

riguardato l'intero iter di sviluppo industriale finalizzato alla realizzazione di un prototipo di profilo di serramento esterno. Il sistema è basato sull'integrazione della tradizionale componentistica e meccanica con le tecnologie degli intelligent systems finalizzate ad assicurare alti livelli di comfort indoor con ridotti consumi energetici.

Il contributo della ricerca e della progettazione tecnologica dell'architettura è riferito ad alcune questioni metodologiche e operative nel rapporto che si istituisce fra le molte dimensioni dell'innovazione e il progetto di architettura. Da un lato si rinvengono le tematiche della progettazione ambientale in cui la concezione dell'habitat non è limitata ai soli aspetti fisico-formali, ma anche alle determinazioni immateriali del progetto e orientata a un'idea di governance ambientale; dall'altro, si individuano le complesse problematiche delle tecniche e dei materiali innovativi oltre che dei processi, delle metodologie, delle procedure e dei topics per il progetto sostenibile, sviluppate secondo le implicazioni sul progetto e le necessarie modalità del suo controllo tecnico.

Alla luce delle considerazioni fatte si può affermare che le attività e le prospettive di ricerca e sperimentazione progettuale delineate nel contributo che segue, riferite alle diverse dimensioni culturali, di innovazione, di sostenibilità del progetto, possano offrire risposte concrete in termini teorici e applicativi alle sfide in atto e a quelle future, procedendo verso una visione del progetto sempre più sganciata dagli specialismi tecnicistici e ricondotta verso la sua centralità, contribuendo in modo significativo a rispondere a tematiche quali l'efficienza e il risparmio energetico.

tegration of traditional components and mechanics with intelligent systems technologies aimed at ensuring high levels of indoor comfort with reduced energy consumption.

The contribution of architecture research and technological design refers to some methodological and operational issues in the relationship established between the many dimensions of innovation and the architectural project. On the one hand we find the themes of environmental design, in which the conception of the habitat is not limited only to the physical-formal aspects, but also to the intangible determinations of the project, oriented towards an idea of environmental governance; on the other hand, the complex problems of innovative techniques and materials are identified, as well as the processes, methodologies, procedures and topics for the sustaina-

ble project, developed according to the project implications and the necessary methods of its technical control.

In light of these considerations, we can state that the activities and perspectives of research and design experimentation outlined in the following contribution, referring to the different cultural, innovation and sustainability dimensions of the project, can offer concrete answers in theoretical and practical terms to the current and future challenges, proceeding towards a vision of the project increasingly detached from technical specializations and brought back to its centrality, thus responding significantly to issues such as energy efficiency and saving.

## **Strategie di controllo termico adattivo su sistemi di involucro. Smartwall: sperimentazione e testing per un nuovo componente industriale**

**Martino Milardi,**

Dipartimento Architettura e Territorio, Università Mediterranea di Reggio Calabria (mmilardi@unirc.it)

### **Background**

Negli ultimi anni il settore delle costruzioni viene sempre più sollecitato ad aumentare le proprie linee innovative in riferimento a soluzioni tecniche capaci di migliorare le performances degli involucri edilizi soprattutto al fine di fronteggiare i vari cambiamenti climatici che coinvolgono in maniera biunivoca l'ambiente costruito<sup>1</sup>.

Sembra ormai assodato infatti come gli approcci di dinamicità, adattività, controllo smart, responsività, ibridazione, biomimesi, ecc., abbiano radicalmente cambiato il tradizionale concetto di 'frontiera', se non di 'muro', con il quale si concepivano gli involucri edilizi.

In questa direzione, si muovono sia le aziende che, specializzandosi nella produzione di componenti ad alte prestazioni, riescono a entrare nel mercato internazionale fornendo prodotti altamente innovativi, sia le attività tecnico-scientifiche finalizzate a realizzare nuove sperimentazioni per dotare gli edifici di sistemi che offrono "dinamismi" utili alla gestione dei flussi, alla stregua di un organismo vivente.

Questa sinergia, intesa come univoca esigenza d'innovazione e di miglioramento, ha influito sulla propensione verso modelli

### **Adaptive thermal control strategies on envelope systems. Smartwall: experimentation and testing for a new industrial component**

*Martino Milardi*

#### **Background**

In recent years, the construction sector has been increasingly urged to rise its innovative lines in reference to technical solutions capable of improving the performance of building envelopes, mostly in order to face the climate changes that involve in two-way the built environment<sup>1</sup>.

In fact, it seems well established that the approaches of dynamism, adaptivity, smart control, responsiveness, hybridization, biomimesis, etc., have radically changed the traditional concept of 'frontier', or 'wall', with which building envelopes were conceived.

In this direction, we find companies

specialized in the production of high performance components, able to enter the international market by supplying highly innovative products, as well as the technical-scientific activities aimed at carrying out new experiments to equip buildings with systems that offer "Dynamisms" useful for the management of flows like a living organism.

This synergy, meant as a unique need for innovation and improvement, has influenced the propensity towards collaborative models with university research, in order to promote technology transfer also through groups of researchers, representing the scientific core of the company in the production of goods and services to be placed on the market.

In this context, we present this experimental research project, where the connection between the academic

collaborativi con la ricerca universitaria, al fine di promuovere il trasferimento tecnologico anche attraverso gruppi di ricercatori, intesi come nucleo scientifico dell'impresa nella produzione di beni e servizi da immettere nel mercato.

In questo quadro, si colloca il progetto di ricerca sperimentale qui trattato, dove la connessione tra il mondo accademico e industriale ha messo a punto un processo volto all'implementazione di una tecnologia serramentistica già collaudata sul mercato, in modo da inserirsi facilmente nei caratteristici processi di sviluppo, produzione e management aziendale.

Si tratta di una ricerca sperimentale e applicata, condotta in occasione di un bando competitivo POR Calabria 2014/2020 per l'Asse 1 - "Promozione della ricerca e dell'innovazione"; Obiettivo specifico 1.1 "Incremento dell'attività di innovazione delle imprese", Azione 1.1.2 "Sostegno per l'acquisto di servizi per l'innovazione tecnologica, strategica, organizzativa e commerciale delle imprese".

Il bando è stato finanziato all'Azienda di Serramenti "Metalsud Lo Gatto S.r.l." di Vibo Valentia in partenariato con i Dipartimenti DARTE e DIIES dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Lo sviluppo sperimentale e di testing è stato svolto presso la Sezione TCLab del Laboratorio Building Future Lab sempre dell'Università Mediterranea<sup>2</sup>.

## Obiettivi e risultati

L'obiettivo generale è sviluppare un processo che realizzi un prodotto competitivo sul mercato, capace d'integrare la tradizionale componentistica e meccanica con le tecnologie informatiche e degli *intelligent systems*. I risultati tecnici sono il miglioramento del *know-how* aziendale e l'istituzione di una nuova mission fo-

and industrial world has developed a process aimed at the implementation of a technology for doors and windows already tested on the market, so as to be easily inserted in the characteristic development, production and business management processes.

This is an experimental and applied research, carried out on the occasion of a competitive call POR Calabria 2014/2020 for Axis 1 - "Promotion of research and innovation"; Specific objective 1.1 "Increasing business innovation activity", Action 1.1.2 "Support for the purchase of services for technological, strategic, organizational and business innovation".

The call was funded by the "Metalsud Lo Gatto S.r.l." company in Vibo Valentia, in partnership with the "DARTE" and "DIIES" departments of the Mediterranean University of Reggio Calabria. The experimental and

testing development was carried out at the TCLab Section of the Building Future Lab of the Mediterranean University<sup>2</sup>.

### Goals and results

The general objective is to develop a process that creates a competitive product on the market, capable of integrating traditional components and mechanics with information technology and intelligent systems. The technical results are the improvement of the company know-how and the establishment of a new mission focused on improving the production chains based on technical systems aimed at the market trends of efficient and smart envelopes.

The research covered the entire industrial development process aimed at creating a prototype of an external profile applied to an external door,

calizzata sul miglioramento delle filiere produttive basate su sistemi tecnici rivolti ai trend del mercato degli involucri efficienti e smart.

La ricerca ha riguardato l'intero iter di sviluppo industriale finalizzato alla realizzazione di un prototipo di profilo di serramento esterno, applicato a un portone, che attraverso una gestione smart di sensori, microprocessori e attuatori riesce a controllare la formazione di ponti termici. La strategia tecnica principale consiste nel produrre e gestire un flusso termico generato da un resistore, capace di equalizzare i delta termici e quindi controllare l'insorgere di dispersioni indesiderate.

## Sintesi dello sviluppo metodologico, sperimentale e delle attività di testing

La prima fase ha riguardato le indagini sullo stato dell'arte, sugli assunti chiave, sul quadro normativo europeo e nazionale, quindi, sull'individuazione dei problemi aperti che lo configurano. Ci si è rivolti alla ricognizione dei dati e si è centrata l'attenzione su alcuni assunti chiave, basati sull'esigenza di una progettazione edilizia *rinnovata* rispondente alle pressanti richieste di "nuove qualità" abitative. Successivamente si è svolta un'analisi critica di repertori tecnici di prodotti simili della categoria di riferimento, in modo da evidenziare gli aspetti problematici e risolvere i nodi critici emergenti dall'ideazione del nuovo modello di portone di sicurezza. Come è noto, i portoni sono costituiti da un telaio perimetrale fisso, connesso alla struttura dell'edificio tramite un controtelaio incassato nel "muro", ed infine da un telaio mobile accoppiato al telaio perimetrale fisso. In genere questi componenti sono realizzati in acciaio, ferro, legno, alluminio. Tale strutturazione,

which through the smart management of sensors, microprocessors and actuators, controls the formation of thermal bridges. The main technical strategy consists in producing and managing a thermal flow generated by a resistor, capable of equalizing the thermal deltas and therefore controlling the occurrence of unwanted dispersions.

### Summary of methodological, experimental development and testing activities

The first phase concerned the survey on the state of the art, on the key assumptions, on the European and national regulatory framework, therefore on the identification of the open problems that frame it. We turned to the recognition of data and focused our attention on some key assumptions, based on the need for a *renewed* building design that responds to the

pressing requests for "new housing qualities".

Subsequently, we carried out a critical analysis on the technical directories of similar products in the same reference category, in order to highlight the problematic aspects and solve the critical issues emerging from the conception of the new security door model.

As everybody knows, external doors are made up of a fixed perimeter frame, connected to the structure of the building through a counter frame embedded in the wall, and finally by a mobile frame coupled to the fixed perimeter frame. Typically, these components are made of steel, iron, wood, aluminium. This structure, although widely used, has the drawback of not guaranteeing the homogeneous control of the temperature between outside and inside, due to the excessive difference in the thermal deltas of the materials in-

01 |



pur essendo ampiamente utilizzata, ha l'inconveniente di non garantire il controllo omogeneo della temperatura tra esterno ed interno a causa della eccessiva differenza dei delta termici dei materiali coinvolti. Questi hanno spesso notevoli diversità nei valori termofisici causando, di fatto, una veloce trasmissione di flusso termico, appunto il ponte termico<sup>3</sup>, difficilmente gestibile. Alla luce di tali deficit prestazionali e dopo aver verificato le varianti possibili, si è dato inizio al progetto del sistema ideato, lo "smartwall", ad iniziare dalle simulazioni di fattibilità tecnica e la definizione delle opzioni tecnologiche disponibili; azioni svolte di concerto con i tecnici dell'Azienda ed in ragione della filiera produttiva in atto. Il compimento di queste fasi ha portato

involved. These have often considerable differences in thermophysical values, causing, in fact, a rapid transmission of thermal flow, precisely the thermal bridge<sup>3</sup>, which is difficult to manage. In light of these performance deficits and after checking the possible variants, we started the project of the conceived system, the "Smartwall", starting with the simulations of technical feasibility and the definition of the available technological options; these actions were carried out in concert with the Company's technicians and based on the production chain in progress. The completion of these phases led to the realization of the prototype concept, to the patenting process and to the filing of the related application (n. 102018000010417), in order to cover the intellectual property needs and the set of systemized information useful for the start of a production chain.

Experimental and testing activities focused, on the one hand, on the intention of combining physical-technical operation aimed at energy efficiency with a management type operation on a smart basis, and, on the other hand, on the application of an "intelligent" component which was to be integrated into a *traditional* external door system<sup>4</sup> in production.

In order to compare doors and windows models in production at Metalsud, thermographic analysis instruments were used to evaluate the fluid dynamic performance of the various technical structures, including those chosen for the proposed solution.

In particular, two mock-ups were prepared to test the behaviors, one of current production and the other engineered according to the project idea where it represented the liable production prototype.

alla realizzazione del concept del prototipo, allo svolgimento dell'iter di brevettazione e al deposito della relativa domanda (n. 102018000010417), al fine di coprire le esigenze di proprietà intellettuale e l'insieme di informazioni sistematizzate utili all'avvio di una filiera produttiva.

Le attività sperimentali e di testing si sono focalizzate, da un lato, sull'intento di coniugare un funzionamento fisico-tecnico finalizzato all'efficienza energetica ad un altro di tipo gestionale su base smart e dall'altro, sulla applicazione di un repertorio componentistico "intelligente" che doveva essere integrato in un sistema di serramento *tradizionale*<sup>4</sup> in produzione.

Ai fini delle comparazioni tra modelli di serramenti in produzione presso la Metalsud, si sono impiegate strumentazioni di analisi termografica per la valutazione delle prestazioni fluidodinamiche dei diversi assetti tecnici, compresi quelli scelti per soluzione proposta.

In particolare, si sono approntati due *mock-up* per testare i comportamenti, ovvero, uno di produzione corrente e l'altro che è stato ingegnerizzato secondo l'idea di progetto per cui, ha rappresentato il prototipo passibile di produzione.

Il *mock-up* del prototipo è stato assemblato con la componentistica costituente "l'invenzione", in sintesi: un resistore per la generazione di flusso caldo, tre sensori di temperatura, un microprocessore, un attuatore che pilota l'accensione e lo spegnimento della resistenza e un pannello LCD per la comunicazione dei dati. Il tutto integrato (come opzione) da un pannellino fotovoltaico per il supporto all'alimentazione elettrica.

Le attività sperimentali e di Testing sono state effettuate presso la Sezione TCLab del Building Future Lab dell'Università Mediterranea, soprattutto con la celladi simulazione termodinamica per

The prototype mock-up was assembled with "the invention" components, in summary: a resistor for generating hot flow, three temperature sensors, a microprocessor, an actuator that pilots the switching on and off of the resistor and an LCD panel for data communication. All integrated (as an option) by a photovoltaic panel to support the power supply.

Experimentation and Testing activities were carried out at the TCLab Section of the Building Future Lab of the Mediterranean University, especially with the thermodynamic simulation cell for components subjected to hot / cold stress called "Test Cell"<sup>5</sup>.

The *Mock-up 1* (traditional system), measuring 990 x 770, was made up of a perimeter frame, interlocking with a counter frame; an air gap; a mobile frame, equipped with an external covering; an insulating panel and an inter-

nal covering, connected to the perimeter frame by means of hinges.

The *Mock-up 2* (prototype system), always measuring 990 x 770, was made up of the same elements but integrated and engineered by the components designed for the new product.

The two specimens were subjected to the cyclograms envisaged by the main norms and standards of thermophysical performances (including certification) for external doors and windows<sup>6</sup>. For the completion of the measurements and their correlation with those made with the test box, two thermographic cameras and an infrared thermometer were used.

The results of the tests that compared the performance of the two specimens, demonstrated the effectiveness of the innovative system, in particular in equalizing the thermal differential, thus responding to the objectives set at the outset.

componenti sottoposti a stress caldo/freddo detta “Test Cell”<sup>5</sup>. Il *Mock-up 1* (sistema tradizionale) di misura 990x770 era costituito da un telaio perimetrale, configurato ad incastro ad un controtelaio; un’intercapedine; un telaio mobile, dotato di un rivestimento esterno, un pannello di coibente ed un rivestimento interno, collegato al telaio perimetrale a mezzo di cerniere. Il *Mock-up 2* (sistema prototipo oggetto di ricerca) sempre di misura 990x770 era costituito da gli stessi elementi ma integrato e ingegnerizzato dai componenti ideati per il nuovo prodotto. I due provini sono stati sottoposti ai ciclogrammi previsti dalle principali norme e standard di performances termofisiche (anche di certificazione) per i serramenti esterni<sup>6</sup>. Per il completamento delle misure e la loro correlazione con quelle effettuate con la test box, si sono utilizzate due termocamere e un termometro ad infrarossi. I risultati dei Test che hanno comparato le prestazioni dei due provini, hanno dimostrato l’efficacia del sistema innovato, in particolare nell’equalizzare il differenziale termico, rispondendo così agli obiettivi prefissati in partenza.

## Conclusioni

Alla luce di quanto è emerso dallo studio dei nodi critici inerenti all’idea *prodotto*, la sua fattibilità industriale appare realistica nella possibilità di integrare diversi elementi essenziali di un sistema domotico, con funzionalità intelligente, quella cioè di efficientamento energetico, attraverso il controllo automatico di un resistore, la cui funzione si basa sulla misurazione delle temperature ottenute da opportuni sensori integrati. In questo senso, aumentando la resistenza termica del controtelaio attraverso l’apposizione di uno strato di coibente nanomaterico, si è scelto di collocare il componente “attivo” nell’intercapedine del telaio fisso per superare alcune difficoltà che si sarebbero presentate sulla linea produttiva da un lato, e sulle attese di alta efficienza energetica dall’altro. I risultati tecnici si individuano nel miglioramento del *know-how* aziendale, nell’istituzione di una nuova mission focalizzata sul miglioramento delle filiere produttive basate su sistemi tecnici rivolti ai trend del mercato degli involucri efficienti e smart, ampliandone la specifica ricaduta sui miglioramenti prestazionali ed innovativi del prodotto ponendo le basi per il suo inserimento in nuovi mercati.

## NOTE

<sup>1</sup> Chalmers, P. (2014), *Climate Change: implications for buildings. Keyfindings for the IPCC Fifth assesment report*, University of Cambridge, BPIE, GBPN, WBCSD, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.

<sup>2</sup> Le attività sono state sviluppate da un Team di Ricerca interdisciplinare afferente ai sopra citati Dipartimenti dell’Università Mediterranea di Reggio Calabria. In particolare: Prof. Martino Milardi, Responsabile Scientifico della Ricerca e del TCLab (DARTE); Prof. Corrado Trombetta, Responsabile

## Conclusions

In light of what emerged from the study of the critical issues inherent in the *product idea*, its industrial feasibility appears realistic in the possibility of integrating several essential elements of a home automation system with intelligent functionality, that is, that of energy efficiency, through the automatic control of a resistor, whose function is based on the measurement of the temperatures obtained by suitable integrated sensors.

In this sense, by increasing the thermal resistance of the counterframe through the application of a layer of nanomaterial insulation, we decided to place the “active” component in the cavity of the fixed frame to overcome some difficulties that would have arisen on the production line on the one hand, and on expectations of high energy efficiency on the other.

The technical results are identified in the improvement of the Company know-how, in the establishment of a new mission focused on the improvement of the production chains based on technical systems aimed at the efficient and smart envelopes market trends, expanding their specific impact on product performance and innovative improvements, laying the foundations for its integration in new markets.

## NOTES

<sup>1</sup> Chalmers, P. (2014), *Climate Change: implications for buildings. Keyfindings for the IPCC Fifth assesment report*, University of Cambridge, BPIE, GBPN, WBCSD, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.

<sup>2</sup> The activities were developed by an interdisciplinary research team



del BFL (DARTE); Prof. Domenico Rosaci (DIIES), Ing. Giuseppe Calluso Consulente Esperto Sr, con gli altri Esperti Sr Architetti PhD: Evelyn Grillo, Mariateresa Mandaglio, Caterina Musarella, Rocco Musolino e Federica Mangiulli. Il gruppo di lavoro ha avuto il prezioso supporto del Dott. Igor Paonni, del Dott. Domenico Arena e della Dott.ssa Nicoletta Marincola, rispettivamente Export Manager, Managing Director e Consulente Sr della Metalsud srl di Vibo Valentia.

<sup>3</sup> UNI EN ISO 10211 - Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati.

<sup>4</sup> Si fa riferimento alle normative tecniche:

- UNI EN 14351-1 "Finestre e porte - Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali";
- UNI 11173-2005 "Finestre, porte e facciate continue - Criteri di scelta in base alla permeabilità all'aria, tenuta all'acqua, resistenza al vento, trasmittanza termica ed isolamento acustico".

<sup>5</sup> Questa è costituita da 3 elementi principali: una semicella fissa (calda); un "porta campione (specimen)"; una semicella mobile (fredda), installate su un supporto mobile a binari. Nonché da una serie di componenti e accessori: Sistema scaldante, Anello di guardia, Impianto di condizionamento, Ventilatore, Termoflussimetro, Cavi twistati, Blocco isoterma per termocoppie (2x18), Anemometro a filo caldo, un Modbus per la Misurazione dell'umidità relativa, Software con interfaccia di visualizzazione dei dati in tempo reale e salvataggio dei dati misurati.

<sup>6</sup> I codici UNI sui quali si basano le prove di monitoraggio effettuate sul prototipo dalle dimensioni minime di 50x75cm con la TEST CELL per componenti sottoposti a stress caldo/freddo, al fine di monitorare il flusso termico che attraversa il componente, e la lettura delle temperature delle superfici esterne esposte ai lati caldo e freddo e delle adiacenti temperature dell'aria e dell'umidità relativa, sono principalmente:

- EN ISO 6946 (Conduttanza termica di pareti opache in regime stazionario);
- UNI 7891 (Determinazione della conduttività termica con il metodo del termoflussimetro)

belonging to the aforementioned Departments of the Mediterranean University of Reggio Calabria. In particular: Prof. Martino Milardi, Scientific Head of Research and TCLab (DARTE); Prof. Corrado Trombetta, Head of the BFL (DARTE); Prof. Domenico Rosaci (DIIES), Ing. Giuseppe Calluso Expert Consultant Sr, with the other Experts Sr Architects PhD: Evelyn Grillo, Mariateresa Mandaglio, Caterina Musarella, Rocco Musolino and Federica Mangiulli. The working group had the precious support of Dr. Igor Paonni, Dr. Domenico Arena and Dr. Nicoletta Marincola, respectively Export Manager, Managing Director and Consultant Sr of Metalsud srl of Vibo Valentia.

<sup>3</sup> UNI EN ISO 10211 - Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations.

<sup>4</sup> Technical standards:

- UNI EN 14351-1 "Windows and doors - Product standard, performance characteristics";
- UNI 11173-2005 "Windows, doors and curtain walling - Selection criteria based on air permeability, water tightness, resistance to wind load, thermal and acoustic insulation".

<sup>5</sup> This consists of 3 main elements: a fixed (hot) half-cell; a "sample door (specimen)"; a mobile (cold) half-cell, installed on a mobile rail support. Other components and accessories: Heating system, Guard ring, Air conditioning system, Fan, Heat flow meter, Twisted cables, Isothermal block for thermocouples (2x18), Hot wire anemometer, a Modbus for humidity measurement relative, Software with interface for displaying data in real time and saving the measured data.

- UNI EN 12664:2002 (Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo del termoflussimetro).

## REFERENCES

- AA.VV. (2018), "Proceedings of the 13th Conference on Advanced Building Skins 1-2 October 2018", *Advanced Building Skins GmbH*, Bern, Switzerland.
- Celi, M. (2015), *Advanced Design Cultures. Long-Term Perspective and Continuous Innovation*, Springer International Publishing, Switzerland.
- Chalmers, P. (2014), *Climate Change: implications for buildings. Keyfindings for the IPCC Fifth assesment report*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.
- Claudi de St. Mihiel, A. (2007), *Superfici Mutevoli*, Clean dizioni, Napoli.
- Galison, P. (1997), *Image and logic: a material culture of microphysics*, University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- Lucon, O. et al. (2014), "Building", in Edenhofer, O. et al. (Eds.), *Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.
- Mazzucchelli, E.S. (2018), "L'involucro di edifici complessi: aspetti progettuali e costruttivi", *Modulo*, n. 415, pp. 78-83.
- Milardi, M. (2018), "Adaptive Models for the Energy Efficiency of Building Envelopes", *Journal of Technology Innovations in Renewable Energy*, n. 6, pp. 108-117.
- Mottura, G. and Pennisi, A. (2006), *Il serramento nell'involucro edilizio*, Apogeo Editore, Adria (RO).
- Corrado V., Fabrizio E., Gasparella, A. and Patuzzi, F. (Eds.) (2020), "Proceeding of Building Simulation 2019", *16th Conference of IBPSA*, 2-4 September, Rome.

<sup>6</sup> The UNI codes on which basing the monitoring tests carried out on the prototype with a minimum size of 50x75cm with the TEST CELL for components subjected to hot/cold stress, in order to monitor the thermal flow through the component, and the reading of the temperatures of the external surfaces exposed to the hot and cold sides and adjacent air temperatures and relative humidity, are mainly:

- EN ISO 6946 (Thermal conductance of opaque walls in steady state);
- UNI 7891 (Determination of thermal conductivity with the heat flow meter method);
- UNI EN 12664:2002 (Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods).