

Un nuovo strumento di informazione come tecnologia abilitante: applicazione e *simulating*

Just Accepted: October 22, 2022 Published: May 30, 2023

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Ricerca avanzata (Under 35)

francesca.ciampa@unina.it
caterina.musarella@unirc.it

Francesca Ciampa¹, <https://orcid.org/0000-0003-1980-6584>

Caterina Claudia Musarella², <https://orcid.org/0000-0002-7517-6591>

¹ Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Italia

² Dipartimento di Architettura e Territorio, Università degli Studi Mediterranea Di Reggio Calabria, Italia

Abstract. La ricerca mira all'individuazione di uno strumento di informazione per le attività di progettazione attraverso tecnologie abilitanti, sviluppate sulle interazioni tra involucro e contesto. La metodologia, articolata secondo le fasi di analisi, elaborazione e validazione applicativa, prefigura una strategia di risposta ai fenomeni di crisi ambientale ed energetica rispetto alle diverse scale di azione. Considerando l'effetto dei fenomeni climatici sugli involucri e le esigenze prestazionali contemporanee ai quali sono chiamati a rispondere, il contributo restituisce una scheda tecnica dinamica (analisi e valutazione delle prestazioni energetico-ambientali) sulla base del modello redatto dal *European Joint Research Centre*, per verificare l'appropriatezza della progettazione dell'involucro.

Parole chiave: Ambiente costruito; *Energy performance impact*; Involucro; Tecnologie abilitanti; *Simulating*.

Introduzione

L'ambiente costruito, indagato come sistema complesso, evolve nel tempo secondo mutamenti di ordine spaziale investiti da fenomeni che ne impongono la transizione per il mantenimento di un appropriato livello prestazionale (Viola and Gehl, 2019). Da un lato, le criticità legate alle emergenze climatiche (ARUP, 2021) e, dall'altro, le potenzialità di sviluppo definite dal mercato delle *cutting-edge technologies* (Gunal, 2019), impongono un'accelerazione delle capacità di integrazione delle tecnologie attraverso l'innovazione delle strumentazioni cognitive di progetto (Antonini *et al.*, 2020). Considerando l'effetto di tali fenomeni sugli involucri e le esigenze prestazionali contemporanee ai quali sono chiamati a rispondere, l'approccio multiscale consente di operare sulla dinamicità del carattere sistemico dell'ambiente costruito, determinato dall'interdipendenza relazionale tra il tutto e le parti che lo compongono (Zaffagnini, 1981). Pertanto, la ricerca affronta i temi dell'*energy performan-*

ce impact, del *climate technology innovation* e del *built environment impact evaluation* nel quadro dei requisiti richiesti dalla Commissione Europea (COM/2020/950), promuovendo anche un approccio integrato delle politiche comunitarie.

La cooperazione con il Polytechnic Institute de Coimbra, legata agli autori per una ricerca dottorale e per lo svolgimento del Grant E-COST 2022 *European Cooperation in Science and Technology*, ha consentito di approfondire i temi delle vulnerabilità dell'ambiente costruito rispetto alla capacità di adattamento ai cambiamenti climatici in risposta alle nuove strategie di *governance* multiscale (Ciampa, 2021). Lo scambio scientifico si è focalizzato sul riallineamento prestazionale che gli edifici devono garantire per il raggiungimento di qualità relazionali appropriate al contesto urbano di riferimento. Con particolare attenzione ai processi di decarbonizzazione degli edifici (UE, 2021), la collaborazione scientifica ha consentito la costruzione di uno strumento di informazione, analisi e valutazione delle prestazioni energetico-ambientali sulla base del modello redatto dal *JRC Joint Research Centre* (Murauskaite-Bull and Caramizaru, 2021), per verificare un'adeguata progettazione dell'involucro (Milardi, 2020). Tale modello, in linea con le politiche europee energetiche e sui cambiamenti climatici, supporta le valutazioni d'impatto delle performance dell'involucro edilizio con un sistema tecnologico avanzato con ricadute sia sul processo progettuale che sull'ambiente costruito. Pertanto dalle interazioni tra involucro e contesto, attraverso tecnologie abilitanti, la ricerca restituisce in una logica sistemica uno strumento rappresentato da una "scheda tecnica dinamica".

A new information tool as an enabling technology: application and simulation

Abstract. The research aims at identifying an information tool for design activities through enabling technologies, developed on the interactions between envelope and context. The methodology, articulated according to the phases of analysis, processing, and applicative validation, prefigures a response strategy to the phenomena of environmental and energy crisis with respect to the different scales of action. Considering the effect of climatic phenomena on the envelopes and the contemporary performance requirements they are called to meet, the contribution provides a dynamic data sheet (analysis and evaluation of energy-environmental performance) based on the model drawn up by the *European Joint Research Centre*, to verify the appropriateness of envelope design.

Keywords: Built environment; Energy performance impact; Envelope; Enabling technology; Simulation.

Introduction

The built environment, investigated as a complex system, evolves over time according to changes in the spatial order affected by phenomena that require its transition to maintain an appropriate level of performance (Viola and Gehl, 2019). On the one hand, the critical issues related to climate emergencies (ARUP, 2021) and, on the other hand, the development potential defined by cutting-edge technologies (Gunal, 2019), impose an acceleration of technology integration capabilities through the innovation of cognitive design tools (Antonini *et al.*, 2020). Considering the effect of these phenomena on the envelopes and the contemporary performance requirements they have to meet, the multi-scale approach makes it possible to operate on the dynamism of the systemic character of the built environment,

determined by the relational interdependence between the whole and its component parts (Zaffagnini, 1981). Therefore, the research examines the issues of energy performance impact, of climate technology innovation and of built environment impact evaluation in the framework of the requirements of the European Commission (COM/2020/950), also promoting an integrated approach of Community policies.

The cooperation with the Polytechnic Institute de Coimbra, linked to the authors for doctoral research and the Grant E-COST 2022 *European Cooperation in Science and Technology*, allowed to investigate the vulnerabilities of the built environment in relation to adaptability to climate change in response to new multi-scale governance strategies (Ciampa, 2021). The scientific exchange focused on the per-

L'accezione di dinamicità attribuita a quest'ultima, si lega alla possibilità di renderla flessibile, e quindi aggiornabile, in base al mutare dei dati, dei parametri e del contesto di riferimento. Tra le principali tecnologie abilitanti, definite da *Boston Consulting* e recepite nel Piano Nazionale "Impresa 4.0" del Ministero dello Sviluppo Economico¹ (MISE, 2020), la ricerca si inserisce all'interno della *Simulation* – simulazione tra macchine intelligenti e interconnesse per aumentare la produttività e l'ottimizzazione dei processi – e della *Horizontal/Vertical Integration* delle informazioni.

La scheda tecnica dinamica, attraverso l'analisi e l'utilizzo dei parametri di conducibilità termica dei materiali e le proprietà di trasmissione di flussi di calore, consente di determinare la quantità di emissioni di CO₂ durante la fase di utilizzo², quale indicatore principale di sostenibilità ambientale ICE – Indicatori Comuni Europei (UE, 2021). Tale strumento rappresenta un *tool* di supporto alla valutazione delle prestazioni energetiche, verificando gli impatti e le *performance* erogate *ex ante/ex post* progettazione (Pinto, 2019).

Le tecnologie abilitanti per la decarbonizzazione degli edifici

Il rapporto IPCC 2022, inerente ai diversi temi di efficienza e produzione energetica, di innovazione e integrazione delle logiche *smart*, nonché di qualità ambientale degli edifici, ha evidenziato la necessità di adeguare i livelli prestazionali delle unità tecnologiche all'evoluzione climatica. Le stime ambientali prevedono un aumento delle temperature globali di 1,5°C entro i prossimi due decenni dovute all'impatto delle emissioni di carbonio (IPCC, 2022).

formance realignment that buildings have to guarantee in order to achieve relational qualities appropriate to the urban context of reference. Focusing on decarbonisation processes in buildings (UE, 2021), scientific collaboration enabled the construction of an information, analysis and evaluation tool for energy-environmental performance based on the model drawn up by JRC Joint Research Centre (Murauskaitė-Bull and Caramizaru, 2021), to verify an adequate envelope design (Milardi, 2020). In line with European energy and climate change policies, the model supports impact assessments of building envelope performance with an advanced technological system on both the design process and the built environment. Therefore, from the interactions between envelope and context, through enabling technologies, the research yields with a systemic ration-

ale a tool represented by a "dynamic data sheet". The meaning of dynamicity, attributed to the latter, concerns the possibility of making it flexible and, therefore, updatable, according to changing data, parameters, and context. Among the main enabling technologies, defined by Boston Consulting and adopted in the National Plan "Impresa 4.0" of the Ministry of Economic Development¹ (MISE, 2020), research is part of the *Simulation* – simulation between intelligent and interconnected machines to increase productivity and process optimisation – and of *Horizontal/Vertical Integration* of information. The dynamic data sheet, through the analysis and use of material thermal conductivity parameters and heat flow transmission properties, makes it possible to determine the amount of CO₂ emissions during the usage phase², as the main indicator of environmental

Nello scenario scientifico descritto l'ambito dei processi di decarbonizzazione degli edifici (UE, 2021) interessa, quindi, la capacità degli involucri edilizi di relazionarsi appropriatamente con il proprio contesto di riferimento, avvalendosi di strumenti multiscalarari di informazione per l'adeguata trasformazione dell'ambiente costruito (Campioli, 2020). L'involucro denota un carattere di dualismo essendo sia elemento tecnico di un sistema tecnologico edilizio, che componente di controllo dei livelli di sostenibilità e scambio tra la scala architettonica e quella urbanistica (Brey, 2017). Le sfide climatiche interpretate come sollecitazioni critiche dell'intero sistema alla scala urbana, quali, a titolo esemplificativo, le *Urban Heat Island*, le *Heat Wave* e il *Pluvial Flooding* (European Agenda, 2020), rendono l'involucro edilizio oggetto studio per la mitigazione degli impatti. Al contempo, le esigenze e i requisiti richiesti dall'utenza, necessari al mantenimento di livelli prestazionali adeguati alle istanze del tempo, individuano nell'involucro edilizio un elemento di osmosi (transito e/o schermatura all'occorrenza) in risposta all'integrazione di soluzioni tecnologiche e vulnerabilità ambientali (Pinto and Viola, 2019).

L'innovazione delle funzionalità e delle componenti attive delle superfici dell'involucro indirizzano gli scenari di ricerca verso processi di trasformazione basati su tecnologie abilitanti, sfruttando il carattere responsivo dell'involucro stesso. Difatti, le tecnologie abilitanti individuate per questa ricerca, determinano un miglioramento nell'analisi del comportamento dell'involucro, riducendone sia gli impatti sull'ambiente costruito che i margini di errore in fase di progettazione e scelta tecnologica. Ciò grazie alla possibilità di simulazione del comportamento dei materiali/componenti in base alle variazioni climatiche misurabili.

sustainability ICE – European Common Indicators (UE, 2021). This tool supports the evaluation of energy performance, verifying impact and performance delivered *ex ante/ex post* design (Pinto, 2019).

Enabling technologies for the decarbonisation of buildings

The IPCC 2022 report, covering the various topics of energy efficiency and production, innovation and integration of a *smart* rationale, and the environmental quality of buildings, highlighted the need to adapt the performance levels of technological units to climate change. Environmental estimates predict a 1.5°C increase in global temperatures within the next two decades due to the impact of carbon emissions (IPCC, 2022). In the scientific scenario described, the scope of the decarbonisation processes

of buildings (UE, 2021) thus concerns the ability of building envelopes to appropriately relate to their context, using multi-scalar information tools for the appropriate transformation of the built environment (Campioli, 2020). The envelope shows a character of dualism being both a technical element of a technological building system, and a component that controls sustainability levels and exchange between the architectural and urban scale (Brey, 2017). Climate challenges interpreted as critical stresses of the whole system at the urban scale, such as, but not limited to, the *Urban Heat Island*, the *Heat Wave* and the *Pluvial Flooding* (European Agenda, 2020), make the building envelope the object of study for impact mitigation. At the same time, the needs and requirements of users, necessary to maintain appropriate performance standards for the demands of the

Metodologia e Materiali

Attribuendo un'accezione di *smartness* all'ottenimento delle informazioni a supporto delle scelte progettuali, la metodologia si articola secondo le fasi di analisi, elaborazione, verifica e validazione applicativa. L'obiettivo è determinare uno strumento di risposta applicabile alle diverse scale di azione inerenti ai fenomeni climatici, al risparmio energetico e alle emissioni di CO₂ attraverso processi di simulazione definiti dalle tecnologie abilitanti (Fig. 1).

La prima fase analizza la Direttiva Europea n.31/2010 e le successive integrazioni³ che indirizzano verso la riduzione delle emissioni di CO₂ mediante indicatori noti e disponibili in letteratura (ISPRA, 2021). L'attenzione verso questo valore, parametro difficilmente reperibile in banche dati, risulta necessaria per la valutazione della compatibilità ambientale.

Assunti gli standard della normativa cogente per il soddisfacimento dei requisiti delle nuove qualità abitative (Lucarelli *et al.*, 2018), nella fase di elaborazione sono state considerate le informazioni energetiche relative ai materiali/componenti di sperimentazione per la costruzione di una "scheda tecnica dinamica". Detta scheda ha lo scopo di verificare le relazioni ambientali che intercorrono tra gli edifici e il proprio ambiente costruito, implementando la conoscenza prestazionale dei materiali e dei componenti rispetto al contesto di riferimento. L'innovazione che questo strumento apporta, sviluppato a partire dal dato certo della conducibilità termica⁴, restituisce il valore delle emissioni di CO₂ dell'involucro come *tool* a supporto degli indicatori di sostenibilità ambientale ICE – Indicatori Comuni Europei. A tale risultato si arriva attraverso un percorso di ricerca che definisce una procedura fisico-matematica⁵ ba-

times, identify the building envelope as an element of osmosis (transit and/or shielding, as necessary) in response to the integration of technological solutions and environmental vulnerabilities (Pinto and Viola, 2019).

The innovation of the functions and active components of the envelope's surfaces directs research scenarios towards transformation processes based on enabling technologies, exploiting the responsive character of the envelope itself. In fact, the enabling technologies identified for this research determine an improvement in the analysis of the envelope's behaviour, reducing both its impact on the built environment and the margins of error in the design and technological choice phase. This is thanks to the possibility of simulating the behaviour of materials/components based on measurable climatic variations.

Methods and Materials

Attributing a smartness feature to the process of obtaining information to support design choices, the methodology consists of the phases of analysis, processing, verification, and applicative validation. The objective is to determine a response tool applicable to the different scales of action inherent to climatic phenomena, energy saving and CO₂ emissions through simulation processes defined by the enabling technologies. (Fig. 1).

The first phase analyses European Directive no. 31/2010 and subsequent supplements³ directing towards the reduction of CO₂ emissions by means of known indicators available in the literature (ISPRA, 2021). The focus on this value, a parameter that is hard to find in databases, is necessary for the assessment of environmental compatibility.



sata sui parametri di conducibilità termica dei materiali e sulle proprietà di trasmissione di calore (Fig. 2).

Partendo da una prima applicazione della scheda dinamica, la fase di verifica è avvenuta sul piano metodologico e applicativo teorico sia a livello nazionale che internazionale: a livello italiano, simulando la risposta in un bando di concorso⁶ come strumento di valutazione all'interno di un'analisi multicriteriale; a livello internazionale, come soglia di riferimento nella sperimentazione europea E-COST in Portogallo⁷. Tali applicazioni caratterizzano il seguente set di indicatori: Emissioni di CO₂, Massa superficiale, Trasmissione termica, Resistenza termica, Sfasamento e Attenuazione, in relazione al criterio di compatibilità ambientale e risparmio energetico. La ricerca si focalizza sulle Emissioni di CO₂ e sulla conducibilità termica, parametro del comportamento del materiale in relazione al calore.

Assuming the standards of the mandatory regulations for meeting the requirements of the new housing qualities (Lucarelli *et al.*, 2018), energy information on the materials/components of experimentation was considered when drawing up a "dynamic data sheet". The purpose of this sheet is to verify the environmental relations between buildings and their built environment, implementing the performance knowledge of materials and components with respect to the reference context. The innovation this tool brings, developed from the certain data of thermal conductivity⁴, returns the value of the envelope's CO₂ emissions as a tool to support environmental sustainability indicators ICE – European Common Indicators. This is achieved through a research pathway that defines a physical-mathematical procedure⁵ based on the thermal con-

ductivity parameters of materials and heat transfer properties (Fig. 2).

Starting from an initial application of the dynamic data sheet, the verification phase took place on a methodological and theoretical application level both in the national and international scene. At national level, by simulating the response in a competition notice⁶ as an evaluation tool within a multi-criteria analysis, and at international level, as a reference threshold in the European experiment E-COST in Portugal⁷. In relation to the criteria of environmental compatibility and energy efficiency, these applications characterise the following set of indicators: CO₂ Emissions, Surface Mass, Thermal Transmittance, Thermal Resistance, Phase Shift and Attenuation. The research focuses on CO₂ Emissions and Thermal Conductivity, an identifying parameter of material behaviour in relation to heat.

**Sperimentazione:
validazione del processo e
simulating come tecnologia
abilitante**

Le attività sperimentali e di testing si sono focalizzate sul funzionamento fisico-tecnico finalizzato all'efficienza energetica, impiegando strumentazioni di analisi termofisica e grafica per la valutazione delle prestazioni fluidodinamiche dei diversi assetti tecnici.

L'attività sperimentale e di testing è stata effettuata presso un laboratorio specializzato⁸ attraverso la cella di simulazione termodinamica per componenti sottoposti a stress caldo/freddo detta TEST CELL (Figg. 3, 4).

Il programma e ciclo dei test è stato effettuato secondo una procedura replicabile e sulla base degli standard normativi di riferimento⁹.

La sperimentazione avviene a partire dalla preparazione del campione e dal rilevamento di dati certi (conducibilità/conducibilità termica, trasmissione di calore) su n.1 provino sottoposto a temperature esterne opposte, caldo e freddo, monitorando il flusso termico che attraversa il componente. Quest'ultimo, da adottare anche negli interventi di recupero dell'ambiente costruito per il riallineamento prestazionale energetico e ambientale, è stato progettato sulla base di una delle soluzioni tecnologiche considerate nella fase di verifica prevedendo una posa

A livello sperimentale la validazione della scheda tecnica dinamica è stata effettuata successivamente tramite testing e procedure laboratoriali (Lucarelli

et al., 2021) su pacchetti già definiti in fase di verifica teorica, ora sviluppati nella pratica utilizzando le tecnologie abilitanti (Simulating and Horizontal/Vertical Integration by MISE, 2020).

La sperimentazione avviene a partire dalla preparazione del campione e dal rilevamento di dati certi (conducibilità/conducibilità termica, trasmissione di calore) su n.1 provino sottoposto a temperature esterne opposte, caldo e freddo, monitorando il flusso termico che attraversa il componente. Quest'ultimo, da adottare anche negli interventi di recupero dell'ambiente costruito per il riallineamento prestazionale energetico e ambientale, è stato progettato sulla base di una delle soluzioni tecnologiche considerate nella fase di verifica prevedendo una posa

hot/cold stress known as TEST CELL (Figs. 3, 4). The test programme and cycle were carried out according to a replicable procedure and based on reference regulatory standards⁹.

The experimentation starts with the preparation of the sample and the detection of certain data (conductivity/thermal conductivity, heat transmission) on no. 1 specimen subjected to opposite external temperatures, hot and cold, monitoring the thermal flow through the component. The latter, which is also to be adopted in interventions for the regeneration of the built environment for energy and environmental performance realignment, was designed on one of the technological solutions on which the verification was carried out, envisaging a dry installation. This element consists of an insulation panel (5 cm), a cavity (2.5

Experimentation: process validation and simulation as enabling technology

At the experimental level, the validation of the dynamic data sheet was carried out at a later stage through testing and laboratory procedures (Lucarelli *et al.*, 2021) on packages already defined in theoretical testing, now developed in practice using enabling technologies (Simulating and Horizontal/Vertical Integration by MISE, 2020).

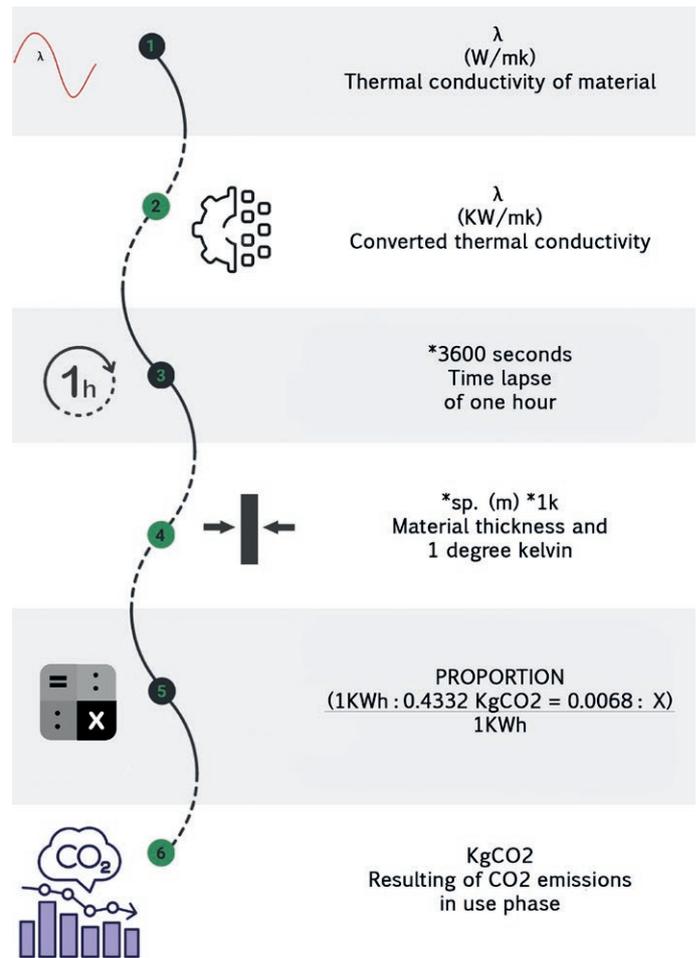
Experimental and testing activities focused on physical-technical operation aimed at energy efficiency, using thermo-physical and graphical analysis instrumentation to assess the fluid-dynamic performance of the various technical setups.

The experimental and testing activity was carried out at a specialised laboratory⁸ using the thermodynamic simulation cell for components subjected to

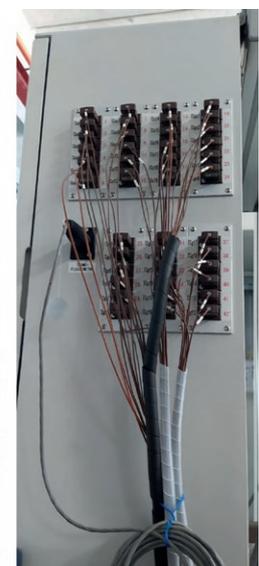
hot/cold stress known as TEST CELL (Figs. 3, 4).

The test programme and cycle were carried out according to a replicable procedure and based on reference regulatory standards⁹.

The experimentation starts with the preparation of the sample and the detection of certain data (conductivity/thermal conductivity, heat transmission) on no. 1 specimen subjected to opposite external temperatures, hot and cold, monitoring the thermal flow through the component. The latter, which is also to be adopted in interventions for the regeneration of the built environment for energy and environmental performance realignment, was designed on one of the technological solutions on which the verification was carried out, envisaging a dry installation. This element consists of an insulation panel (5 cm), a cavity (2.5



| 02



| 03

in opera a secco. Tale elemento è costituito da un pannello di coibente (5 cm); un'intercapedine (2,5cm); un pannello di fibre di legno (2 cm).

La lettura dei dati viene effettuata grazie all'utilizzo di termocoppie con applicazione del termoflussimetro sul lato freddo del campione tramite punti ben definiti e riportati in maniera ribaltata, rispetto al piano orizzontale, sul lato caldo. Il monitoraggio del provino, durato 7 ore, ed il salvataggio dei dati, sono stati effettuati con intervalli di 30 secondi rispettivamente al set point caldo pari a 20 °C e set point freddo pari a 0 °C e con una posizione del deflettore di aria del 60%.

A questa procedura standardizzata è stata affiancata quella di valutazione delle emissioni di CO₂, considerando i parametri sia della cella calda che fredda al fine di verificarne lo strumento e il comportamento del provino sottoposto a differenti ed estreme temperature (Fig. 5).

Osservando i grafici che mettono a confronto le temperature misurate da tutte le termocoppie sul campione, sia sul lato a stress caldo che su quello opposto, è evidente la condizione di partenza delle due temperature superficiali (tra i 12°C e i 13°C). Dopo la prima ora di test le temperature sui due lati raggiungono i target di riferimento (20°C e 0°C), rimanendo così costanti per le successive 6 ore di monitoraggio. Ad ogni termocoppia posta sul lato freddo ne corrisponde una sul lato caldo simulando due differenti condizioni climatiche.

Per semplificazione si riportano i dati inerenti la termocoppia centrale di riferimento (9cf), denominata per comodità Termocoppia A, con il rispettivo differenziale termico ΔT , dato importante per analizzare il comportamento del provino durante la trasmissione di calore (Tab. 1).

cm), and a wood fibre panel (2 cm). The data were read out by means of thermocouples with the heat flow meter applied to the cold side of the specimen by means of well defined points offset from the horizontal plane on the hot side. Specimen monitoring for 7 hours, and data saving were carried out with 30-second intervals at the hot set point of 20°C and the cold set point of 0°C, respectively, and with an air baffle position of 60%.

This standardised procedure was flanked by the evaluation of CO₂ emissions, considering both hot and cold cell parameters to verify the instrument and the behaviour of the specimen subjected to different and extreme temperatures (Fig. 5).

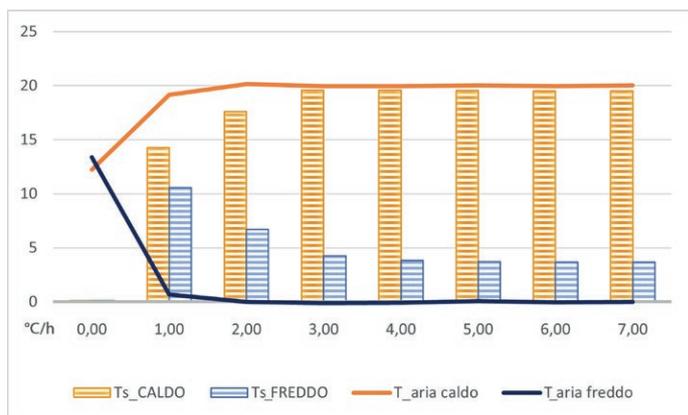
Looking at the graphs comparing the temperatures measured by all thermocouples on the sample, both on the hot stress side and on the opposite side,

the starting condition of the two surface temperatures (between 12°C and 13°C) is evident. After the first hour of testing, the temperatures on the two sides reach the reference targets (20°C and 0°C), and remain so for the next 6 hours of monitoring. It is important to note that each thermocouple on the cold side corresponds to one on the hot side, thus simulating two different climatic conditions.

For the sake of simplification, the data for the central reference thermocouple (9cf), called Thermocouple A for convenience, is given with the respective thermal differential ΔT , which is important for analysing the behaviour of the specimen during heat transfer (Tab. 1).

Results

The research returns both the “dynamic data sheet” tool and the development of a new procedure for analysing and



evaluating the energy performance of materials/components according to required standards.

The procedure, whether standardised or protocol-based, was conducted experimentally by stressing the specimen and processing the data obtained in the laboratory. Therefore, the data sheet developed and described above is applied, analysing the behaviour of the individual layers of the component for the purpose of calculating CO₂ emissions during the usage phase (Fig. 6).

The sheet in question shows that the

specimen considered, taken from the theoretical studies conducted and defined, has low CO₂ emissions and that the value is close to the theoretical application carried out in the verification phase, equal to 0.0041 kgCO₂. Therefore, the sheet is validated by laboratory experimentation and applicable for both the energy requalification of existing and new buildings in different reference contexts. The validation shows the possibility of integrating the enabling technologies (Simulation and Horizontal/Vertical Integration), implementing

Tab. 01 |

	SPECIMEN		
	HOT	COLD	ΔT
Thermocouple A	17,16	4,91	12,25

Risultati

La ricerca restituisce sia lo strumento della “scheda tecnica dinamica”, sia lo sviluppo di una nuova procedura di analisi e valutazione delle performance energetiche di materiali/componenti secondo apparati normativi richiesti.

L’iter procedurale, normato o protocollare, è stato condotto a livello sperimentale sollecitando il provino ed elaborando i dati ottenuti in laboratorio. Pertanto, si applica la scheda tecnica sviluppata e sopra descritta, analizzando il comportamento dei singoli strati del componente ai fini del calcolo delle emissioni di CO2 durante la fase di utilizzo (Fig. 6).

Dalla scheda in questione si evince che il provino considerato, assunto dagli studi teorici condotti e sopra definiti, ha basse emissioni di CO2 e che il valore è vicino all’applicazione teorica effettuata in fase di verifica, pari a 0.0041 KgCO2. Pertanto, la scheda risulta validata dalla sperimentazione in laboratorio e applicabile sia per la riqualificazione energetica dell’esistente che per le nuove costruzioni in differenti contesti di riferimento. La validazione dimostra la possibilità di integrare le tecnologie abilitanti (*Simulation and Horizontal/Vertical Integration*), implementando la procedura utilizzata dai software per sviluppare attività di *simulating* specifiche prima di arrivare in laboratorio a testare il provino. Il tool, agendo nell’ambito del *Simulation e Horizontal/Vertical Integration*, si pone al servizio dei processi di acquisizione delle informazioni utili ad incrementare le prestazioni oltre la soglia di accettabilità, per determinare nuovi comportamenti qualitativi dell’involucro e dell’ambiente costruito.

the procedure used by the software to develop specific simulating activities before arriving at the laboratory to test the specimen. Operating in the Simulation and Horizontal/Vertical Integration area, the tool serves processes that acquire useful information to enhance performance beyond the threshold of acceptability in order to determine new qualitative behaviours of both the envelope and the built environment.

Conclusions and possible future developments

The relationships between the issues investigated, the parameters and indicators of context influence, with respect to the energy behaviour of the envelope, constitute an innovative way of interpreting energy performance in relation to the built environment. The result’s original features determine the progress of scientific knowledge in

the sector, concerning the adequacy of the envelope and the appropriateness of its performance and technological potential.

The product of the research, which looks at the main recipients and responsible actors of the transformation and conservation actions of the built environment, becomes an informed and voluntary decision-supporting tool, which can be used in the different phases of the building process (planning/governance, design, construction, operation and maintenance). Therefore, there is a multidisciplinary involvement covering the processing, laboratory, and usage phase. Indeed, on the one hand, professionals can use the energy performance assessment sheet; on the other hand, public administrations can use it as an information tool to verify the impact and performance delivered ex ante/ex post design.

Specimen	N°	Layer	Thermal Conductivity W/mK
	1	Expanded polystyrene insulation by 5 cm	0,038
	2	Air gap by 2,5cm	0,150
	3	Wood panel cladding by 2cm	0,042

Expanded polystyrene insulation by 5 cm					
λ (W/mk)	λ (KW/mk)	*3600 seconds	*sp. (m) *1k	PROPORTION	KgCO2
0.038	0.000038	0.137	0.0068	$\frac{1KWh : 0.4332 KgCO2 = 0.0068 : X}{1KWh}$	0.0029

Wood panel cladding by 2cm					
λ (W/mk)	λ (KW/mk)	*3600 seconds	*sp. (m) *1k	PROPORTION	KgCO2
0.042	0.000042	0.1512	0.003	$\frac{1KWh : 0.4332 KgCO2 = 0.003 : X}{1KWh}$	0.0013

Results	
Total CO2 emissions of the specimen 0.0029 + 0.0013 = 0.0042 KgCO2	

The proposed result is configured as a tool that is shared, even simultaneously, by the different actors involved in the building process through the possibility of recording, consulting, and updating parameter sets at different scales of reading.

The research also provides a basis for the development of further scenarios aimed at obtaining more exhaustive information on the energy performance of materials/components, validating the use of enabling technologies. The latter make it possible to converge physical production (in this case the reference envelope and object of experimentation) and digital production (dynamic data sheet and laboratory wizard systems).

The implications for the construction industry become an opportunity for future developments, such as additional factors influencing the overall

energy performance of the building: time, durability, and ageing of materials; cost analysis and evaluation; material/component maintenance and management, its influence on building performance, cost, and overuse.

The replicability and large scale observation of the tool’s outcomes makes it possible to identify the minimum energy performance of the components and the best design alternatives based on the reference context.

ATTRIBUTIONS AND AWARDS

Introduction (F.C.; C.C.M.); State of the art (F.C.; C.C.M.); Methodology (F.C.; C.C.M.); Experimentation (F.C.; C.C.M.); Results (F.C.; C.C.M.); Conclusions (F.C.; C.C.M.).

F.C. is the winner of European Cooperation in Science and Technologies Grant CA16209 (30-05-2021/30-08-2021 – Polytechnic of Coimbra), 2022.

Conclusioni e possibili sviluppi futuri

Le relazioni fra le problematiche indagate, i parametri e gli indicatori di influenza del contesto, rispetto al comportamento energetico dell'involucro, costituiscono una modalità innovativa di lettura delle prestazioni energetiche in relazione all'ambiente costruito.

L'originalità del risultato determina l'avanzamento delle conoscenze scientifiche di settore nell'ambito dell'adeguatezza dell'involucro, dell'appropriatezza delle sue performance e del potenziale tecnologico.

Il prodotto della ricerca, che guarda ai principali destinatari, nonché attori responsabili delle azioni di trasformazione e conservazione dell'ambiente costruito, diventa uno strumento di supporto decisionale consapevole e volontario utilizzabile nelle diverse fasi del processo edilizio (programmazione/governance, progettazione, costruzione, gestione e manutenzione). Pertanto, esiste un coinvolgimento multidisciplinare che riguarda la fase di elaborazione, di laboratorio e di utilizzo: da un lato i professionisti possono utilizzare la scheda per la valutazione delle prestazioni energetiche; dall'altro, le pubbliche amministrazioni, come strumento di informazione per verificare gli impatti e le performance erogate *ex ante/ex post* progettazione.

Il tool proposto si configura come strumento condiviso, anche simultaneamente, dai diversi attori coinvolti nel processo edilizio attraverso la possibilità di registrazione, consultazione e aggiornamento dei set di parametri a differenti scale di lettura. La ricerca rappresenta, inoltre, una base per lo sviluppo di ulteriori scenari finalizzati all'ottenimento di una maggiore completezza delle informazioni sulle prestazioni energetiche dei materiali/componenti, validando l'utilizzo delle tecnologie abi-

C.C.M. is an expert in laboratory techniques for research in testing building façade elements.

NOTES

¹ The enabling technologies incorporated by MISE in the National Plan "Impresa 4.0" are Advanced manufacturing solutions (technologically advanced, interconnected and modular, flexible and high performance production systems); Additive manufacturing (production systems that increase the efficiency of material use); Augmented reality (use of augmented reality vision systems to support production processes); Simulation (simulation between intelligent and interconnected machines to increase productivity and optimise processes); Horizontal/Vertical Integration (integration of information and data between all areas of the production chain, from supplier to

end consumer); Industrial internet and IoT (multidirectional communication both internally and externally between elements of production through the Internet); Cloud (deployment and implementation of cloud computing and data management solutions on open systems); Cyber-security and business continuity (new security and data protection standards); Big data and analytics (analysis of large amounts of data to optimise production processes).

² Estimates of future CO₂ emissions from existing fossil fuel infrastructure already exceed the remaining net cumulative CO₂ emissions in pathways limiting warming to 1.5°C (with >50% probability) with no or limited overshoot³.

³ 2012/27/UE ("EED" Energy Efficiency Directive), revision of 2018, in which the EPBD and EED were amended by the Directive (UE

litanti. Queste ultime permettono di far convergere la produzione fisica (in questo caso l'involucro di riferimento e oggetto di sperimentazione) e quella digitale (scheda tecnica dinamica e sistemi *wizard* laboratoriali).

Le ricadute nel settore delle costruzioni diventano occasione di sviluppi futuri; basti pensare ad ulteriori fattori influenti sulla prestazione energetica globale dell'edificio, quali: il tempo, la durata e l'invecchiamento dei materiali; l'analisi e la valutazione dei costi; la manutenzione e gestione del materiale/componente e l'influenza che essa ha sulle prestazioni, sui costi e sull'iper-utilizzo dell'edificio. La replicabilità e l'osservazione su larga scala degli esiti dello strumento consente di individuare le prestazioni energetiche minime dei componenti e le migliori alternative progettuali in base al contesto di riferimento.

ATTRIBUZIONI E RICONOSCIMENTI

Introduzione (F.C.; C.C.M.), Stato dell'arte (F.C.; C.C.M.); Metodologia (F.C.; C.C.M.); Sperimentazione (F.C.; C.C.M.); Risultati (F.C.; C.C.M.); Conclusioni (F.C.; C.C.M.).

F.C. è vincitrice del Grant *European Cooperation in Science and Technologies* CA16209 (30-05-2021/30-08-2021 – Polytechnic of Coimbra), 2022.

C.C.M. è esperta in tecniche di laboratorio per la ricerca nel testing su elementi di facciata degli edifici.

NOTES

¹ Le tecnologie abilitanti recepite dal MISE nel Piano Nazionale "Impresa 4.0" sono *l'Advanced manufacturing solutions* (sistemi di produzione tecnologicamente avanzati, interconnessi e modulari, flessibili e performanti); *l'Additive manufacturing* (sistemi di produzione che aumentano l'efficienza

2018/844, which had to be transposed by 10 April 2020. The Commission also developed additions to the EPBD in December 2021 through comments and recommendations.

⁴ Specific property of each material that is defined as the "amount of heat transmitted through 1 m² of a material with a thickness of 1 metre for $\Delta T = 1$ K (1 Kelvin)";

⁵ Starting with the thermal conductivity of the individual materials, a conversion from W to KW is made for each value and multiplied by 3600 seconds (time interval of 1 hour). Based on the definition of thermal conductivity (UNI, 1994), the value is multiplied by $\Delta T = 1$ K (1 Kelvin) and the thickness. Finally, a proportion is defined to obtain the result of the calculation of CO₂ emissions during the usage phase.

⁶ Notice of Competition for the Re-development of Public Buildings,

concerning the works of executive design, renovation and adaptation of the compendium located in Via Marcello Boglione, Rome, 2014.

⁷ *European Cooperation in Science and Technologies* CA16209 (30-05-2021/30-08-2021 – Polytechnic of Coimbra), 2022.

⁸ The research was developed at the laboratory specialised in AAMA/ASTM and UNI EN tests and simulations on envelopes and façades.

⁹ EN ISO 6946 (Thermal conductivity of opaque walls in steady state); UNI 7891 (Determination of thermal conductivity using the heat flowmeter method); UNI EN 12664:2002 (Thermal performance of building materials and products - Determination of thermal resistance using the hot plate method with guard ring and the thermal mass flow meter method).

di utilizzo dei materiali); *l'Augmented reality* (utilizzo di sistemi di visione a realtà aumentata a supporto dei processi produttivi); la *Simulation* (simulazione tra macchine intelligenti e interconnesse per aumentare la produttività e ottimizzare i processi); *l'Horizontal/Vertical Integration* (integrazione di informazioni e dati tra tutte le aree della filiera produttiva); *l'Industrial internet e IoT* (comunicazione multidirezionale sia interna che esterna tra gli elementi della produzione attraverso internet); il *Cloud* (diffusione e implementazione di soluzioni di *cloud computing* e di gestione dei dati su sistemi aperti); il *Cyber-security e business continuity* (nuove norme di sicurezza e protezione dati); il *Big data and analytics* (analisi di grandi quantità di dati per ottimizzare i processi di produzione).

²Le stime delle future emissioni di CO₂ dalle infrastrutture esistenti di combustibili fossili superano già le rimanenti emissioni nette cumulative di CO₂ nei percorsi che limitano il riscaldamento a 1,5°C (con probabilità >50%) con *overshoot* nullo o limitato”.

³ 2012/27/UE “EED” *Energy Efficiency Directive*, rev. 2018 dove EPBD ed EED sono state modificate dalla Direttiva (UE) 2018/844, che doveva essere recepita entro il 10 aprile 2020. La Commissione nel 2021 ha, inoltre, sviluppato integrazioni alla EPBD con osservazioni e raccomandazioni.

⁴ Proprietà specifica di ciascun materiale che si definisce come la “quantità di calore trasmesso attraverso 1mq di un materiale avente spessore di 1m per un $\Delta T = 1K$ (1 Kelvin)”.

⁵ A partire dalla conducibilità termica dei singoli materiali si effettua una conversione da W a KW per ogni valore e si moltiplica per 3600 secondi (intervallo di tempo di 1 ora). Sulla base della definizione della conducibilità termica (UNI, 1994) si moltiplica il valore per $\Delta T = 1K$ (1 Kelvin) e per lo spessore. Infine, si effettua una proporzione per potere arrivare al risultato del calcolo delle emissioni di CO₂ durante la fase d'uso.

⁶ Bando di Concorso per la riqualificazione di edifici pubblici inerente i Lavori di progettazione esecutiva, ristrutturazione e adeguamento del compendio sito in Via Marcello Boglione a Roma, 2014.

⁷ *European Cooperation in Science and Technologies* CA16209 (30-05-2021/30-08-2021 – Polytechnic of Coimbra), 2022.

⁸ La ricerca è stata sviluppata presso il laboratorio specializzato in test e simulazioni AAMA/ASTM e UNI EN su involucri e facciate.

⁹ EN ISO 6946 (Conduzzanza termica di pareti opache in regime stazionario); UNI 7891 (Determinazione della conduttività termica con il metodo del termoflussimetro); 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 termo-flussimetro).

REFERENCES

Antonini, E., Boeri, A., Lauria, M. and Giglio, F. (2020), “Reversibility and Durability as Potential Indicators for Circular Building Technologies”, *Sustainability*, Vol. 12, pp. 1-14.

ARUP (2021), “Annual Report 2021 Creating Sustainable Futures”, ARUP Deutschland Publisher GmbH, available at: <https://www.arup.com/annual-report-2021> (accessed on 28/07/2022).

Brey, P. (2017), *The strategic role of technology in a good society: Technology in Society*, Elsevier Editor, London, UK.

Campioli, A. (2020), “Tecnologie e cultura del progetto nella società delle mangrovie”, in Perriccioli, M.; Rigillo, M.; Russo Ermolli, S. and Tucci, F.

(Ed.), *Il progetto nell'era digitale. Tecnologia, Natura, Cultura*. Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, pp. 68-70.

Ciampa, F. (2021), “Processi ibridi: l'integrazione tecnologica come attante del progetto d'architettura”, *Techne*, Vol. 21, pp. 249-255.

COM/2020/950 “Relazione 2020 sullo stato dell'Unione dell'energia in applicazione del regolamento (UE) 2018/1999 sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima”, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=COM:2020:950:FIN> (accessed on 25/07/2022)

European Agenda (2020), “N.U. Habitat III New Urban Agenda: Quito Declaration on Sustainable Cities and Human Settlements for All”, Habitat III Conf. Bruxelles.

Gunal, M.M. (2019), *Simulation for Industry 4.0: Past, Present, and Future*. Springer Nature, Switzerland.

IPCC (2022), “Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change”, available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (accessed on 28/07/2022).

ISPRA (2021), “Banca dati degli indicatori ambientali”, available at: <https://www.isprambiente.gov.it/it/amministrazione-trasparente/altri-contenuti/g8-open-data/>.

Lucarelli, M.T., Mussinelli E. and Daglio L. (2018), *Progettare resiliente*, Maggioli editore, Milano.

Lucarelli, M.T.; Milardi, M.; Mandaglio, M. and Musarella, C. C. (2021), “Controllo prestazionale del rapporto edificio-contesto. Esperienze di testing avanzato”, in Bologna, R.; Losasso, M.; Mussinelli, E. and Tucci, F. (Ed.), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico*, Maggioli Editore, Rimini, pp. 294-334.

Milardi, M. (2020), “Strategie di controllo termico adattivo su sistemi di involucro. Smartwall”, *Techne*, Vol. 20, pp. 314-318.

MISE – Ministero dello Sviluppo Economico (2020), “Piano Nazionale ‘Impresa 4.0’”. Available at: https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/guida_industria_40.pdf (accessed on 28/07/2022).

Murauskaite-Bull, I. and Caramizaru, E. (2021), “Energy taxation and its societal effects”, Publications Office of the European Union, Luxembourg, available at: 10.2760/223415 (accessed on 28/07/2022).

Pinto, M. R. (2019), *Coordinare le conoscenze per la manutenzione del patrimonio culturale/ Knowledge management for cultural heritage maintenance*. Napoli, CLEAN.

Pinto, M.R. and Viola, S. (2019), “Processi di rigenerazione per la decarbonizzazione dell'ambiente costruito. Progettualità in transizione: Parma, capitale italiana della cultura 2020”, *BDC*, Vol. 19, pp. 417-440.

UE (2021), “Regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021 che istituisce il dispositivo per la ripresa e la resilienza”, available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/241/oj> (accessed on 25/07/2022).

Viola, S. and Gehl, J. (2019), “Città per le persone”, *Techne*, Vol. 17, pp. 81-86.

Zaffagnini, M. (1981), *Progettare nel processo edilizio*, Parma Editore, Parma, IT.