POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

BLOCK_PLASTER: involucro in laterizio a elevate prestazioni energetico-ambientali.
BLOCK-PLASTER: High energy/environmental performance brick building envelope.

Original
BLOCK_PLASTER: involucro in laterizio a elevate prestazioni energetico-ambientali.
BLOCK-PLASTER: High energy/environmental performance brick building envelope / Carbonaro, C., Tedesco, S., Fantucci, S.. - In: TECHNE. - ISSN 2239-0243. - 16:(2018), pp. 177-186. [10.13128/Techne-23031]

Availability:
This version is available at: 11583/2734239 since: 2019-05-28T13:49:51Z

Publisher:
Firenze University Press

Published
DOI:10.13128/Techne-23031

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

15 November 2026

BLOCK_PLASTER: involucro in laterizio a elevate prestazioni energetico-ambientali

Corrado Carbonaro[a], Silvia Tedesco[a], Stefano Fantucci[b],
[a]Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia
[b]Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino, Italia

corrado.carbonaro@polito.it
silvia.tedesco@polito.it
stefano.fantucci@polito.it

Abstract. L'innovazione tecnologica nel settore dell'edilizia deve affrontare oggi una sfida importante: individuare soluzioni che non solo consentano di massimizzare i risparmi energetici in fase d'uso ma che permettano anche di ridurre l'impatto ambientale, nell'intero ciclo di vita, di materiali e componenti. L'articolo illustra un'attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale - finanziata su fondi europei - svolta in sinergia tra enti di ricerca e imprese, finalizzata alla progettazione, prototipazione e monitoraggio di un sistema di involucro eco-efficiente in laterizio, denominato BLOCK_PLASTER. Con un approccio multidisciplinare e multi-obiettivo sono state individuate configurazioni alternative del sistema e verificate prestazioni tecnologico-ambientali nelle diverse fasi del ciclo di vita.

Parole chiave: Prodotti eco-sostenibili; Involucro in laterizio; LCA; Approccio multidisciplinare.

Introduzione

L'attività di progettazione e di realizzazione dei manufatti architettonici deve rispondere oggi ad alcuni requisiti cogenti previsti da leggi e decreti nazionali, in recepimento di direttive europee, il cui obiettivo è di garantire da un lato l'efficienza energetica del sistema edificio, dall'altro l'ecocompatibilità di elementi e componenti. In riferimento al panorama normativo sempre più attento ai principi di sostenibilità e, più in generale, al crescente interesse legato all'acuirsi della questione ambientale, le scelte dei produttori nel settore dell'edilizia devono confrontarsi con l'innalzamento dei livelli di prestazione richiesti dal mercato. Tali prestazioni non si risolvono con i soli consumi energetici dell'edificio in fase d'uso, ma sono associati ad aspetti ambientali che caratterizzano l'intero processo edilizio.
L'articolo illustra un'attività di ricerca finalizzata alla progettazione, prototipazione e monitoraggio di un sistema di involucro opaco eco-efficiente, denominato BLOCK_PLASTER. Il sistema è stato sviluppato a partire da materiali da costruzione largamente impiegati – in particolare nella tradizione costruttiva di alcuni Paesi come l'Italia – e a più alta intensità energetica, come il laterizio, con l'obiettivo di ridurne l'impatto grazie all'ottimizzazione del processo produttivo, all'impiego di materie prime a basso consumo di risorse non rinnovabili e alla realizzazione di sistemi costruttivi disassemblabili in fase di dismissione.
Infatti, come emerge nell'analisi degli impatti ambientali dei materiali da costruzione condotta da Haapio e Viitaniemi (2008) la fase di produzione è stata identificata come la fase più impattante per gli edifici di nuova costruzione e gli elementi opachi d'involucro ne sono i maggiori responsabili.
Gargari, Hamans e Torricelli (2013) evidenziano come tutto il comparto della filiera edilizia, italiana e europea, nell'ultimo decennio abbia investito sullo sviluppo di nuovi sistemi per l'edilizia valutandone la sostenibilità sull'intero ciclo di vita. Tuttavia, come rilevano Rouwette (2010), Bribián et al. (2011), Murmu e Patel (2018), i prodotti in laterizio necessitano di miglioramenti in un'ottica di riduzione degli impatti nel ciclo di vita e di sostenibilità ambientale.
Utilizzabile sia in interventi di nuova costruzione sia di riqualificazione dell'esistente, BLOCK_PLASTER ha tenuto conto di un quadro normativo ampio e articolato. In particolare ha fatto riferimento a norme, nazionali e sovranazionali, relative all'efficienza energetica degli edifici (Direttiva 2010/31/UE, D. Lgs. 192/05, D. Lgs. 311/06), alla valutazione di materiali e prodotti nel ciclo di vita (Direttiva 2009/125/CE, ISO 14040, ISO 14020), ai re-

BLOCK_PLASTER: high energy/environmental performance brick building envelope

Abstract. Today, technological innovation in the construction field faces an important challenge: the identification of solutions that may not only allow to maximize energy saving in the use phase, but that may also reduce environmental impact throughout the entire life cycle of materials and components. The paper illustrates a research activity and experimentation – funded by the European Union – carried out in synergy by research centres and private companies. Its end purpose was the design, prototyping, and monitoring of an eco-friendly brick envelope named BLOCK_PLASTER. Alternative configurations to the system have been identified and technological-environmental performances in the different phases of the life cycle have been verified through a multidisciplinary and a multi-objective approach.

Keywords: Eco-friendly products; Brick envelope; LCA; Multidisciplinary approach.

Introduction

Today, design and manufacturing activity related to architectural construction must satisfy a number of compelling requirements in accordance with national laws and decrees in adoption of EU directives, with the purpose of guaranteeing – on one hand – the energy efficiency of the building system and – on the other hand – the eco-compatibility of its elements and components. In reference to a legal framework that is growingly respectful towards the principles of sustainability and, more in general, to the growing public interest related to the severity of environmental issues, choices made by manufacturers in the construction sector must face the rise of the performance levels demanded by the market. Such performance concerns not only the energy consumption of the building in its use phase but is also related to environmental aspects that distinguish the entire building life cycle.
The paper illustrates an industrial research and experimental development activity targeted towards the design, prototyping, and monitoring of an eco-friendly opaque envelope named BLOCK_PLASTER. The system was developed based upon widely utilized construction material – particularly in the building tradition of countries similar to Italy – and materials with a high energy intensity, such as brick, with the aim to reduce their impact thanks to the optimization of the manufacturing process, the use of raw material with a low consumption of non-renewable energy, and the creation of dismountable construction systems for the disposal phase.
In fact, as described in the environmental impact analysis of construction material carried out by Haapio and Viitaniemi (2008), the production phase

ISSN online: 2239-0243 | © 2018 Firenze University Press | http://www.fupress.com/techne
DOI: 10.13128/Techne-23031

quisiti di marchiatura CE (Regolamento UE n. 305/2011), alle prestazioni legate alle esigenze di salute e benessere degli utenti (D.P.C.M. 5/12/97, UNI EN ISO 16000-9), ai requisiti specifici relativi ai prodotti in laterizio riportati nelle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008).

Il progetto BLOCK_PLASTER: obiettivi e metodologia

Il progetto BLOCK_PLASTER, realizzato nell'ambito di attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale finanziate dalla Regione Piemonte su Fondi Europei POR-FESR 2007-2013, è stato sviluppato in collaborazione tra centri di ricerca e imprese sulla base di un approccio multidisciplinare e multi-obiettivo. I centri di ricerca coinvolti afferiscono al Politecnico di Torino (DAD – Dipartimento di Architettura e Design; DENERG – Dipartimento di Energia); le aziende comprendono una fornace di laterizi (Vincenzo Pilone s.p.a.), un produttore di intonaci (Vimark S.r.l.) e una società di progettazione e sviluppo di materiali innovativi (Nova Res S.r.l., spinoff dell'Università del Piemonte Orientale).
L'obiettivo generale del progetto (durata: 2013 -2015) è stato quello di realizzare un sistema di involucro in laterizio a elevata sostenibilità ambientale, sia in termini di prestazioni in fase d'uso (di tipo termico, acustico e di diluizione degli inquinanti), sia in termini di energia inglobata nei materiali e componenti. Tale sistema è caratterizzato da flessibilità costruttiva e da modalità di assemblaggio che consentono facilità di posa e riduzione dei rifiuti prodotti in fase di cantiere e, a fine vita, la completa separabilità e riciclabilità dei componenti.
Il sistema BLOCK_PLASTER si basa su quattro elementi: il blocco portante, il blocco leggero con funzione di ventilazione o (in alternativa) di isolamento, l'intonaco interno in argilla, calce e paglia con funzione di assorbimento degli inquinanti indoor, l'intonaco esterno in argilla, perlite e calce con funzione termoisolante. Differenti configurazioni degli elementi che lo compongono consentono non solo la realizzazione di involucri portanti ma anche di facciate ventilate, pareti di tamponamento e cappotti esterni. Ecocompatibilità e flessibilità (di posa e di configurazione) differenziano e qualificano il sistema rispetto ai prodotti attualmente sul mercato, pensati generalmente per rispondere a un numero ridotto di requisiti ambientali (prevalentemente termici in fase d'uso) e assolvere una sola funzione.
L'approccio metodologico ha seguito un processo iterativo: in ogni fase le ipotesi progettuali sono state verificate attraverso analisi empiriche o di laboratorio (energetiche, tecnologiche, meccaniche, ambientali) e i feed-back ottenuti sono diventati strumento e guida per l'implementazione e il miglioramento del progetto. La Fig. 1 mostra la metodologia di iterazione-implementazione e le fasi principali della ricerca: dalla selezione delle materie prime, al progetto tecnologico dei diversi componenti e del sistema nel suo insieme.

Individuazione dei requisiti tecnologici, termofisici e ambientali del sistema di involucro

Nell'iter progettuale è stato necessario individuare prioritariamente i requisiti che il sistema doveva soddisfare. Tali requisiti fanno riferimento al framerwork utilizzato nell'ambito del Life Cycle Design (Van Hemel and Brezet, 1997) e si riferiscono a cinque macro-obiettivi di progetto: minimizzazione delle risorse materiche ed energetiche; scelta di risorse e processi a basso impatto ambientale; ottimiz-

has been identified as the one with the highest environmental impact for newly built construction, and opaque elements are the major cause of such impact.
Gargari, Hamans, and Torricelli (2013) emphasize how the entire Italian and European construction supply chain has invested in the last decade on the development of new building systems with an assessment of their sustainability throughout the entire life cycle.
However, as Rouwette (2010), Bribián et al. (2011), Murmu and Patel (2018) point out, that brick products need improvement in order to reduce life cycle impacts and increase environmental sustainability.
BLOCK_PLASTER, which may be used both in new construction and in renovation operations of existing buildings, has taken into account a broad and complete legal framework. In particular, they have referred to national and supranational legislation and standards related to energy efficiency of buildings (EU Directive 2010/31, Italian Decree-Law n° 192/05 and n° 311/06), the assessment of materials and products throughout their life cycle (EC Directive 2009/125, ISO 14040, ISO 14020), CE marking requirements (EU Regulation n° 305/2011), as well as performance related to the health and well-being demands of the users (Italian Ministerial Decree issued on 5/12/97, UNI EN ISO 16000-9), and specific requirements of brick products, as defined in the new technical standards for construction (Italian Ministerial Decree 14/01/2008).

The BLOCK_PLASTER project: objectives and method

The BLOCK_PLASTER project – carried out within the scope of industrial research and experimental development funded by the regional office of Piedmont and, in turn, by European Regional Development Funds (POR-FESR 2007-2013) – has been developed in cooperation between research centres and companies on the basis of a multidisciplinary and a multi-objective approach. Research centres involved are both within the Turin Polytechnic (DAD – Department of Architecture and Design; DENERG – Department of Energy), while companies involved include a brick factory (Vincenzo Pilone S.p.A.), a plaster manufacturer (Vimark S.r.l.), and a company for design and development of innovative materials (Nova Res S.r.l., a spinoff of the University of East Piedmont).
The general goal of the project, lasting three years (2013 -2015), was to create a highly sustainable brick building envelope system, both in terms of performance during the use phase (thermal performance, acoustic performance, and dilution of pollutants) and in terms of energy consumption of the materials and components. The system is distinguished by a construction flexibility and a mode of assembly that allow an ease of laying and a reduction in construction site waste, as well as the full disassembly and recyclability of the components at the end of their life cycle.
The BLOCK_PLASTER system is based on four elements: the load bearing block; the lightweight block – with a ventilation or (alternatively) an insulation function; the internal plaster made of clay, lime, and straw to absorb indoor pollutants; and the external plaster made of clay, perlite, and lime, with a thermal insulation function. The different configurations of the elements comprising it allow not only the creation of load bearing envelopes, but also ventilated façades, infill walls, and

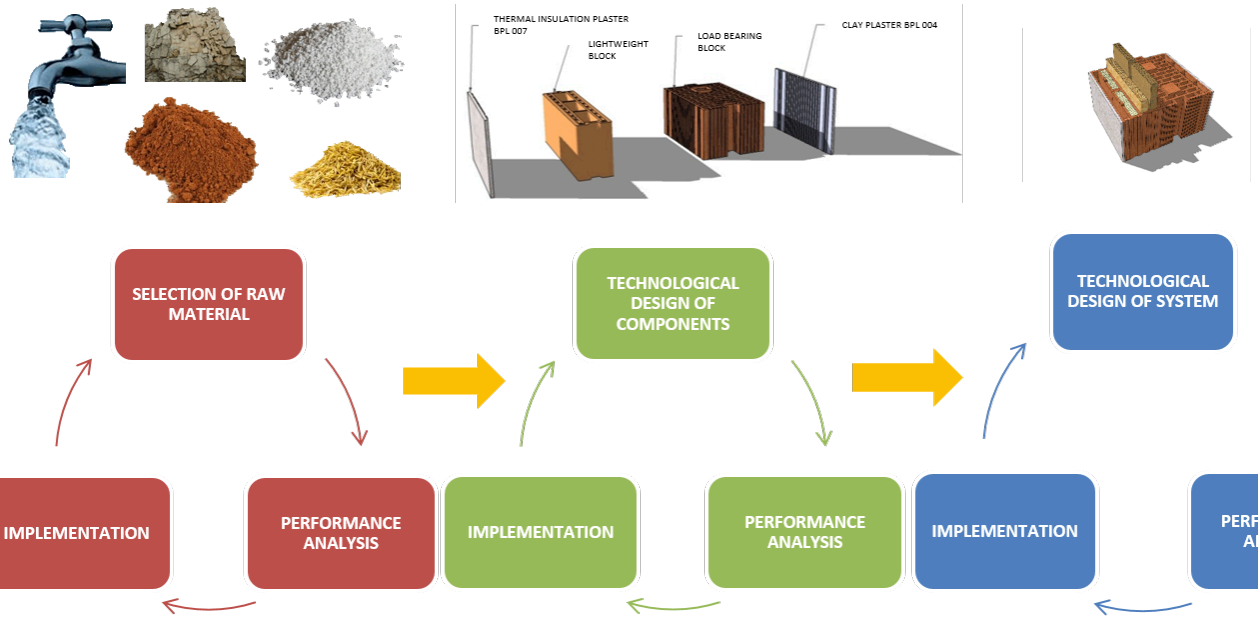
zazione della vita utile dei prodotti; estensione della vita dei materiali (riciclabilità e riuso); facilitazione nel disassemblaggio.
A ogni requisito sono stati associati indicatori prestazionali, sviluppati sulla base di vincoli normativi e di analisi di mercato (performance prodotti esistenti).
Il risultato è stato uno strumento di progettazione e di verifica, una check list per guidare e orientare le scelte progettuali ma anche per valutare la sostenibilità ambientale del prodotto nell'intero ciclo di vita (Fig. 2).

Progettazione e prototipazione dei componenti

La definizione dei requisiti ha guidato le fasi di studio dei materiali e sviluppo dei componenti, nonché di progettazione e di prototipazione del sistema di involucro nel suo insieme. Requisiti prioritari sono stati: peso e dimensioni ridotte degli elementi costituenti, possibilità di posa sia a secco sia a umido, versatilità del sistema (differenti configurazioni possibili e diverse modalità di posa), elevate prestazioni energetico-ambientali (termiche, acustiche, qualità dell'aria), disassemblabilità e riciclabilità a fine vita.
Il sistema è costituito da differenti elementi in laterizio (un blocco portante e uno leggero), da un intonaco interno e da uno esterno, come mostrato in Fig. 3.

Il blocco base può avere funzione portante o di tamponamento; il blocco leggero esterno può avere funzione di isolamento o, con eventuale cavità libera, funzionare come una facciata ventilata.
Il progetto del blocco portante in laterizio ha tenuto conto di requisiti geometrici e dimensionali finalizzati a facilitarne la movimentazione (e.g. spessore e larghezza non superiori a 30 cm, peso inferiore a 15 kg), garantirne la compatibilità dimensionale rispetto all'edilizia civile, ottimizzarne lo stoccaggio e il trasporto (Fig. 4).
Il blocco leggero è stato progettato in modo da massimizzare la compatibilità con il blocco portante. Le caratteristiche dimensionali e geometriche del blocco leggero sono state inoltre studiate per poterlo utilizzare autonomamente sia come muratura sottile di tamponamento sia come completamento, in caso di retrofit, di un involucro esistente.
Il termointonaco esterno è stato realizzato con una miscela di argilla, calce e perlite, con resistenza meccanica e superficiale in linea con gli intonaci premiscelati sul mercato, ma con capacità termoisolanti superiori (λ=0,12 W/mK). La miscela è stata formulata con triplice obiettivo: utilizzare l'argilla come legante, massimizzare la resistenza all'acqua con l'aggiunta di calce e minimizzare la conducibilità dell'intonaco.
Per l'interno è stato formulato un intonaco in argilla, calce e fibre

| 01



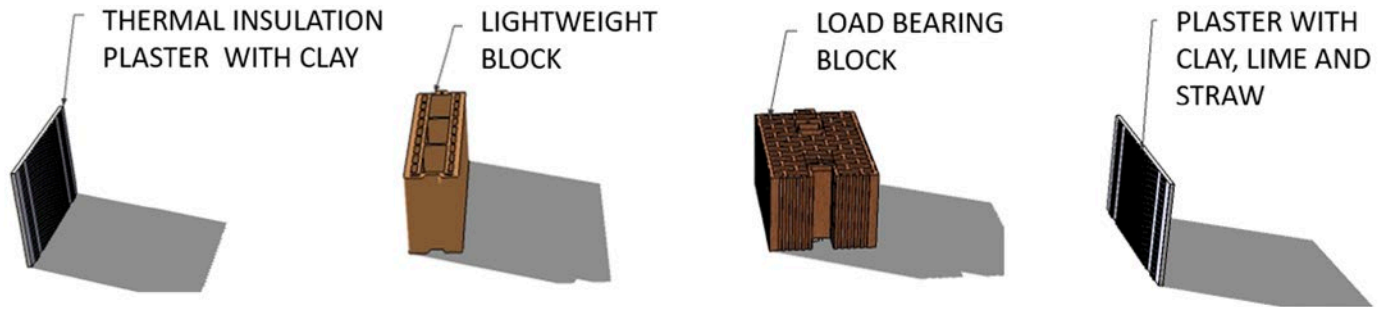
Chemical-physical Analysis, Life Cycle Assessment, Thermo-physical Analysis, Market research,
Mechanical Resistance and Structural Analysis of the systems, Compatibility Analysis, Technological Analysis

02 |

AIM MINIMIZE THE RESOURCE EXPLOITATION					
DEMAND CLASS	REQUIREMENT CLASS	LIFE CYCLE PHASE	STRATEGY	DESIGN ACTIONS	FULFILLED
ENVIRONMENTAL PROTECTION	CONTROL OF ENERGY AND MATERIAL FLOW	PRE-PRODUCTION AND PRODUCTION, DISTRIBUTION, USE, AND DISMANTLING	Minimize material content	Priority is given to solutions optimizing material quantity	☐
				The value of clay content per metric ton is less than 1185 kg	☐
				The value of sand content per metric ton is less than 150 kg	☐
				The value of additive content per metric ton is less than 5 kg	☐
				Water consumption is ≤ 140 lt./metric ton of brick produced	☐
				The percentage of rain water used in production is ≥ 2% of the total amount	☐
				The percentage of sewage water used is ≤ 8% of the total amount	☐
				High-performance products that optimize mass and volume are used	☐
				The design has minimized the thickness of the components	☐
				The Block_Plaster system does not include components that are not strictly functional	☐
				The subsystems are designed to perform complementary functions	☐
			Minimize swarf and waste	Choosing production processes that minimize material consumption	☐
				The quantity of waste is ≤ 5 kg/metric ton of brick produced	☐
				Adopting systems for the simulation and optimization of transformation processes	☐
				The reuse of semi-finished plate goods (e.g. plastics, metal alloys, etc.) or manufacturing swarf is favoured	☐
			Optimize energy consumption for production	The subsystem supply chains have a low energy consumption compared to standard supply chains	☐
				The natural materials used imply a reduced energy consumption compared to the industry standard	☐
				The energy consumption for the production of finished product is ≤ 48 kg. of petrol/metric ton of brick	☐
				The thermal energy used in the production phase is ≤ 1.68 GJ/metric ton of brick	☐
				The expected recovery of thermal energy in the drying phase is ≥ 30%	☐
				The expected recovery of thermal energy in the firing phase is ≥ 45%	☐
				The thermal energy used in the drying phase is ≤ 230.000 kcal/metric ton of brick	☐
				The thermal energy used in the firing phase is ≤ 320.000 kcal/metric ton of brick	☐
				The electrical energy used in the production phase is ≤ 47 kWh/metric ton of brick	☐
				The self-produced renewable electrical energy from cogeneration plants is ≥ 6.5 kWh/metric ton of brick	☐
				Efficient manufacturing tools and equipment are used	☐
				Dispersed heat is used for pre-heating in other processes	☐
				Smart shutoff and management systems for tools in the subsystem supply chain are planned	☐
				The engines for the manufacturing systems are sized to maximise efficiency	☐
				A maintenance schedule for the engines and supply chain systems exists	☐
				Strategies for the optimization of purchased batch volumes functional to productivity exist	☐
				An inventory management system exists	☐
				Strategies applied to optimize material transportation systems by minimizing transported mass exist	☐

02 | Check-list relativa all'obiettivo di minimizzazione dell'uso delle risorse
Checklist related to the resource use minimization objective

03 |



03 | Elementi che costituiscono il sistema BLOCK_PLASTER
Elements included in the BLOCK_PLASTER system

insulation layers. Ecocompatibility and flexibility differentiate and qualify the system with respect to the products currently on the market, generally designed to respond to a reduced number of environmental requirements and perform only one function.
The project method has followed a repeating sequence by which, at every stage, the design hypotheses have been verified through empirical or lab-based (energy, technological, mechanical, environmental) analyses, and the feedback obtained has become the tool and guide for the implementation and improvement of the project itself. Fig. 1 shows the repeating methodology and implementation of the main project phases: from raw material selection to the technological development of the different components of the system as a whole.

Identification of the technological, thermo-physical, and environmental requirements of the envelope system
Throughout the project design phase, it has been necessary to identify a priority of requirements that the system needed to satisfy. The requirements correspond to those present in the Life Cycle Design framework (Van Hemel and Brezet, 1997).
In particular, the requirements are related to five macro-goals of the project: minimization of material and energy resources; selection of resources and processes with low environmental impact; optimization of the useful life of products; lengthening of the material life cycle (recyclability and reuse); facilitation of the disassembly phase.
Each requirement has been paired with performance indices, developed on the basis of standards and market analyses (existing product performance).
The result obtained was a design and assessment tool in the form of a checklist to guide and influence design choices, but also to assess the environmental sustainability of the product throughout its entire life cycle (Fig. 2).

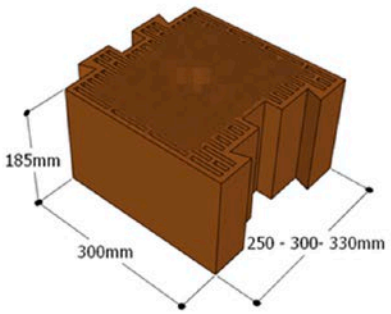
di paglia, per sfruttare la capacità di adsorbimento e diluizione degli inquinanti indoor da parte dell'argilla e, in un'ottica di circular economy, per valorizzare l'uso della paglia come materia prima seconda.

Progettazione e prototipazione del sistema

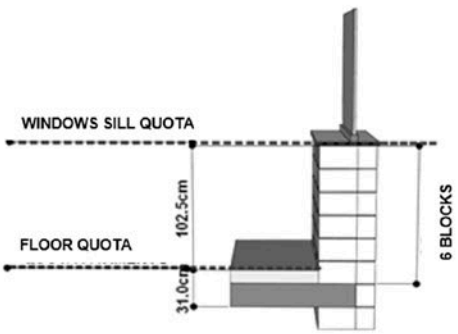
Il sistema BLOCK_PLASTER prevede l'utilizzo dei quattro componenti a formare sistemi murari flessibili con performance energetiche e ambientali.
Il blocco portante può essere combinato con uno o due blocchi leggeri a formare un sistema d'involucro che, a seconda della tipologia e del numero di pannelli isolanti inseriti, può fornire un grado progressivamente implementabile di resistenza termica del sistema (Fig. 5).
La disposizione dei blocchi portanti e dei blocchi leggeri isolati e le relative geometrie sono state studiate per ottenere la riduzione dei ponti termici (giunti sfalsati nel blocco portante, nel blocco leggero, tra blocco portante e leggero).
In particolare, per edifici di nuova costruzione, sono state studiate 9 differenti configurazioni in relazione alle condizioni climatiche e alla performance termica richiesta (rif. D.Lgs. 192/2005 e D.G.R. 46/2009 della Regione Piemonte). I risultati mostrano che cinque configurazioni soddisfano i requisiti di trasmittanza per tutte le fasce climatiche compresa la F, mentre 7 soddisfano i requisiti per le fasce climatiche fino alla D (Fig. 5).
In caso di retrofit sono state analizzate altre configurazioni: a un muro esistente (con R= 0,9 m^2K/W) è stato accoppiato il blocco leggero isolato, cavo o ventilato.
La flessibilità del sistema è data inoltre dalle modalità di assemblaggio. BOLOCK_PLASTER può essere impiegato come:

– sistema costruttivo con muratura portante armata. Il sistema prevede l'utilizzo del blocco portante nel quale l'armatura verticale è inserita nei fori di presa e l'armatura orizzontale è inserita tra i corsi dei blocchi portanti. I blocchi leggeri sono fissati a quelli portanti con apposite clips in acciaio. La malta è inserita nei corsi orizzontali tra le file dei blocchi in laterizio;
– sistema costruttivo con muratura non armata. Tale soluzione è da utilizzarsi come tamponamento in caso di strutture por-

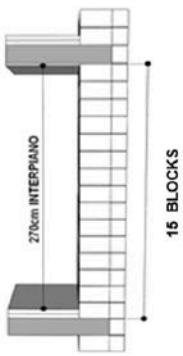
| 04



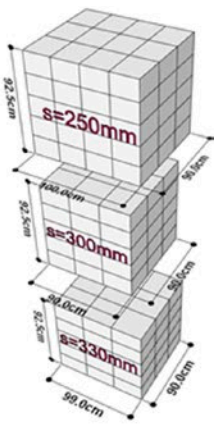
DIMENSIONS CHOSEN FOR WEIGHT AND HANDLING



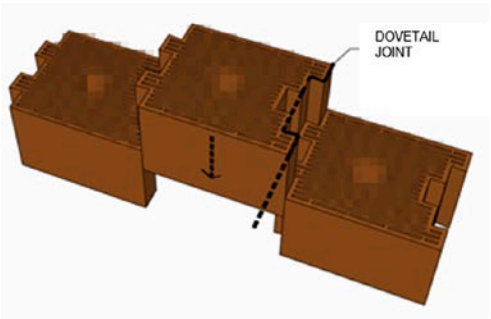
DIMENSIONS COMPATIBLE WITH HEIGHT OF WINDOWSILL



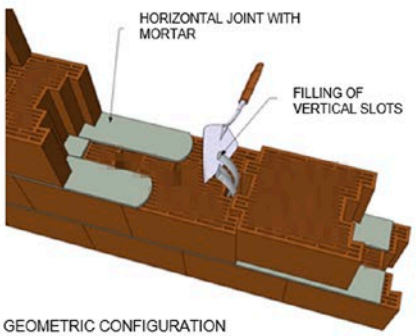
DIMENSIONS COMPATIBLE WITH HEIGHT BETWEEN FLOORS IN CIVIL USE



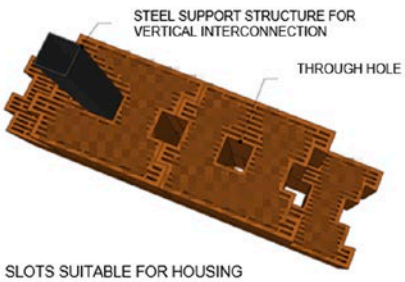
IDEAL DIMENSIONS FOR STORAGE



GEOMETRIC CONFIGURATION WITH SHIFT-PROOF VERTICAL SLOTS

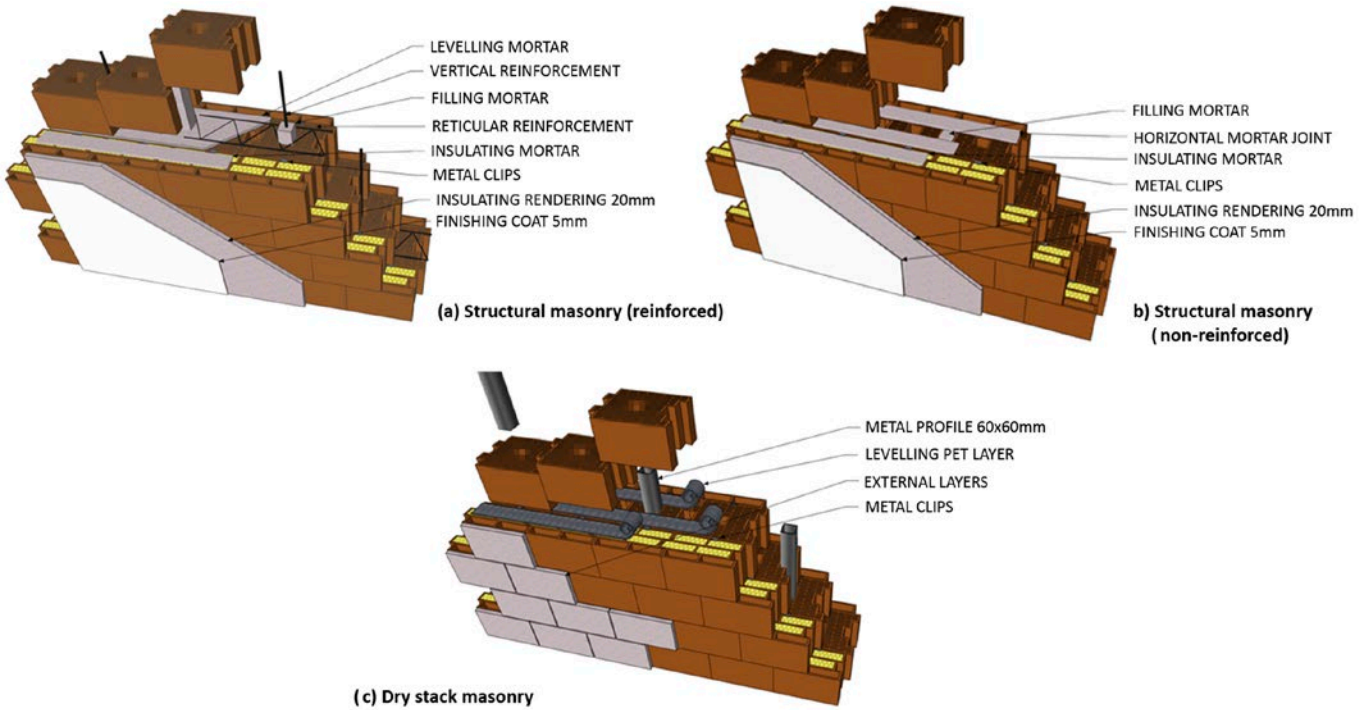


GEOMETRIC CONFIGURATION WITH SHIFT-PROOF VERTICAL SLOTS



SLOTS SUITABLE FOR HOUSING OF VERTICAL REINFORCEMENT

05 |



05 | Nove configurazioni del sistema BLOCK_PLASTER (edifici di nuova costruzione) in relazione alle condizioni climatiche al contorno e alla performance termica richiesta
Nine configurations of the BLOCK_PLASTER system (in newly erected buildings) in relation to the respective climate conditions and the thermal performance required

tanti a travi e pilastri in cemento armato; è simile alla configurazione precedente, ma senza l'utilizzo di armatura;
– sistema costruttivo con posa a secco. In sostituzione della malta, si ricorre a fasce di allettamento in materiale polimerico. L'incastro degli elementi viene garantito orizzontalmente dal particolare profilo a coda di rondine del blocco, mentre verticalmente vengono adottati dei profili metallici cavi. I blocchi leggeri sono fissati al blocco portante tramite clips in acciaio. L'assemblaggio a secco garantisce una più elevata sostenibilità ambientale (riduzione di rifiuti C&D, risparmio di acqua, totale disassemblabilità) (Fig. 6).

Analisi e risultati a livello di componenti e di sistema

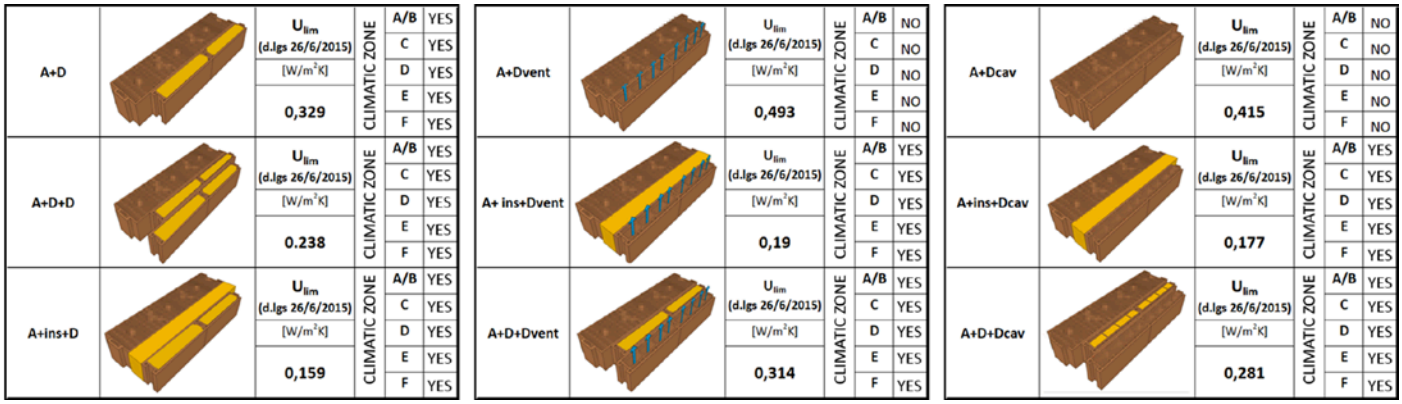
In relazione alla natura multidisciplinare del progetto sono state effettuate:
– analisi termofisiche in laboratorio (e.g. misure termoflussimetriche di conduttività termica equivalente, misure di portata d'aria in camera climatica, misure termoflussimetriche e di velocità dell'aria svolte su dimostratore costituito da facciate ventilate in laterizio allestite presso il laboratorio LaSTIn del Dipartimento DAD) e tramite simulazioni con modelli numerici;
– analisi del ciclo di vita (LCA) secondo le norme ISO 14040:2006;

Component design and prototyping

The definition of requirements has led the research to successive study of the material and component development, as well as the design and prototyping of the building envelope as a whole. The requirements considered essential were: reduced weight and dimensions of the founding elements, possibility of both dry and wet laying, system versatility (different possible configurations and laying modes), high energy/environmental performance (in terms of thermal insulation, acoustic insulation, and air quality), ease of disassembly and recyclability upon end of life.
The system includes different brick elements (one load bearing block and one lightweight block), an internal plaster layer, and an external plaster layer, as shown in Fig. 3.
The design of the load bearing block has taken into account geometric and dimensional requirements aimed at facilitating handling (i.d. thickness and width not exceeding 30 cm, weight less than 15 kg), ensuring dimensional compatibility with respect to civil construction, optimizing the storage and transportation (Fig. 4).
The lightweight block has instead been designed to maximise compatibility with the load bearing block, in order to form the BLOCK_PLASTER wall system. Its dimension and geometric characteristics have been designed so that the block may be used both independently as a thin infill wall, and as a complement – in case of a retrofit – of an existing building.
The external thermal insulation plaster is a mixture of clay, lime, and perlite, with a mechanical and surface resistance in line with the pre-mixed plasters on the market, but with a lower thermal conductivity (λ=0.12 W/mK). The mixture has been produced with three objectives: to use clay as a binder; to maximise water resistance with the addition of lime; and to minimise the plaster conductivity.
For indoor spaces, a plaster including clay, lime, and straw fibres has been developed, in order to take advantage of the absorption and indoor pollutant dilution properties of clay and – in the scope of a circular economy – to promote the use of straw as a secondary raw material.

Design and prototyping of the system

The BLOCK_PLASTER system involves the use of four components to form flexible wall systems with a good energy consumption and environmental performance.
The load bearing block may be combined with one or two lightweight blocks to form an envelope system that – depending on the type and number of insulating panels inserted – may provide a progressively implementable degree of thermal resistance to the system (Fig. 5).
The lay-out of the load bearing blocks and the insulating lightweight blocks, as well as their related geometric structures, have been designed to obtain a reduction in thermal bridges (joints out-of-axis in the load bearing block, the lightweight block, and between the two).
In particular, for new buildings, 9 different configurations have been developed in relation to the weather conditions and the thermal performance required, in accordance with Decree-Law 192/2005 and Decree 46/2009 for the Piedmont region. Results show how 5 configurations satisfy the thermal transmittance requirements for all climate categories including category F, while 7 satisfy the requirements for



06 | Schema delle tre tipologie di posa dei prototipi del sistema BLOCK_PLASTER: a) muratura armata, b) muratura non armata, c) muratura a secco
Diagram of the three BLOCK_PLASTER system laying types: a) reinforced masonry; b) non-reinforced masonry; c) dry-set masonry

– analisi delle emissioni di Composti Organici Volatili (VOC) dell'intonaco in argilla e calce secondo le norme della serie ISO 16000 e analisi della sua capacità di adsorbimento degli inquinanti indoor;
– analisi tecnologiche e meccaniche sui provini di muratura BLOCK_PLASTER (prove a compressione e taglio) e sui prototipi di intonaco (prove granulomentriche, di assorbimento all'acqua, di ritiro, prove a taglio, flessione e compressione).

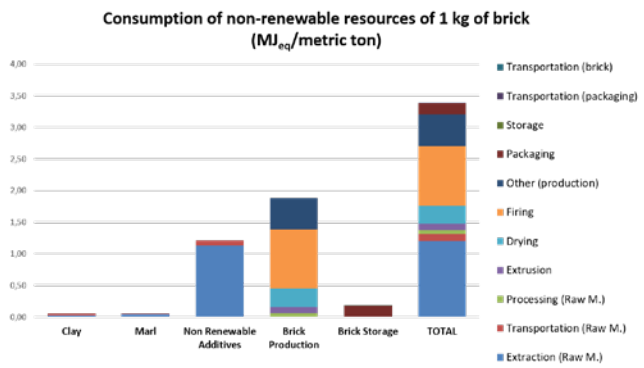
In questa sede si riportano i risultati più significativi per il settore della Tecnologia dell'Architettura, relativamente a: 1) analisi del ciclo di vita dei diversi componenti; 2) prestazioni termiche dei componenti e del sistema, in particolare nella configurazione a facciata ventilata; 3) analisi VOC relative all'intonaco per interni.
1) L'ecocompatibilità dei blocchi in laterizio e dei due intonaci a base argilla è stata valutata attraverso l'analisi del ciclo di vita (software Sima Pro v.7.1). Per i blocchi in laterizio le analisi condotte hanno evidenziato che l'impatto ambientale della produzione di 1 kg di laterizio è in linea con i dati di letteratura, ma che con la sostituzione degli additivi derivanti da materie prime non rinnovabili con lolla di riso si otterrebbe una riduzione del 15% della CO_2 equivalente emessa (Carbonaro, Thiebat, 2017). Il ricorso a processi industriali per la rettifica dei blocchi aumenta il consumo di risorse energetiche non rinnovabili di circa il 5% e produce una riduzione dell'embodied energy non significativa, mentre la porizzazione del laterizio con lolla di riso produce il miglior risultato in virtù del basso costo ambientale delle materie prime e dell'alto valore di resistenza termica del laterizio, che si riflette sulla fase d'uso. Per quanto riguarda i dati derivanti dalle analisi LCA dei termointonaci, il confronto con il benchmark (intonaco con EPS prodotto da Vimark S.r.l.), ha evidenziato come i formulati a base di argilla abbiano valori migliori in termini di consumo di risorse non rinnovabili riferite alla produzione di 1 kg di miscela (1,87 MJ/kg contro i 1,8-4,6 MJ/kg).
2) Le misure di conduttività termica, attraverso il metodo del termoflussimetro, dei diversi prototipi hanno evidenziato buone prestazioni di isolamento termico sia del blocco in laterizio sia del termointonaco.

climate categories up to category D (Fig. 5).
In case of retrofits, different configurations has been analysed: an existing wall (R = 0.9 m²K/W) has been paired with insulated, hollow, or ventilated lightweight blocks.
Moreover, the assembly methods provide flexibility to the system. BLOCK_PLASTER may be used as:
– a building system with a reinforced load bearing masonry. The system includes the use of load bearing blocks with the vertical reinforcement inserted in the lifting cavities, and the horizontal reinforcement inserted between the slots of the load bearing slots. The lightweight blocks are fixed to the load bearing blocks by means of specific steel clips. The mortar is inserted in the horizontal slots between the rows of brick blocks;
– a building system with a non-reinforced masonry. This solution shall be used as a buffer in case of load bearing structures with reinforced concrete beams and pillars: it is similar to the previous configuration, but without the use of reinforcement;
– a building system with dry laying. This system uses polymer bed strips to replace the mortar. The connections are guaranteed horizontally by the special dovetail profile of the block, while metallic hollow profiles are used for the vertical joints. The lightweight blocks are fixed to the load bearing blocks by means of steel clips. The dry assembly guarantees a higher environmental sustainability thanks to a decrease in construction site waste, water usage, as well as total disassembly in case of dismantling (Fig. 6).

Component and system analysis and results
In relation to the multidisciplinary nature of the project, the following were carried out:
– thermophysical analyses in the laboratory and through simulations with numerical models;
– life cycle assessment (LCA) through modelling in accordance with ISO 14040:2006 standards;
– analysis of volatile organic compound (VOC) emissions of the clay and lime plaster in accordance with the ISO 16000 series standards, and analysis of the indoor pollutant absorption capacity;
– technological and mechanical testing of the BLOCK_PLASTER prototype blocks and of the plaster prototypes.

To this regard, the most significant results in terms of the Architecture Technology scientific disciplinary sector, are presented: 1) the life cycle analysis of different components: 2) thermal performance of the components and the system as a whole, and in particular of the ventilated façade configuration; 3) VOC analyses related to the plaster for indoor use.
1) The eco-compatibility of the brick blocks and the two clay-based plasters has been assessed by means of a life cycle analysis (software used: Sima Pro v.7.1). The analyses performed on the brick blocks have highlighted how the environmental impact of the production of 1 kg of brick is in line with the data provided in scientific literature. Nevertheless, replacing the additives made of non-renewable raw material with rice husk would grant a 15% reduction in CO_2 equivalent (Carbonaro, Thiebat, 2017). Resorting to industrial processes for the

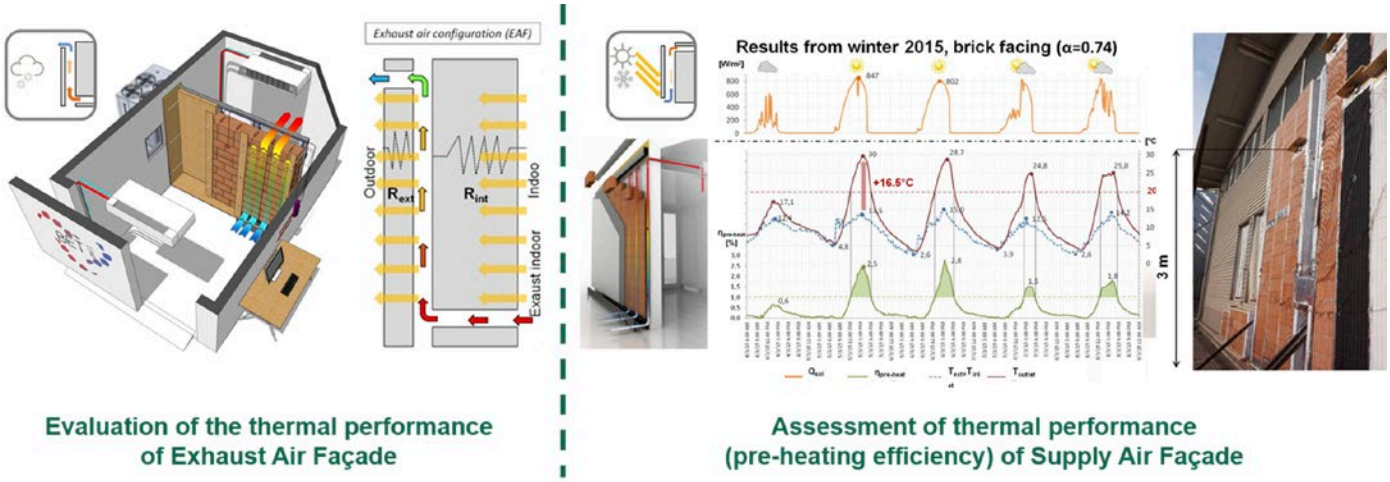
07 |



07 | Analisi LCA della produzione di 1 kg di laterizio (elaborazione grafica di C. Carbonaro e F.Thiebat)
LCA for the production of 1 kg of brick (C. Carbonaro and F.Thiebat elaboration)

08 | Studio del comportamento termico di una parete accoppiata al blocco leggero ventilato, situazione invernale. A sinistra, analisi in camera climatica della riduzione delle dispersioni termiche in caso di estrazione dell'aria esausta indoor; a destra, analisi della capacità di preriscaldamento dell'aria immessa al laboratorio LaSTIn del Politecnico di Torino
Study of the thermal behaviour of a wall paired with a ventilated lightweight block (winter condition). Left: environmental chamber analysis of the reduction in thermal dispersion in case of indoor exhaust air extraction; Right: analysis of the air pre-heating ability in the LaSTIn laboratory of the Turin Polytechnic

08 |



Oltre a tali analisi di laboratorio, sono stati condotti due esperimenti sull'utilizzo del blocco leggero come elemento di ventilazione da accoppiare ad una parete esistente (in caso di retrofit).
Il primo esperimento, condotto in camera climatica, ha avuto l'obiettivo di determinare la capacità del blocco ventilato di extra isolare una muratura perimetrale durante la stagione di riscaldamento, sfruttando la cavità come canale di estrazione dell'aria esausta dall'ambiente interno (Fig. 8, a sinistra). Attraverso misure termoflussimetriche è stato correlato il numero di ricambi orari in estrazione dall'ambiente con la riduzione media di flusso termico tra una parete monostrato in laterizio usata come riferimento ed una parete con ventilazione. La riduzione media di flusso termico rispetto alla parete di riferimento varia da un 12% nel caso di tiraggio fornito dal solo effetto camino su un'altezza di

improvement of the blocks increases consumption of non-renewable energy sources by about 5%, with a negligible corresponding embodied energy reduction, whilst the increase in porosity of the brick with the rice husk offers a better result in virtue of the low environmental cost of the raw material, and of the high thermal resistance of the brick, which positively impacts its use in a wall system. In terms of the data resulting from LCA of the experimental thermal insulation plaster, the comparison with a benchmark thermal insulation plaster (plaster with EPS manufactured by Vimark S.r.l.) has highlighted how the clay-based mixtures have lower non-renewable resource values in the production of 1 kg of mixture (1.87 MJ/kg versus 1-8-4.6 MJ/kg).
2) Measurements of the thermal conductivity – using the Heat flow method – of the different prototypes have highlighted a good performance in terms of thermal insulation, both of the brick block and of the thermal insulation plaster.
Along with such lab analyses, we have conducted two experiments concerning the use of the lightweight block as a ventilation element to be paired with an existing wall (in case of retrofit).
The first experiment, carried out in a doble climatic chamber, had the purpose of establishing the ability of the ventilated block to provide dynamic insulation features during the heating season, by using the cavity as an exhaust air extraction channel from the indoor environment (Fig. 8, left). The thermal flow measurements have allowed to establish a correlation between the number of exchanges per hour from the environment and the average thermal flow reduction of a single-layer brick wall used as a reference and a wall with an internal ventilation system. The average thermal flow reduction compared to the reference wall changed from 12% – given by the chimney effect alone across a 2.4 m height – to over 60%. It is important to highlight that considering a 1-1.5 air changes per hour, lead to a reduction in the heat losses between 27% and 38% (Fantucci, Serra, Perino, 2015).
The second experiment was conducted at the LaSTIn lab of the Turin Polytechnic. Its aim was to assess the reduction in energy consumption in the winter in case of pre-heating of the air by means of the ventilated lightweight block used as supply air façade (Fig. 8, right). To monitor the phenomenon, the researchers have built three testing walls, plus the benchmark wall, against the wall of the laboratory. The speed of the internal air of the ventilated block, the surface temperatures of the block (both internal and external), the thermal flows, and the air capacity were all monitored. Measurements refer to 4 days in March, 2 sunny and 2 overcast. The results highlight how the entering air undergoes a pre-heating up to 16.5 °C in sunny weather, and 11° C in overcast weather, thus providing energy savings when used in combination with heating systems in Air Handling Units.
3) In order to guarantee the satisfaction of the health and well-being demands of the users in relation to air quality, transmission and absorption testing of indoor pollutants on the clay plasters were performed. In fact, the related scientific literature includes a number of experiments that identify clay as a material with the ability to dilute indoor pollutants (Darling et

2,4 m ad oltre il 60% con 3,5 vol/h di ricambio. Si sottolinea che per mantenere le condizioni di qualità dell'aria in un ambiente residenziale è necessario ricambiare mediamente 1-1,5 vol/h cui corrisponderebbe una riduzione di flusso termico disperso compresa tra il 27% e il 38% (Fantucci, Serra, Perino, 2015).
La seconda esperienza è stata condotta nel laboratorio LaSTIn del Politecnico di Torino, per verificare la riduzione dei consumi energetici invernali in caso di preriscaldamento dell'aria attraverso il blocco leggero ventilato (Fig. 8, a destra). Per il monitoraggio sono state costruite tre pareti sperimentali più quella di benchmark, in aderenza alla parete del laboratorio. Sono state monitorate le velocità dell'aria interna ai blocchi ventilati, le temperature superficiali del blocco, sia interne sia esterne, i flussi termici, le portate d'aria. Le misurazioni si riferiscono a quattro giorni di marzo, due soleggiati e due nuvolosi. I risultati evidenziano che l'aria in ingresso subisce un preriscaldamento fino a 16,5 °C con tempo soleggiato e 11 °C con tempo nuvoloso, determinando un risparmio energetico se utilizzata in associazione ad impianti di riscaldamento con Unità di Trattamento Aria.
3) Al fine di garantire esigenze di salute e benessere degli utenti in relazione alla qualità dell'aria, sono stati effettuati test di cessione e adsorbimento di inquinanti indoor sugli intonaci in argilla. La letteratura, infatti, riporta alcune esperienze sperimentali che individuano l'argilla quale materiale capace di diluire gli inquinanti in ambiente indoor (Darling et al. 2012). I test, condotti secondo le norme della serie ISO 16000, sono stati svolti in collaborazione con l'Istituto Giordano di Rimini (IT). L'esperienza sperimentale ha previsto l'inserimento di una vernice (artificialmente caricata di VOC e aldeidi) in una camera di prova, e della stessa vernice (con uguale peso e area) in una seconda camera, identica alla prima, nella quale è stato inserito un campione di intonaco in argilla e calce; lo stesso intonaco in uguale proporzione, è stato inserito in una terza camera per valutare le sue emissioni. In linea con la letteratura scientifica relativa alle potenzialità di assorbimento dei VOC da parte delle argille, sono stati ottenuti risultati interessanti: la formaldeide emessa dalla vernice è ridotta del 79%, l'acetilaldeide del 19% e il totale dei VOC (C6-C16 come toluene) del 75%.

Conclusioni

Sebbene il sistema parete debba ancora essere implementato e ottimizzato, alcuni prodotti (come gli intonaci) sono già stati messi in produzione dalle aziende partner del progetto per il mercato del green building, l'unico, nel settore dell'edilizia, attualmente in crescita. La necessità di implementazione del sistema dipende anche dalla recente variazione di alcune norme (es. D.M. 26 giugno 2015 sui requisiti minimi energetici degli edifici), che implica una nuova fase di verifica del sistema e dei suoi componenti.
Le attività descritte, svolte attraverso sinergie interdisciplinari, hanno previsto il coinvolgimento di diversi attori e hanno avuto come esito lo sviluppo di nuove soluzioni. Tali soluzioni hanno come principali elementi di innovazione le caratteristiche di sostenibilità ambientale nel ciclo di vita e la flessibilità di configurazione e di posa.
La fattiva collaborazione tra enti di ricerca e imprese ha innescato un trasferimento di conoscenze in termini di metodi e approcci all'innovazione. Grazie ad un processo progettuale basato su un approccio iterativo e multicriteria, sulla condivisione di risorse materiali (strumenti e attrezzature) e immateriali (know

al., 2012). The tests – conducted in accordance with ISO 16000 series standards – have been carried out in cooperation with the Istituto Giordano of Rimini (IT). The experiment involved the introduction of paint (artificially charged with VOCs and aldehydes) in an testing chamber, and the same paint (with equal weight and surface area) in a second chamber, identical to the first, in which a clay and lime plaster sample had also been inserted; the same plaster, in an equivalent amount, was also introduced in a third chamber to assess its emissions. Interesting results, in line with scientific literature related to the absorption potential of VOCs by clay materials, have been obtained: formaldehyde emitted by the paint had dropped by 79%, acetaldehyde had dropped by 19%, and total VOCs (C6-C16, such as toluene) had dropped by 75%.

Conclusions

Despite the wall system is yet to be implemented and optimized, certain products (such as plasters) have already been commercialized by the project's partner companies in the green building business: the only currently growing business in the building sector. The need to implement the system also depends on certain recent changes in legislation (i.e. Ministerial Decree issued on June 26th 2015 concerning minimum requirements for buildings), which implies a new assessment phase of the system and its components.
The activities described, carried out by means of a multidisciplinary synergy, have seen the involvement of a number of actors, and have resulted in the development of new solutions. These solutions have as main elements of innovation the characteristics of environmental sustainability in the life cycle and the flexibility of configuration and installation.
The concrete cooperation between research centres and companies has sparkplugged a knowledge transfer of methods and approaches to innovation. Thanks to a design process involving a repeating and multi-criteria approach based upon sharing of tangible resources (tools and equipment) and intangible resources (know-how), significant results in terms of product evolution were obtained, even in the Italian context linked to SMEs with limited in-house research and development resources.
Given such considerations, the need emerges for national and local policies that may stimulate the industrial development even of small but ambitious projects, which may support the industry and its shared research with the related centres and universities.

ACKNOWLEDGEMENTS
The authors thank the project partners, and in particular: DAD (Department of Architecture and Design) at the Turin Polytechnic (F. Thiebat); DENERG (Department of Energy) at the Turin Polytechnic (V. Serra); VIMARK S.r.l. (M. Dutto); Vincenzo Pilone S.p.A. (N. Bessone) and Nova Res S.r.l. (L. Palin).

how), è stato possibile ottenere risultati significativi sul piano dell'evoluzione dei prodotti, anche in un contesto, come quello italiano, legato a piccole e medie imprese, con limitate capacità di ricerca e sviluppo interne all'azienda.
Da queste considerazioni, emerge la necessità di una politica nazionale e locale che stimoli lo sviluppo industriale anche per piccoli ma ambiziosi progetti, in grado di sostenere l'industria e la ricerca condivisa con centri di ricerca e Università.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i partner del progetto: DAD (Dipartimento di Architettura e Design) - Politecnico di Torino (F. Thiebat), DENERG (Dipartimento di Energia) - Politecnico di Torino (V. Serra), VIMARK S.r.l. (M. Dutto), Vincenzo Pilone S.p.A. (N. Bessone), Nova Res S.r.l. (L. Palin).

REFERENCES

Bribián, I.Z., Capilla, A.V. and Usón A.A. (2011), "Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential", *Building and Environment*., No. 46, pp. 1133-1140.

Carbonaro, C. and Thiebat, F. (2017), "Analisi del ciclo di vita del laterizio: un caso studio in Piemonte", *Proceedings of XI conference of Italian LCA Network - "Resource Efficiency e Sustainable Development Goals: il ruolo del Life Cycle Thinking"*, Siena, 22-23 June, pp. 62-69.

Darling, E.K., Cros, C.J., Wargocki, P., Kolarik, J., Morrison, G. C. and Corsi, R.L. (2012), "Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements", *Building and Environment*, No. 57, pp. 370-376.

Fantucci, S., Serra, V. and Perino, M. (2015), "Dynamic insulation systems: experimental analysis on a parietodynamic wall", *Energy Procedia*, No. 78, pp. 549-554.

Gargari, C., Hamans, C. and Torricelli, M.C. (2013), "L'impegno dell'industria delle costruzioni per promuovere la sostenibilità dei prodotti: un approccio comune europeo per le prestazioni ambientali di prodotto", *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 5, pp. 101-109.

Haapio, A. and Viitaniemi, P. (2008), "Environmental effect of structural solutions and building materials to a building", *Environmental Impact Assessment Review*, No. 28, pp. 587-600.

Murmu, A.L. and Patel, A. (2018), "Towards sustainable bricks production: An overview", *Construction and Building Materials*, Vol. 165, pp. 112-125.

Rouwette, R. (2010), "LCA of Brick Products: Life Cycle Assessment Report – Final Report after Critical Review", Think Brick Australia, available at: http://www.thinkbrick.com.au (accessed: 6 July 2018).

Van Hemel, C.G. and Brezet, J.C. (1997), *Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption*, UNEP IE, Paris, FR.