information Management

1. <i>Il BIM per la gestione di una gara con il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa,</i> G. M. Di Giuda, V. Villa, L. Loreti.....	9
2. <i>Modellazione BIM del patrimonio scolastico esistente per la pianificazione degli investimenti,</i> G. M. Di Giuda, V. Villa, F. Paleari, M. Schievano.....	29
3. <i>Modellazione efficace degli edifici a supporto dei Contratti di Prestazione Energetica,</i> S. Marinelli, S. Ruffini, A. Giretti, M. Lemma.....	49
4. <i>Field BIM per la Gestione Ambientale del Cantiere: un Caso di Studio,</i> A. Ciribini, G. Caratozzolo, S. Mastrolembo Ventura, M. Paneroni, M. Bolpagni.....	64
5. <i>La nuova UNI 11337: gestione digitale del processo delle costruzioni,</i> A. Pavan.....	84
6. <i>Modelli di conoscenza e di simulazione per l'intervento impiantistico sul patrimonio storico,</i> D. Simeone, S. Cursi, G. Carrara.....	104

La fase di programmazione pre-progettuale del processo edile;

La formalizzazione dei modelli per la progettazione e la costruzione

1. <i>360° Energy BIM as a device,</i> B. Angi.....	113
2. <i>Implementazione di un processo BIM-based per la gestione sostenibile di un cantiere edile: la realizzazione di modelli BIM a supporto della fase costruttiva,</i> G. Caratozzolo, M. Bolpagni, S. Mastrolembo Ventura, M. Paneroni, A. Ciribini.....	131
3. <i>Un Modello Integrato di simulazione per la progettazione di un cantiere ospedaliero a basso impatto,</i> U. Maria Coraglia, D. Simeone.....	147
4. <i>Costruibilità e sicurezza: un approccio per la gestione della sicurezza nelle fasi costruttive critiche,</i> T. Giusti, V. Getuli, P. Capone.....	163
5. <i>Schermature solari tensegrali responsive,</i> A. Pizzigoni, G. Ruscica.....	181

Sustainability

1. <i>Caratterizzazione prestazionale del calcestruzzo sottoposto ad incendio in un'ottica di sostenibilità</i> , M. Nicolella, C. Scognamillo.....	193
2. <i>La sostenibilità economica ed ambientale nella scelta dei materiali per migliorare le prestazioni dell'edilizia esistente</i> , S. Pennisi.....	213
3. <i>I rivestimenti marmorei nelle facciate del dopo guerra: dall'analisi tecnologica alla riqualificazione</i> ”, S. Bertorotta, S. Pennisi.....	230
4. <i>Produzione edilizia in continuità con il territorio</i> , M. Toni.....	250
5. <i>L'interattività per la riqualificazione ambientale e la valorizzazione del paesaggio</i> , M. Di Marzo, D. Forenza.....	270

Energy; Automation in construction

1. <i>Analisi di fattibilità sulla riqualificazione energetica di ospedali e poliambulatori</i> , M. Lemma, P. Principi, R. Fioretti, A. Carbonari.....	278
2. <i>Attendibilità delle prestazioni energetiche di diversi modelli BIM e BEM</i> , E. De Angelis, F. Re Cecconi, L. C. Tagliabue, S. Maltese, G. Pansa, A. Torricelli, S. Valaguss.....	296
3. <i>Stimare i consumi elettrici di cantiere. Identificazione del load factor delle gru a torre</i> , B. Bossi, M. Cassano, M. L. Trani.....	315
4. <i>Sostenibilità ambientale degli interventi di retrofit energetico</i> , R. Caponetto.....	331
5. <i>Retrofit attraverso Pannelli Prefabbricati: lo Stato dell'Arte</i> , E. Seghezzi, G. Masera.....	349
6. <i>La gestione dei carichi termici estivi mediante sistemi di Building Automation</i> , G.R. Dell'Osso, F. Iannone, A. Pierucci , A. Rinaldi, S. Vacca.....	367

Building performance engineering

1. <i>Modelli di ordine ridotto per il controllo e la gestione degli edifici</i> , B. Naticchia, M. Benedettelli, A. Carbonari, M. Vaccarini.....	387
2. <i>Prospettive nell'invecchiamento accelerato dei materiali e componenti edilizi</i> , R. Paolini.....	410
3. <i>Proprietà ottico e radiative dei tessuti per strutture leggere temporanee: valutazione delle prestazioni e decadimento nel tempo</i> , R. Paolini , A. G. Mainini , T. Poli , A. Speroni, A. Zani	429
4. <i>Workflow di interoperabilità verso la gestione energetica dell'edificio</i> , A. Ciribini, E. De Angelis, L.C. Tagliabue, M. Paneroni, S. Mastrolembo Ventura, G. Caratozzolo.....	443
5. <i>Il performance based building design attraverso la modellazione informativa energetica (BEM)</i> , C. Zanchetta, R. Paparella, C. Cecchini.....	462

**Il project construction management ed i sistemi integrati di gestione;
La gestione del ciclo di vita nelle costruzioni**

1. <i>I compiti del coordinatore per la sicurezza in rapporto allo standard del Project Management Body of Knowledge</i> , M. A. Bragadin, T. Giusti.....	482
2. <i>Geometria Qualitativa nel "BIM World". Generazione della Location Breakdown Structure per un processo di costruzione sostenibile</i> , A. Fioravanti, G. Novembri, F. Rossini.....	502
3. <i>Life cycle assessment di pitture commerciali</i> , G. Alaimo, D. Enea.....	522
4. <i>L'analisi dei costi nel ciclo di vita in supporto alla gestione di un'infrastruttura</i> , E. Fossi, M. A. Esposito.....	542
5. <i>Il management del flusso informativo delle costruzioni mediante valutazioni LCA</i> , A. Pierucci , G.R . Dell'Osso, C. Cavalliere.....	553
6. <i>Strumenti a supporto delle scelte strategiche nella gestione dei patrimoni immobiliari</i> , F. Re Cecconi, M.C. Dejaco, S. Maltese.....	572

“Retrofit attraverso Pannelli Prefabbricati: lo Stato dell’Arte”

“Building Retrofit through Prefabricated Panels: an Overview of the State of the Art”

Elena Seghezzi, Gabriele Masera

()Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, via Ponzio 31, 20133 Milano, Italia
elena.seghezzi@polimi.it, gabriele.masera@polimi.it*

Topic: Energia e Sostenibilità

Abstract

The aim of this paper is to provide an overview of the use of prefabricated panels in external building retrofitting. Building retrofit represents a pivotal point in terms of energy efficiency, as stressed by the European Directives EPBD 2002/91/EC, EED 2012/27/EU, 2009/28/EC, 2010/31/EU as well as by Horizon 2020, that also underlines the relevance of prefabrication as a primary retrofit strategies. Prefabrication can help overcoming the issues connected to traditional retrofit and provides advantages in terms of standardization in construction, a certain flexibility in architecture and the combination with conventional retrofit options; European projects, research works and architects designs have resulted in several proposals mainly focusing on residential context.

The review of the state of the art shows several approaches in terms of prefabricated panels: large modules, small modules, structural steel modules and partially prefabricated modules. The main challenges are linked to design, fabrication, transport and installation: the classification is based on those parameters, identifying the most promising innovation fields to be further investigated.

The building envelope represents a critical element to reach the 2050 decarbonisation goals; prefabrication in retrofit is expected to become a major tool to reach these goals. Some possible future developments are related to the thickness of the panel (linked to the use of innovative insulation material), and the adaptation in terms of finishing, dimensions and installation of the panel.

1. Introduzione

Questo paper propone una panoramica dello stato dell'arte relativamente all'uso di pannelli prefabbricati nel retrofit energetico dell'involucro edilizio. Il retrofit rappresenta un punto centrale in termini di efficienza energetica, in relazione al gran numero di edifici esistenti, sia pubblici che privati, in Europa. La necessità di intervento è sottolineata dalle Direttive Europee in merito: EPBD 2002/91/CE, EED 2012/27/UE, Direttiva per la promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili 2009/28/CE e 2010/31/UE. Tali direttive fissano i requisiti relativi al recupero e al retrofit degli edifici.

La prefabbricazione è una tecnologia di retrofit di primaria importanza, che coinvolge il recupero delle facciate e delle coperture. Attualmente la maggior parte del recupero edilizio si indirizza verso singoli componenti, quali coperture, serramenti, elementi d'involucro o impianti (Schwer, 2011). Il recupero di singoli elementi non permette risultati ottimali poiché spesso presenta nuove problematiche, in termini di condensa interstiziale o surriscaldamento dell'edificio (Advances in Housing Renovation - Processes, Concepts and Technologies, IEA SHC Task 37, 2011).

Il tema della prefabbricazione è particolarmente complesso poiché non riguarda solamente soluzioni tecniche. Le strategie olistiche devono incontrare le necessità di differenti attori coinvolti, inclusi investitori, utenti ed entità pubbliche. (Cooper, 2012)

Vari progetti di ricerca europei hanno proposto concept alternativi per il recupero edilizio innovativo tramite pannelli prefabbricati. Ciascuno di tali progetti presenta caratteristiche differenti, a seconda del contesto d'intervento e delle condizioni al contorno. Scopo di questo paper è una classificazione critica di tali progetti, che

1. Introduction

This paper provides an overview of the use of prefabricated panels in energy external building retrofitting. Building retrofit represents a pivotal point in terms of energy efficiency, connected to the great amount of existing buildings, both public and private, all around Europe. The need of intervention is underlined by the European Directives: EPBD 2002/91/EC, EED 2012/27/EU, Renewable Energy Directive 2009/28/EC and 2010/31/EU that set requirements linked to retrofit and building renovation.

Prefabrication is a primary retrofit strategy, involving both facades and roofs renovation. Currently most building renovations address isolated building components, such as roofs, windows, façades elements or building services (Schwer, 2011). Single renovation measures do not allow optimal results as new problems can arise, including local condensation or overheating (Advances in Housing Renovation - Processes, Concepts and Technologies, IEA SHC Task 37, 2011). Prefabrication is particularly challenging, as it does not involve only technical issues. Holistic strategies have to meet the needs of different actors, including investors, users and the public (Cooper, 2012).

There have been alternative concepts, developed through several research projects across Europe, involving innovative whole building renovations with prefabricated panels. Each project has its own features, linked to the different contexts and conditions. The aim of this paper is a critical classification of these projects, stressing differences and similarities between them, as well as identifying the main issues related to the theme of prefabrication in building retrofit.

evidenzi le differenze e le similitudini e sia in grado di identificare le principali problematiche connesse al tema.

2. Lo stato dell'arte

La Roadmap Horizon 2020 evidenzia la rilevanza della prefabbricazione all'interno del tema del retrofit. La prefabbricazione infatti può essere un utile strumento atto a superare le problematiche del retrofit tradizionale, in termini di tempistiche, discomfort, costruzione, estetica e costi (Miloni, 2011). In tale contesto, il retrofit esterno garantisce una serie di vantaggi, dato che non comporta perdita di superficie interna, garantisce il minimo discomfort per gli utenti, e riduce al minimo il rischio di condensa. La prefabbricazione può avere un ruolo fondamentale nel retrofit, poiché permette la standardizzazione nella costruzione, una certa flessibilità architettonica (principalmente in termini di finiture), e consente una combinazione con strategie di recupero convenzionali. Il processo produttivo connesso alla prefabbricazione inoltre consente un controllo sistematico sugli standard qualitativi dei prodotti.

Progetti europei, progetti di ricerca e lavori di architetti evidenziano l'importanza del tema del retrofit tramite prefabbricazione, concentrandosi principalmente sul contesto residenziale. (ECTP, 2014) La classificazione proposta distingue gli approcci a seconda del tipo di sistema sviluppato:

- Sistemi a grandi moduli: moduli di altezza pari ad un piano e di larghezza variabile, che spesso richiedono una sottostruttura. Tali moduli includono, oltre ai materiali isolanti, anche i serramenti e gli elementi impiantistici. In questa categoria sono inclusi anche i moduli in profili d'alluminio,

2. The state of the art

Horizon 2020 roadmap stresses the relevance of prefabrication in the wider frame of retrofit. Prefabrication can help indeed overcoming the issues connected to traditional retrofit, in terms of time, discomfort, construction, aesthetics and cost (Miloni, 2011). In this context, external retrofit provides several advantages, as it requires no internal living space loss, minimum disruption, and condensation risk minimization. Prefabrication can play a primary role in retrofit, as it consents standardization in construction, a certain flexibility in architecture (mainly in terms of finishing) and allows the combination with other conventional retrofit options. The production process linked to prefabrication consents a controlled quality standard of the products.

As prefabricated retrofit is a current issue, European projects, research works and architects have developed several projects, mainly focusing on residential context (ECTP, 2014). The review of the state of the art shows several approaches in terms of prefabricated panels. The classification proposed distinguishes the approaches depending on the system developed:

-Systems based on large panels: panels with the height corresponding to a floor and variable width, often requiring a substructure. Those modules include insulation, windows and building services elements. Other concepts are based on the addition of large modules on aluminum profiles deriving from standard solutions commonly used for glazed façade

-Systems based on small panels: small dimensions panels, completely prefabricated, not including windows. They require a higher level of adaptation to existing façades.

-Systems for extensions based on structural panels: load-bearing modules, made in steel,

utilizzati nel retrofit di facciate trasparenti, prevalentemente per edifici terziari.

-Sistemi a piccoli moduli: moduli di piccole dimensioni, completamente prefabbricati, che non comprendono serramenti e perciò richiedono un maggiore adattamento agli elementi della facciata esistente.

-Sistemi autoportanti per ampliamento: strutture auto-portanti, con cornice in acciaio in grado di coprire più di un piano, e di aumentare la superficie calpestabile attraverso la chiusura di balconi/logge

-Sistemi parzialmente prefabbricati: moduli di piccole dimensioni, che includono il serramento, da applicare in combinazione con sistemi di retrofit tradizionale.

a. Sistemi a grandi moduli

Si parla di grandi moduli nel caso di pannelli prefabbricati che coprono in verticale l'altezza interpiano dell'edificio e che includono, oltre al materiale isolante, anche elementi quali finestre o aperture e integrano anche dotazioni impiantistiche come condotti di ventilazione e collettori solari.

Un esempio applicativo di grandi moduli prefabbricati è quello installato a Dieselweg, Graz (Austria), e consiste in moduli installati su di una sottostruttura in legno, in opera sulla facciata esistente. La sottostruttura funziona da strato di livellamento e consente il riempimento con materiale isolante. Le dimensioni del modulo sono di 12 x 3 m: tali dimensioni sono state scelte in accordo con l'altezza media interpiano. Il sistema viene messo in opera tramite autogru ed eventuali ulteriori gru mobili.

Il modulo è composto da un semplice telaio in legno, un primo strato di isolamento and il sistema *solar comb*, montato sulla parte esterna su di un pannello MDF, seguito da un'intercapedine d'aria e coperto da un vetro singolo di sicurezza. Nella parte posteriore del telaio, un pannello OSB completa il

covering two stories and providing addition of floor area to an existing building through the closing of balconies and loggias, or through supplementary stories.

-Partially prefabricated systems: smaller panels with a high level of standardization, to be set on existing façades in combination with other prefabricated panels.

a. Systems based on large panels

Large modules are prefabricated panels covering the height of a floor of the building and include, in addition to insulation, other elements as windows or openings and building services, (ventilation ducts and solar collectors).

An application of prefabricated large modules was developed in Dieselweg, Graz (Austria), and consists in modules installed on a timber substructure, mounted on-site onto the façade surface.

The substructure works as a leveling layer and the intermediate space is filled with insulation material. The module dimensions are 12 x 3 m: the dimensions were set according to intermediate floors height. The assembly is made on-site by a truck-mounted crane and additional mobile-cranes.

The module consists in a basic frame of timber, with a first layer of insulation and a solar comb, mounted on the outside upon a MDF board, followed by a ventilated airspace covered with a single-pane safety glass.

On the back of the timber frame, an OSB board completes the module. The total thickness of the module is 24 cm (Zimmermann, 2011).

modulo. Lo spessore totale del modulo è di 24 cm (Zimmermann, 2011).



Fig. 1 Installation of the large panels in Dieselweg, Graz, Austria

Il residence per studenti Burse a Wupperthal (Germania) è un altro esempio di retrofit tramite grandi pannelli. Dopo la rimozione degli elementi di facciata, l'edificio è stato rivestito con pannelli in legno prefabbricati completi di serramenti pre-assemblati. Durante il recupero, è stata rimossa la facciata esistente fatiscente, composta da pannelli non portanti fissati alla struttura dell'edificio, mantenendo solo lo scheletro portante. L'edificio è stato completamente rivestito da elementi di facciata prefabbricati, composti da una cornice in legno e isolamento in fibra minerale. I pannelli sono stati poi installati sulla struttura in calcestruzzo armato. Le nuove porte-finestre a triplo vetro conformi allo standard *passive house* con serramenti in legno hanno consentito una redistribuzione degli spazi interni e una differente articolazione della facciata (Von der Energieschleuder zum

The Burse student residence hall in Wupperthal (Germany) is another example of large modules retrofit. The existing building was re-clad with wooden prefabricated panels including pre-assembled windows. During the refurbishment, the dilapidated façade consisting of non-load bearing slabs hanging in front of the building's shell was removed, retaining only the load-bearing structure. The building was completely fitted out with prefabricated façade elements with wooden frames and mineral fiber thermal insulation. The combination of several façade elements allows the development of an energy effective new cladding. The panels were then installed on the reinforced concrete framework. The new floor-to-ceiling triple glazed passive house windows, with wooden frames helped the renovation of the internal space and the facade articulation (Von der

Passivhaus, 2014).

Lo studio tedesco Schankula Architekten ha curato il retrofit di una ex-caserma trasformata in appartamenti. La facciata è stata realizzata con elementi in legno prefabbricati, che includono le finestre. Il montaggio della facciata è stato effettuato tramite gru in pochi giorni, riducendo al minimo il discomfort degli occupanti. La facciata, montata sulla muratura preesistente, prevede tre diverse possibili varianti: facciata passiva, con isolante fibroso, facciata con ventilazione e facciata con collettori solari. I moduli sono alti quanto un piano, hanno uno spessore di circa 35 cm e una larghezza pari a quella di un'unità abitativa (da 7 a 12 m) (Schankula, 2009).

Makartstrasse (Linz, Austria) è un edificio residenziale, sottoposto a recupero con il fine di raggiungere lo standard passive house attraverso l'utilizzo di *solar walls* prefabbricati. L'edificio, originariamente costruito nel 1957, aveva muratura in mattoni: la nuova facciata è realizzata in pannelli in legno prefabbricati, che integrano la facciata solare e condotti di ventilazione con recuperatore di calore. I pannelli sono fissati su di una sottostruttura in legno tramite autogru. I balconi esistenti sono stati integrati nella facciata, aumentando in tal modo la superficie residenziale degli appartamenti (Aschauer, 2008).

Energieschleuder zum Passivhaus, 2014).

The German architecture firm Schankula Architekten worked on the retrofit of an ex-military building, transformed in residential building. The façade has been developed through large wooden prefabricated modules, including windows. The assembly of the façade was carried out in few days with cranes, reducing the discomfort of the occupants. The façade, installed on the existing masonry wall, is designed in three different versions: passive façade, ventilating façade and solar-collector façade. The storey-high modules, with a thickness of 35 cm, have a width corresponding to the width of the dwelling unit (7 to 12 m) (Schankula, 2009).

Makartstrasse (Linz, Austria) is a residential building that underwent refurbishment in 2006, reaching passive house standard thanks to the use of prefabricated solar walls. The building, originally erected in 1957, has a masonry wall: the new façade is made of prefabricated wooden panels, integrating the solar wall system and ventilation ducts with heat recovery. The panels are installed on the existing façade with a wooden substructure. The installation is carried out with truck-mounted-cranes. The existing balconies have been integrated in the new façade, increasing the living space of the building (Aschauer, 2008).



Fig. 2 Installation of the panel in Makartstrasse, Linz (Germany)

b. Sistemi a piccoli moduli

Per piccoli pannelli prefabbricati si intendono moduli che possano essere maneggiati da una sola persona. In questo caso, si tratta di pannelli opachi da utilizzare applicati sulle facciate esistenti; particolarmente critica è l'interfaccia con gli altri elementi di facciata (finestre, aperture, balconi).

Un gruppo di ricerca portoghese ha disegnato moduli prefabbricati, di dimensioni 1 x 1 m e peso 12 kg/m². I materiali utilizzati sono sughero nero agglomerato per l'isolamento, XPS e strato di finitura in alluminio. Il modulo include anche spazio per condotti di ventilazione e un rallentatore di vapore. Il modulo è realizzato da profili metallici a U che incorniciano la parte in XPS; l'alluminio è sagomato a scatola per consentire il posizionamento dell'isolante in sughero.

I moduli sono connessi tra loro grazie a un sistema a pioli, che consente il fissaggio alla struttura in metallo. L'installazione prevede in primo luogo il fissaggio della

b. Systems based on small panels

Small prefabricated modules are panels that can be handled by one person. In this case, they are mainly opaque panels to be installed on the existing façade; the main issue is the interface between panels and other façade elements (windows, openings, balconies).

A Portuguese research team developed a module consisting in a 1 x 1 m panel, for 12 kg/m² panel. The materials involved are agglomerated black cork insulation, XPS and aluminum finishing. The final module also integrates ventilation ducts and a smart vapor retardant. The module includes steel U-profiles where the XPS is fitted, and the aluminum finishing is shaped like a box in order to lodge the cork insulation.

The connection between modules is done through a system of pins and holes, helping the module fitting into the metal support structure.

The installation consists first in the application of the metallic support structure on the existing façade, and then the fitting of

sottostruttura metallica sulla facciata esistente, e poi il fissaggio dei pannelli su tale sottostruttura (Silva, 2013).

Il modulo EASEE è stato sviluppato per l'applicazione sulla facciata esterna, e consiste in due lastre di TRM (Textile Reinforced Mortar) e isolamento in EPS. Tale combinazione di materiali garantisce al pannello flessibilità e resistenza. EPS è un materiale leggero, riciclabile, resistente, auto-estinguente, non tossico e stabile. Lo spessore totale del pannello è di 12 cm, e le sue dimensioni massime sono 3,3 x 1,5 m, a seconda della casseforme. La giunzione tra i due pannelli è un bordo semplice, in grado di minimizzare le problematiche connesse alla fabbricazione, al trasporto e all'installazione. La giunzione tra i pannelli consiste in due fasi: una guaina in schiuma polietilenica e un giunto in silicone. Il giunto ha uno spessore di 1 cm, ma può arrivare sino a 1,5 cm per assorbire le irregolarità della facciata. Le piastre in TRM consentono ogni tipo di finitura. Il sistema è montato sulla facciata esistente tramite l'uso di ganci in acciaio. Tali ganci consentono una cavità d'aria di 5 cm tra i pannelli e il muro esistente, che funge da strato isolante e minimizza i problemi di condensa (Masera, 2014).

the module to the structure (Silva, 2013).

The EASEE module was developed for the outer façade, and consists in two TRM (Textile Reinforced Mortar) plates and EPS (Expanded Polystyrene Sintered) insulation. This combination of materials guarantees flexibility and resistance to the panel. EPS is a light, recyclable, resistant, self-extinguishing, non-toxic and stable. The total thickness of the panel is 12 cm, and its maximum dimensions are 3,3 x 1,5 m, dependent to the formwork. The overlapping between two panels is a simple border, as it minimize fabrication, transportation and installation issues.

The junction between panels consists in a two-phase solution: first, a polyethylene foam sheath and a silicone joint. The joint thickness is 1 cm, but can reach up to 1,5 cm to take up the existing façade irregularities. The TRM plate allows any kind of finishing. The system is mounted on the existing façade through the use of steel anchor pins. Those pins allow a 5 cm air gap between the panels and the existing walls, that works as an insulating layer and does not create any moisture problem (Masera, 2014).



Fig. 3 Installation of EASEE panels

c. Sistemi autoportanti per ampliamento

Tali sistemi consentono l'ampliamento delle superfici degli edifici: si tratta generalmente di chiusure balconi o logge. L'ampliamento può essere effettuato anche grazie all'aggiunta di piani.

Il progetto di Tour Bois Le Prêtre, ad opera degli architetti Lacaton&Vassal, ha riguardato un edificio residenziale costruito nel 1962 e poi recuperato nel 2010, costituito da pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato. L'intervento ha previsto la demolizione delle facciate esistenti, sostituite da un nuovo involucro trasparente in pannelli scorrevoli ad altezza interpiano con telaio in alluminio a taglio termico e vetrate isolanti, e l'applicazione successiva di moduli tridimensionali. Tali moduli sono costituiti da una struttura in acciaio, sono alti come l'interpiano (276 cm), larghi quanto l'interasse strutturale preesistente (750 cm) e profondi 315 cm. I moduli arrivano in cantiere già assemblati (Malighetti, 2011).

L'edificio Autun, in Francia, fa parte di un progetto di ricerca avente il fine di proporre una soluzione per il rinnovamento delle facciate di edifici collettivi, con gli obiettivi di efficienza energetica, isolamento acustico, minimo disturbo degli occupanti, semplicità di installazione e varietà nelle finiture e nei rivestimenti.

Il sistema sviluppato consiste in moduli autoportanti, di altezza pari a due interpiani, con sostegni intermedi atti a garantirne la resistenza meccanica. Prima del fissaggio dei moduli, uno strato di materiale isolante è applicato sulla facciata. I moduli sono installati su supporti fissati alla facciata, attraverso sistemi di sollevamento. Le finestre vengono pre-assemblate sul modulo, mentre la membrana di tenuta all'aria viene

c. Systems for extensions based on structural panels

The use of structural modules consents the extension of floor area, usually involving the closing of balconies or loggias. The extension can take place also through the addition of storeys.

The Tour Bois Le Prêtre project, developed by Lacaton&Vassal architects, regarded a residential tower building built in 1962, and then refurbished in 2010, originally made of prefabricated structural concrete panels. The refurbishment project includes the demolition of the existing façades and the installation of a new transparent envelop composed of full height sliding panels with aluminum frame and insulated glass, and the consequent installation via stacking of prefabricated three-dimensional modules. These modules have an independent steel structure, a full height (276 cm), width equal to the structural span of the existing building (750 cm) and a 315 cm depth. The prefabricated modules are delivered to site yet assembled (Malighetti, 2011).

The Autun building, in France, is part of a research project aiming at the setting of a solution for façade renovation of collective buildings, with the goals of energy efficiency, noise protection, low disturbance of the occupants, ease of installation and high diversity of cladding and exterior finishing.

The system consists of self-supporting modules forming the façade, with a unit height equivalent to 2 stories, with intermediary uprights to ensure mechanical resistance. Before installing the modules, a first insulation layer is set on the façade. The modules are installed on the brackets fixed to the façade through suitable lifting equipment. The window is preassembled in

fissata in situ. I condotti per la ventilazione possono essere integrati all'interno della facciata. Tale sistema risulta interessante in caso di aggiunta di uno o due piani a una struttura esistente, oppure in caso di chiusura di balconi o logge (Zimmermann, 2011).

the steel frame, the installation of the airtightness membrane has to be done on-site. The ventilation ducts can be integrated in the façade. This system is particularly interesting in case of addition of surfaces (one or two stories) to an existing building, as well as in closing balconies or loggias (Zimmermann, 2011).



Fig. 4 Prototype façade module

d. Sistemi parzialmente prefabbricati

Tali sistemi prevedono l'applicazione dei moduli prefabbricati in corrispondenza delle parti maggiormente critiche, ovvero quelle finestrate dell'edificio, e il successivo completamento delle parti opache tramite altri pannelli prefabbricati, o tramite metodi di retrofit tradizionale che permettono un più semplice adattamento alle variabilità dimensionali tipiche dell'edilizia esistente.

Un esempio è fornito dal progetto sviluppato in Svizzera. Si tratta di un progetto di modulo di facciata e di copertura, con

d. Partially prefabricated systems

Those systems involve the application of prefabricated modules on the most critical parts of the façade (the window parts), and the consequent finishing of the opaque parts by means of other prefabricated panels or by means of traditional retrofit methods allowing an easier adaptation to the variabilities of existing buildings.

An example of this strategy is provided by a Swiss project. This project developed a façade and roof construction module, with internal ventilation ducts for external

condotti di ventilazione integrati, per il retrofit esterno dell'involucro edilizio esistente. I moduli includono componenti quali finestre, condotti di ventilazione, persiane, isolamento termico, collettori solari e altri impianti. I moduli sono stati dimensionati considerando le problematiche connesse al trasporto, all'aggiustamento sulla facciata esistente e ai processi produttivi. Il modulo base, chiamato *base module 4.1*, ha dimensioni di 2,8 x 2,8 m, e include una finestra. Può essere installato in facciata su di una linea verticale corrispondente alle finestre esistenti; le parti di facciata rimanenti possono essere completate tramite sistemi standard o moduli prefabbricati. Lo spessore del modulo dipende dal diametro dei condotti di ventilazione integrati (20 cm o 22 cm); la finestra integrata è a triplo vetro. Le dimensioni dell'apertura nel modulo sono adattabili all'apertura esistente. I moduli sono fissati alla facciata tramite piatti in metallo e staffe, con l'uso di piattaforme. La cornice del modulo è in legno; il materiale isolante può essere lana minerale, schiuma o pannelli isolanti sottovuoto. L'area di tolleranza tra i moduli viene riempita con isolante morbido, per garantire la performance termica dell'involucro (Zimmermann, 2011).

retrofitting of the existing building envelope, aiming at the reduction of energy consumption. The prefabricated module includes components such as windows, ventilation ducts, blinds, thermal insulation, solar energy systems and other utility services. The dimensions of the modules were set considering transportation limits, possible façade arrangements and factory-processing sizes.

The so called "base module 4.1" is a small size module (2,8 x 2,8 m), highly standardized. This module includes a window, and it can be applied to a full vertical line of existing openings. The remaining opaque façade sections can be cladded in the usual way, using standard façade systems, or prefabricated modules.

The thickness of the module depends on the diameter of the integrated ventilation ducts (20 cm or 22 cm). The size of the opening in the module is adaptable to the clear opening in the existing wall. The modules are fixed to the existing walls through metal flats and metal brackets, by means of cantilevered platforms. The module frame is made of timber. The insulation used for the module can be mineral wool, foam or vacuum insulation panels.

The tolerance area between the modules is filled with compressible insulation (Zimmermann, 2011).

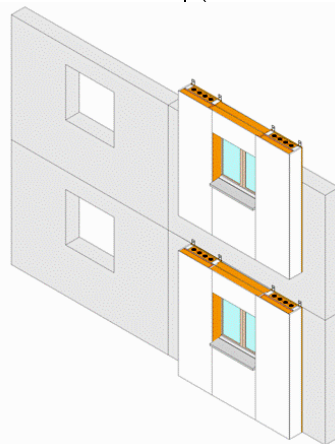


Fig. 5 Installation of the prefabricated module on the window area

3. Principali problematiche

L'analisi dei casi studio consente una valutazione dei punti maggiormente critici in relazione al tema del retrofit tramite pannelli prefabbricati, identificando perciò vantaggi ma soprattutto aspetti problematici connessi a ciascuna tipologia.

a. Adattabilità dimensionale

Una delle sfide più ambiziose e maggiormente rilevanti è quella relativa all'adattabilità dimensionale; la possibilità che il sistema scelto sia adattabile a differenti condizioni al contorno in termini dimensionali costituisce un tema mai messo in evidenza né indagato da alcuno dei casi studio presentati.

La scelta di pannelli di grandi dimensioni, a fronte di svantaggi relativi ad aspetti differenti, consente certamente di far coincidere l'altezza del modulo con quella di un piano. D'altro canto, tuttavia, non è chiaro se e come sia stato risolto il problema sulla dimensione orizzontale. I moduli di grandi dimensioni richiedono inoltre dati geometrici di alta qualità: si utilizzano prevalentemente metodi di misurazione digitale, quali 3D-Laserscanning. In questi casi però si ottiene un sistema su misura, che varia a seconda dell'edificio e delle sue caratteristiche geometriche, e di limitata applicazione. È interessante invece prevedere un sistema prefabbricato che possa in qualche modo ammortizzare le difformità geometriche e perciò adattarsi a molteplici condizioni.

Il sistema parzialmente prefabbricato è interessante poiché affronta la questione da un punto di vista differente: limitando l'utilizzo del modulo prefabbricato alle sole parti finestrate della facciata, consente di risolvere il tema dell'adattamento dimensionale delle parti opache che possono quindi essere completate anche con sistemi

3. Critical Issues

The case studies analysis allows an evaluation of the most critical points related to the retrofit through prefabricated panels, identifying therefore advantages and critical aspects linked to each typology.

a. Dimensional adaptability

One of the most demanding and significant challenges is the dimensional adaptability: the possibility to adapt the chosen system to different boundary conditions from a dimensional point of view represents a pivotal point, and it's never been investigated nor underlined by any of the presented case-study. The choice of large modules, besides presenting some disadvantages from other points of view, surely consents to set the height of the panel to correspond to the height of a floor. On the other hand, it is not clear if and how the issue linked to the horizontal dimension has been solved. Large scaled modules need very high quality data; currently a common method is based on digital measurements, e.g. 3D-Laserscanning. In those cases, the solution obtained is "custom-tailored" and depends on the building and its geometrical characteristic. It would be interesting to consider a prefabricated system that can somehow limit the geometrical differences and therefore adapt to several conditions.

The partially prefabricated system is interesting, as it faces the issue from a different point of view: by limiting the use of the prefabricated module to the window area of the building, it allows to solve the adaptability of the opaque areas, to be completed also on-site with traditional retrofit systems.

di retrofit tradizionali applicati in opera.

b. Adattamento alla morfologia della facciata

Il retrofit esterno si confronta con morfologie di facciata estremamente variabili e differenti. Utilizzare sistemi prefabbricati implica la valutazione delle diverse criticità dell'interfaccia tra punti critici della facciata esistente e pannello prefabbricato. È possibile notare come la maggior parte dei casi preveda una strategia additiva e non sostitutiva della facciata esistente. Molto spesso l'interfaccia critica con le aperture presenti in facciata (prevalentemente finestre) è risolta tramite il pre-assemblaggio di nuovi serramenti inclusi nel modulo (strategia applicata prevalentemente sui moduli di grandi dimensioni). Serramenti integrati nel modulo presentano il vantaggio di completare il giunto tra finestra e nuova facciata in condizioni controllate nella fase di assemblaggio in officina. D'altra parte la connessione tra modulo e intradosso deve comunque essere completata in sito.

Per ciò che concerne balconi o logge, si tratta di punti deboli in termini di efficienza energetica, poiché spesso sprovvisti di tagli termici. In questi casi, la strategia prevalente è quella della loro chiusura, e quindi del conseguente incremento di superficie o di volume costruito. Tale scelta consente quindi di integrare gli elementi nell'involucro, con vantaggi sia dal punto di vista di performance energetica, sia dal punto di vista economico (aumento del valore dell'immobile).

In nessuno dei casi considerati ci si confronta con morfologie composte da elementi diversi da finestre o balconi (ad esempio fasce marcapiano o elementi decorativi).

Un altro aspetto non esplicitato né indagato è quello relativo alle caratteristiche di resistenza strutturale della facciata o della struttura esistente: tale aspetto potrebbe costituire un punto critico a causa delle

b. Façade morphology adaptation

External retrofit has to cope with extremely different façade morphologies. Using prefabricated systems implies an evaluation of the different critical issues of the interface between existing façade and prefabricated panel. It is noticeable how the most part of the cases involves a strategy of addition rather than a replacement of the existing façade. The critical interface with the openings of the façade (mainly windows) is often solved by means of the pre-assembly of new windows included in the module (this strategy is mainly used in large dimension modules). Module-integrated windows provide the advantage of completing the joint between window and new façade under controlled conditions within fabrication hall. Even so, the connection between the module and reveal has to be completed carefully on-site as well.

Balconies or loggias are usually thermal weak points due to their construction without thermal separation. The prevailing strategy is their closing and consequently increasing floor surface or built volume. This approach consents the integration of those elements in the envelope, with energy efficiency advantages, as well as economical benefits (increase in the value of the building).

None of the cases takes in consideration more complex morphologies, composed by elements other than windows or balconies (i.e. decorative elements, stringcourses).

Another ambiguous and unexplored aspect is related to the structural capability of the existing façade and the existing structure: this aspect could represent a critical point due to the notable dimensions and weight of the panels, especially referring to horizontal forces.

dimensioni e quindi dei pesi spesso considerevoli dei pannelli, specialmente in relazione alle sollecitazioni orizzontali.

c. Sistema di fissaggio

La tipologia del fissaggio è evidentemente connessa alle caratteristiche del pannello in termini di dimensioni e di peso. In generale, è spesso presente una sottostruttura applicata alla facciata esistente in grado di mitigarne le irregolarità: tra la facciata e i pannelli si crea di fatto un'intercapedine che può essere riempita con isolante morbido. I pannelli di minori dimensioni, maneggiabili da una persona, possono essere sia ancorati a sottostrutture, sia fissati direttamente alla facciata tramite fissaggi puntuali (ancoraggi in acciaio). In tal caso, il tema delle irregolarità è particolarmente delicato, poiché se il pannello risulta a contatto con la facciata, deve essere in grado di assorbirne le anomalie.

La giunzione tra i pannelli rappresenta un altro aspetto rilevante e potenzialmente critico, in termini di messa in opera, installazione e perciò di resistenza termica e tenuta all'aria.

Il sistema di giunzione, inoltre, se non controllato a livello di progettazione (es. incastro a lingua) tramite l'utilizzo di un giunto fisico, richiede indubbiamente una lavorazione in opera. In tal senso, è pur vero che in alcuni casi la scelta di un bordo semplice senza sovrapposizioni consente una maggiore flessibilità del sistema, sia in fase di trasporto, data l'assenza di fragili parti piccole, sia in fase di messa in opera, ad esempio in corrispondenza delle giunzioni d'angolo. D'altra parte, il bordo semplice richiede maggiore cura in fase di messa in opera, in quanto la mancanza di sovrapposizione rende difficoltoso garantire la tenuta all'aria e all'acqua.

Il progetto dei giunti è decisivo: la superficie della facciata dev'essere resistente all'acqua

c. Fixing system

The fixing on the façade is obviously linked to the panel dimension and its weight. Generally speaking, a sub-structure is installed on the existing façade: this substructure is useful as it can mitigate the existing building irregularities. Between the existing façade and the panels, the presence of a gap can be filled with soft insulation material. The small modules (that can be handled by one person) can be installed both on a substructure and directly on the façade by means of punctual fixing (steel anchors). In this case, the unevenness issues are particularly thorny, because if the panel is directly on contact with the façade, it has to control and cushion its irregularities.

This feature is sometimes impossible due to the geometry and composition of the panel itself.

The junction between panels represents another relevant and potentially critical point, in terms of on-site installation, thermal performance of the system and air tightness.

The joint system is moreover critical as, if it is not controlled in project phase (i.e. tongue-and-groove junction) by means of a physical overlapping, it does require an on-site intervention. In this sense, it is true that a level edge choice without overlapping consents greater flexibility of the system, in transportation, due to the lack of fragile small parts, and in installation, i.e. in the edges junction.

On the other hand, the level edge requires more care in the on-site installation. The lack of overlapping, indeed, makes it difficult to guarantee water resistance and air tightness.

The design of joints is decisive: the surface of the façade has to be waterproof against driving rain and the entire new envelope should constitute an air tight layer. But also, if there are damages, intermountability should be possible. Additional tolerances between the single modules should allow an

e all'aria. Tuttavia, in caso di danni, la smontabilità del singolo elemento del sistema deve essere garantita.

Inoltre, il progetto di adeguate tolleranze deve consentire semplicità di messa in opera e la possibilità di adattamento alle dilatazioni termiche.

4. Risultati e futuri sviluppi

La classificazione proposta ha aiutato ad identificare le principali strategie sinora sviluppate nel campo del retrofit edilizio tramite pannelli prefabbricati. I casi studio presentati mostrano vari sistemi, in grado di rispondere in modo differente alle problematiche principali connesse al tema. È possibile identificare elementi comuni alle diverse soluzioni; tuttavia appare evidente dall'analisi effettuata come ciascuna delle strategie riesca a risolvere alcune delle questioni coinvolte, lasciando altre problematiche irrisolte.

In termini qualitativi, è interessante sottolineare come ciascuno dei casi presentati abbia raggiunto più obiettivi: oltre al generale miglioramento delle performance energetiche, si è assistito infatti ad una positiva trasformazione architettonica, e a un conseguente aumento del valore degli immobili.

Da un punto di vista commerciale però, si nota una penetrazione di mercato pressoché nulla dei prodotti sviluppati; ciò perché probabilmente l'applicazione diffusa richiederebbe una flessibilità molto maggiore del sistema, per consentirgli di adattarsi alle condizioni variegiate del parco edificato esistente. Non è certo un caso che molti degli edifici dimostrativi su cui sono state applicate le soluzioni sperimentali siano caratterizzati da piante semplici e facciate molto regolari e prive di decorazioni.

Facendo riferimento alla matrice di Boston relativa alla crescita e alla quota di mercato

easy assembly and expansion and movements caused by temperature.

4. Outcomes and future developments

The provided classification has helped to identify the main strategies developed in terms of building retrofit through prefabricated panels. The case studies show several systems, with different solutions to the main issues connected to the theme.

It is possible to identify some common features in the solutions analyzed: it appears clear nevertheless, how each of the strategies can solve some of the issues, leaving some others unsolved.

In terms of quality, it is interesting to underline how all the experiences have reached a combination of goals: besides a general improvement of energy efficiency performance, the interventions shows also an evident enhancement of architectural quality and a consequent increase in the building value.

In terms of market efficiency, however, there has been no documented diffusion of any of the products developed.

This effect is probably due to the lack of flexibility of the systems. The flexibility in terms of capability of adaptation would be a pivotal feature of the system, consenting to fit to the heterogeneous conditions of the existing building stock. It is not coincidence that the experimental solutions have been applied on demonstration buildings characterized by simple plans and a lack of decorations.

Referring to the Boston Growth - Share matrix, the prefabricated panels could be seen as question marks; products with high market growth, but a low market share. Question marks have a potential to gain market share and become stars, and

del prodotto, i pannelli prefabbricati possono essere collocati nel campo dei *question marks*; prodotti con un'alta crescita di mercato, ma una bassa quota. Tali prodotti hanno il potenziale per guadagnare una larga quota di mercato e diventare perciò *stars*, ed eventualmente *cash cows* nel momento in cui la crescita di mercato rallenti.

eventually cash cows when market growth slows.

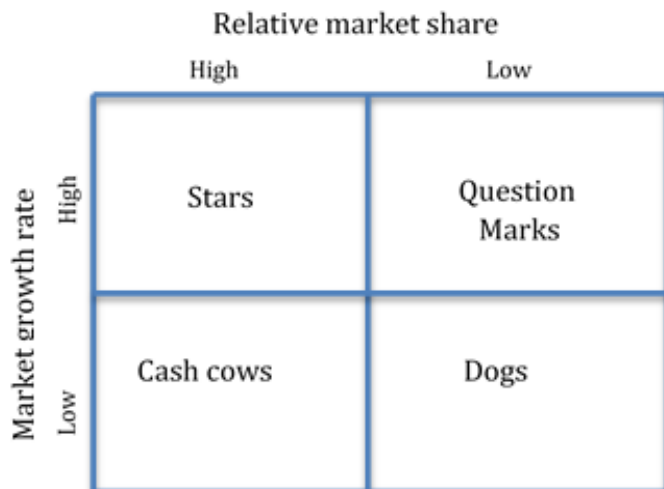


Fig. 6 Growth – Market Share Matrix

Il retrofit tramite elementi prefabbricati rappresenta insomma un campo molto promettente, con prospettive interessanti anche dal punto di vista economico. Indubbiamente, per permetterne una diffusione più ampia, ed eventualmente anche una produzione industrializzata, è necessario concentrarsi sugli aspetti ancora problematici. Innanzitutto, il tema dell'adattabilità risulta di primaria importanza, sia in termini dimensionali che in termini di adattamento alla facciata esistente.

In relazione a questo tema, il sistema di fissaggio e la struttura sono elementi primari di investigazione. La maggior parte dei progetti presentati utilizza legno o acciaio; interessante sarebbe investigare la possibilità di sfruttare altri materiali, quali i materiali

Building Retrofit through prefabricated panels represents a promising field, with interesting perspectives also from the economic point of view. In order to consent a wider diffusion, and eventually an industrial production process, it is necessary to concentrate on the critical issues. First of all, the adaptability represents a primary goal, both in terms of dimensions and in terms of adaptation to the existing façade.

Linked to this theme, the fixing system and structure is another primary element to be investigated. The most part of the projects presented uses timber or steel; it would be interesting to investigate the possibility to exploit other materials, such as plastics.

The theme of materials is promising also for the panels themselves, especially considering the use of lightweight materials.

plastici.

Il tema dei materiali è promettente anche in relazione ai pannelli stessi, in particolare modo considerando l'uso di materiali leggeri.

La variabilità dimensionale e le tolleranze di fabbricazione degli edifici esistenti – particolarmente quelli realizzati interamente in opera con tecnologie umide – richiedono comunque l'adozione di sistemi produttivi basati sulla *mass customization* e sulle possibilità di adattamento preciso delle soluzioni di retrofit: in questo senso, la manifattura additiva (stampa 3D) e la fabbricazione robotica potrebbero contribuire a superare alcune delle barriere che fino ad oggi hanno impedito la diffusione su larga scala dei sistemi prefabbricati per il retrofit.

The dimensional variability and manufacturing tolerances of existing buildings – especially those built by means of wet technologies – require the adoption of production systems based on mass customization and on precise adaptation of the retrofit solutions. In this sense, robotic and additive manufacturing (3D printing) could help to overcome some of the barriers preventing the widespread diffusion of prefabricated systems for retrofit.

4. References

1. Aschauer, J. «Makartstrasse Linz: a new quality of living - Passive House retrofitting of an apartment building.» Responsive building elements and integrated building concepts, (2008)
2. Erhorn, H., «BRITA in PuBs: Bringing Retrofit Innovation to Application in Public Buildings», (2008)
3. Schankula, A., «Aktive Hülle» Fassadentechnik, 6-9, (2009)
4. «Advances in Housing Renovation - Processes, Concepts and Technologies, IEA SHC Task 37» Herkel, S., Kagerer, F., (2011)
5. Malighetti, L., «Refurbishment Bois-Le-Prete tower in Paris», Arketipo, n. 67, 92-103, (2011)
6. Miloni, R., Grischott, N., Zimmermann, M., Boonstra, C., Geier, S., Hofner, K., Venus, D., «IEA ECBCS Annex 50: Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings, Building Renovation Case Studies» (2011)
7. Schwer, P., Fischer, R., Geier, S., «Retrofit Strategies Design Guide», EMPA - Building Science and Technology Lab, (2011)
8. Zimmermann, M., «ECBCS Project Summary Report: Annex 50 Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings», EMPA - Building Science and Technology Lab, (2011)
9. Cooper, P., Daly, D., Ledo, L., «Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art», Energy and Buildings, n. 55, 889-902, (2012)
10. BPIE «Boosting Building Renovation: an overview of good practices», (2013)
11. European Commission, «Energy-efficient buildings: multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020», (2013)
12. Silva, P.C.P., Almeida, M., Bragança, L., Mesquita, V., «Development of prefabricated retrofit module towards Nearly Zero Energy Buildings», Build - n. 56, 115-125, (2013)
13. ECTP, E2B «Energy-efficient Buildings - EeB PPP Project Review», (2014)
14. Maser, G., Iannaccone, G., Salvalai, G., «Retrofitting the existing envelope of residential buildings: Innovative technologies, performance assessment and design methods» Advanced Building Skins - Conference Proceedings of the 9th ENERGY FORUM, Bressanone, 987 – 994 (2014)
15. «Von der Energieschleuder zum Passivhaus», EnEv im Bestand, 14 – 21, (2014)