

a cura di/edited by Alessandro Claudi de Saint Mihiel, <https://orcid.org/0000-0002-4466-0508>

L'open innovation per la competitività del settore edilizio

A. Claudi de St. Mihiel,

Responsabile della Rubrica Innovazione e sviluppo industriale

Nel quadro di una sempre più stretta collaborazione tecnico scientifica fra sistema industriale e università, l'*open innovation*¹ rappresenta un modello di gestione della conoscenza che descrive processi di innovazione caratterizzati dall'apertura verso l'esterno. Una sorta di "intelligenza collettiva" 2.0² (Claudi, 2018). Fin dai primi anni 2000 gli studi relativi all'*open innovation* hanno sempre intercettato in maniera più o meno marcata il dibattito sul rapporto tra innovazione e sostenibilità ambientale. Non sorprende quindi il fatto che già da diversi anni alcune aziende abbiano deciso di combinare tra loro i due modelli, dando vita alla *open green innovation*³.

La crescente complessità costitutiva dei fenomeni che interessano le trasformazioni dell'ambiente costruito si traduce nella necessità di affrontare la conoscenza della realtà fisica con il riferimento a condizioni operative multiscalarari e multidisciplinari attuate in base a una irrinunciabile integrazione dei saperi. Interventi di modificazione dell'ambiente costruito quindi che mirano alla progettazione integrata come superamento di una concezione lineare del processo progettuale e come capacità di prefigurare e verificare l'efficacia delle trasformazioni in progetti condotti contemporaneamente su più livelli e da più attori (Claudi and Musarella, 2016).

In tal senso un approccio integrato alla progettazione è fondamentale nella gestione di questioni complesse derivanti dalla progettazione di edifici ad alte prestazioni energetiche ed am-

bientali. Una progettazione energetica integrata che ha come obiettivo la minimizzazione dell'uso delle risorse energetiche ed ambientali richieste da un edificio per assolvere alle funzioni per cui è costruito o riqualificato e si attua attraverso l'adozione di un processo di progettazione olistico, multidisciplinare, collaborativo e che si estende lungo tutte le fasi del processo edilizio, dal concepimento dell'intervento alla sua realizzazione⁴. Si tratta di una sfida alla quale rispondere attraverso il perseguimento di linee strategiche imperniate su nuove forme di partenariato pubblico-privato, con la generazione di sinergie e alleanze e mediante la gestione di filiere verticali e orizzontali, con modelli organizzativi, produttivi e distributivi a entro i quali il progetto possa agire come motore creativo e propulsivo per il trasferimento, l'applicazione e la diffusione di innovazioni tecnologiche adeguate a una domanda emergente e continuamente mutevole. Le problematiche contemporanee legate alla scarsità di risorse energetiche, ai cambiamenti climatici globali e alle esigenze di benessere ambientale richiedono in prospettiva interventi e misure urgenti ed inderogabili sull'assetto energetico degli edifici e delle città, in grado di abbattere i consumi energetici e le emissioni gas serra, sviluppando risparmio, efficienza energetica e produzione di energia da fonti rinnovabili, stimolando nuova produzione, posti di lavoro, competitività e stili di vita ecosostenibili (Daniels, 2009). Rilevanti possibilità di riduzione del fabbisogno e di innovazione del modello energetico in architettura sono offerte dai sistemi di controllo intelligente domotico-telematico e di building management, dalla diffusione dell'impiego dei sistemi bioclimatici passivi, dall'uso dei sistemi attivi e di illuminazione ad alta efficienza, dalla riduzione dell'incidenza dell'energia nell'impiego di materiali, componenti e si-

Open innovation for the competitiveness of the construction sector

Open Innovation is a knowledge management model that describes innovation processes characterized by openness to the outside world. A sort of "collective intelligence" 2.0.

Since the early 2000s studies relating to Open Innovation have always intercepted in a more or less marked way the debate on the relationship between innovation and environmental sustainability. It is therefore not surprising that for some years now some companies have decided to combine the two models, giving life to what is now called open green innovation. The increasing constitutive complexity of phenomena that affect the transformations of the built environment results in the need to face the knowledge of physical reality with reference to multi-disciplinary and multi-graduated

operating conditions implemented on the basis of an inalienable integration of knowledge. This implies modification interventions on the built environment aiming at the integrated planning as an overcoming of a linear conception of the design process and as an ability to prefigure and verify the effectiveness of the transformations in projects carried out simultaneously on several levels and by several actors (Claudi and Musarella, 2016).

In that sense, Integrated Design is fundamental in the management of complex issues arising from the design of buildings with high energy and environmental performance. The Integrated Energy Design in buildings aims to minimize the use of energy and environmental resources required by a building to perform the functions it is built or redeveloped for and it is implemented through the adoption of

a holistic, multidisciplinary, collaborative design process, which extends along all the phases of the building process, from the conception of the intervention to its realization.

A challenge to be met through the pursuit of strategic lines based on new forms of public-private partnerships, with the generation of synergies and alliances and through the management of vertical and horizontal supply chains, with organizational, production and distribution models within which the project can act as a creative and propulsive engine for the transfer, application and dissemination of technological innovations fit to an emerging and constantly changing demand. The contemporary problems related to the scarcity of energy resources, to global climate change and to the needs of environmental wellbeing, require urgent and imperative inter-

ventions and measures on the energy structure of buildings and cities, able to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions, developing savings, energy efficiency and production of energy from renewable sources, stimulating new production, jobs, competitiveness and eco-sustainable lifestyles (Daniels, 2009). Significant possibilities for reducing the need and for innovation of the energy model in architecture are offered by the intelligent domotic-telematic control and building management systems, by the diffusion of the passive bioclimatic systems, using active and high lighting efficiency systems, by reducing the incidence of energy in the use of materials, components and technological systems. Central is the goal to move from the model of near zero energy building, to that of net zero energy building, to positive energy building, where the

stemi tecnologici. Centrale risulta essere l'obiettivo di passare dal modello di edificio ad energia quasi zero (nearly zero energy building), a quello di energia zero (net zero energy building), a quello di energia positiva (positive energy building), per i quali è strategico il ruolo integrato nell'architettura delle fonti energetiche rinnovabili (Tucci, 2017).

L'approccio progettuale legato all'efficienza energetica e all'impiego delle fonti rinnovabili costituisce per la Green Economy italiana un orientamento importante attraverso il quale dirigere le future costruzioni, stimolando un dialogo aperto tra i portatori d'interesse dell'industria edilizia e promuovendo la ricerca scientifica applicata, con il fine di offrire indicazioni per la progettazione di edifici, città e territori nell'ottica del contenimento dei consumi e del miglioramento della gestione e manutenzione (Boeri *et al.*, 2017).

Alla luce delle considerazioni fatte si può affermare che le attività e le prospettive di ricerca e sperimentazione progettuali delineate nel campo dell'innovazione aperta in riferimento all'efficienza energetica degli edifici, delle reti di edifici e dei territori, 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 il risparmio energetico, l'adattabilità e la resilienza dei sistemi urbani, nonché la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente e la nuova realizzazione di reti, infrastrutture, spazi pubblici, edifici smart.

Innovazione tecnologica che può e deve oggi contare sulla digitalizzazione dei processi produttivi che rappresentano non

integrated role in the architecture of renewable energy sources is strategic (Tucci, 2017).

The design approach linked to energy efficiency and to the use of renewable sources is an important orientation for the Italian Green Economy to direct future constructions, stimulating an open dialogue among the stakeholders of the building industry and promoting applied scientific research, with the aim of offering indications for the design of buildings, cities and territories with a view to reducing consumption and improving management and maintenance (Boeri *et al.*, 2017).

It can be stated that the activities and perspectives of research and design experimentation outlined in the field of open innovation in reference to the energy efficiency of buildings, networks of buildings and territories, can offer concrete answers in theoretical

terms and applications to current and future challenges, proceeding towards a vision of the project increasingly detached from technical specialisms and redirected towards its centrality, contributing significantly to respond to issues such as energy saving, adaptability and resilience of urban systems, the redevelopment of the existing building heritage and the new construction of networks, infrastructures, public spaces, smart buildings.

Technological innovation that can and must now rely on the digitalization of production processes that represent not only an opportunity for the economic growth of the country, but also and above all a change of epochal scope that cannot be evaded. In this sense, through Industry 4.0, technological, organizational and market-based innovations will arise.

Starting from the framework outlined,

solo un'opportunità per la crescita economica del Paese, ma soprattutto un cambiamento di portata epocale che non può essere eluso. In questo senso, attraverso Industria 4.0⁵ deriveranno innovazioni tecnologiche, organizzative e di approccio ai mercati.

A partire dal quadro delineato, questo numero della Rubrica è incentrato sul progetto di ricerca "nZEM – Progettazione di strutture abitative modulari e prefabbricabili zero energy". Nelle pagine seguenti, la prof.ssa Rosa Romano svilupperà alcuni ragionamenti inerenti la ricerca finanziata dalla Regione Toscana nell'ambito del POR CREO FESR 2014/2020.

Nuovi approcci collaborativi di matrice ambientale: il progetto nZEM

Rosa Romano, <https://orcid.org/0000-0001-5134-4637>

Dipartimento di Architettura dell'Università degli studi di Firenze.

La ricerca nZEM, *nearly Zero Energy Module*, è stata finanziata nell'ambito del Programma operativo (POR) del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) 2014-2020 della Toscana, ed ha avuto come obiettivo principale quello di stimolare le imprese coinvolte ad avviare processi di *Open Innovation* favorendo nuove possibilità di investimento, a livello locale, nazionale ed europeo, e promuovendo l'ottimizzazione di processo e prodotto come indicato dalle politiche di sviluppo industriale connesse ai dettami del *Circular Economy Action Plan* (European Commission, 2020) e del programma Industria 5.0 (Directorate General for Research and Innovation, 2022).

this issue of the column focuses on the research project "nZEM – Design of zero energy modular and prefabricated housing structures". In the following pages, Professor Rosa Romano will develop some reasoning regarding the research financed by the Tuscany Region as part of the POR CREO FESR 2014/2020.

New collaborative environmental approaches: the nZEM project

The nZEM (*Nearly Zero Energy Module*) research was financed within the framework of the Operational Programme (ROP) of the European Regional Development Fund (ERDF) 2014-2020 of Tuscany. Its main objective was to encourage the companies involved to start *Open Innovation* processes by supporting new investment opportunities at local, national and European level and promoting

process and product optimisation as indicated by the industrial development policies related to the dictates of the *Circular Economy Action Plan* (Directorate General for Communication (European Commission, 2020) and the Industry 5.0 programme (Directorate General for Research and Innovation, 2022).

For this reason, the project sought to provide an innovative response to the need to place zero-energy, prefabricated, easily assembled and customisable timber buildings on the market thanks to the use of BIM (*Building Information Modelling*) configurators and the integration of low environmental impact envelope and plant solutions.

Numerous studies show how, even in Italy, the timber construction sector is experiencing a positive trend with respect to which there is a growing demand for innovative products against

Per questo motivo, il progetto ha cercato di dare risposta in modo innovativo alla necessità di immettere sul mercato edifici in legno a energia zero, prefabbricabili, facilmente assemblabili e customizzabili grazie all'utilizzo di configuratori BIM (*Building Information Modelling*) ed all'integrazione di soluzioni di involucro e di impianto a basso impatto ambientale.

Numerosi studi dimostrano, infatti, come, anche in Italia, il settore delle costruzioni in legno segua un trend positivo rispetto al quale si registra una domanda crescente di prodotti innovativi rispetto ad un'offerta sempre più orientata a sviluppare sistemi edilizi di qualità, realizzati con materiali ecocompatibili, assemblati a secco, e pensati per essere totalmente reversibili a fine ciclo vita (Federlegno, 2023). Tendenza questa che conferma il successo di alcune sperimentazioni sviluppate a partire dal dopoguerra sino ai giorni nostri, tra le quali ricordiamo: la *Maison Prouvé* degli anni Cinquanta; la *WikiHouse* di A. Parvin e N. Ierodiacono del 2011; la *LEAP Home* realizzata da *Leap Factory* nel 2015; la *Wikkel House* di *Fiction Factor* costruita nel 2017; la *M.A.D.I. Home* brevettata da R. Vida nel 2017 e la *Minimal House* di Metro 7 del 2021. (Romano and Di Monte, 2023). In linea con questa tendenza la ricerca nZEM ha coinvolto 4 aziende Toscane (Lam Ambiente, Vigiani s.r.l., Vetreria Vitrum s.r.l. e Verdiani&Linari s.r.l.) ed il Dipartimento di Architettura (DIDA) dell'Università di Firenze, che hanno lavorato in sinergia, nel corso di circa un anno e mezzo, per sviluppare un'unità modulare abitativa *nearly zero energy* realizzata con un sistema costruttivo in platform frame, adattabile a diverse destinazioni d'uso, esigenze funzionali e localizzazioni spaziali.

L'idea alla base di nZEM è stata quella di dimostrare come sia possibile innovare il settore delle costruzioni in legno propo-

an offer that is increasingly geared towards developing quality building systems made of environmentally friendly materials, dry-assembled, and designed to be totally reversible at the end of their life cycle (Federlegno, 2023). This trend confirms the success of several experiments developed from the post-war period up to the present day, including the *Maison Prouvé* of the 1950s, the *WikiHouse* by A. Parvin and N. Ierodiacono in 2011, the *LEAP Home* built by *Leap Factory* in 2015, the *Wikkel House* by *Fiction Factor* constructed in 2017, the *M.A.D.I. Home* patented by R. Vida in 2017, and the *Minimal House* by Metro 7 in 2021. (Romano and Di Monte, 2023).

In line with this trend, the nZEM research involved 4 Tuscan companies (Lam Ambiente, Vigiani s.r.l., Vetreria Vitrum s.r.l. and Verdiani&Linari s.r.l.) and the Department of Architecture

(DIDA) of the University of Florence, which worked in synergy for around a year and a half to develop a modular *nearly zero-energy* housing unit built with a platform frame construction system, adaptable to different uses, functional requirements and spatial locations.

The idea behind nZEM was to demonstrate how innovation can occur in the timber construction sector by proposing an easily assembled housing system with high energy-environmental performance, built using:

- innovative materials, such as reflective insulation, which is capable of reducing the thickness and weight of opaque infill walls while increasing the thermo-hygrometric performance throughout the year;
- smart windows to adaptively filter the thermal and light component of incident solar energy, transforming

nendo un sistema abitativo facilmente assemblabile con elevate prestazioni energetico-ambientali, realizzato utilizzando:

- materiali innovativi, come gli isolanti riflettenti, in grado di ridurre lo spessore ed il peso dei tamponamenti opachi, aumentando al contempo le prestazioni termoisolometriche durante tutto l'arco dell'anno;
- *smart windows*, per filtrare in modo adattivo la componente termica e luminosa dell'energia solare incidente, trasformandola in energia elettrica e termica;
- sistemi impiantistici altamente efficienti per la produzione di energia rinnovabile, così da rendere l'unità abitativa *stand-alone*;
- soluzioni di gestione e controllo avanzate, in modo da monitorare e regolare in tempo reale i consumi energetici dell'edificio e gestirne la manutenzione nel tempo.

Inoltre, in linea con i principi del POR FESR Toscana, il progetto ha voluto valorizzare il *know-how* delle imprese coinvolte portandole a sperimentare in un settore, quello delle costruzioni in legno, nel quale operano da tempo.

In tal senso è importante ricordare come: Lam Ambiente vanta una lunga esperienza nella costruzione di edifici prefabbricati realizzati in platform frame e X-lam; Vetreria Vitrum s.r.l. e Vigiani s.r.l., si occupano ormai da anni di realizzare sistemi finestrati ad alte prestazioni; Verdiani&Linari s.r.l. è specializzata nella messa in opera di soluzioni impiantistiche intelligenti connesse alla presenza di sistemi BMS (*Building Management System*) e domotici, in grado di gestire in modo adattivo il comfort indoor ed i consumi energetici globali dell'edificio.

Partendo da questo *background*, il gruppo di aziende coinvolte, coordinate dal punto di vista amministrativo da BRT consulting,

into electrical and thermal energy;

- highly efficient plant systems for the production of renewable energy, making the housing unit stand-alone;
- advanced management and control solutions to monitor and regulate the building's energy consumption in real-time and manage its maintenance over time.

Moreover, in line with the principles of the Tuscany ROP ERDF, the project sought to enhance the know-how of the companies involved by having them experiment in the timber construction sector in which they have been operating for some time.

In this sense, it is important to remember that: Lam Ambiente has a long track record in the construction of prefabricated buildings made of platform frame and CLT; Vetreria Vitrum s.r.l. and Vigiani s.r.l. have worked for years

in the production of high-performance window systems; Verdiani&Linari s.r.l. is specialises in the installation of smart plant engineering solutions linked to BMS (*Building Management System*) and home automation systems capable of adaptively managing indoor comfort and the building's global energy consumption.

With this background as a starting point, the group of companies involved undertook to develop the following Operational Objectives (O.O.), which led to the creation of the final nZEM prototype, currently located in the Lam Ambiente factory:

- The first phase of the research (O.O.1), coordinated by DIDA, was aimed at managing the project and all activities of disseminating its results. One of the sub-activities of this Operational Objective was also to study and optimise the produc-

si è impegnato a sviluppare i seguenti Obiettivi Operativi (O.O.) che hanno portato alla realizzazione del prototipo finale nZEM, attualmente collocato nello stabilimento di Lam Ambiente:

- La prima fase della ricerca (O.O.1), coordinata dal DIDA, è stata finalizzata alla gestione del progetto e di tutte le attività inerenti la diffusione dei suoi risultati. Una delle sub attività di questo Obiettivo Operativo è stata, inoltre, finalizzata a studiare e ottimizzare i processi produttivi delle aziende coinvolte utilizzando dei sistemi BIM, con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale delle fasi realizzative (dall'assemblaggio in fabbrica, al trasporto e montaggio in cantiere) della nuova unità modulare nZEM e di comprendere come integrare strumenti di controllo digitale nelle fasi di progettazione, realizzazione, messa in opera e gestione dei suoi sottocomponenti.
- Nell'ambito dell'O.O.2, Vetreria Vitrum s.r.l. e Linari s.r.l. si sono occupati della progettazione, validazione e realizzazione del sistema finestrato, sviluppato per permettere sia l'ingresso della luce zenitale all'interno dell'unità abitativa che la produzione di energia elettrica ed acqua calda sanitaria.
- La terza fase del progetto di ricerca (O.O.3), condotta da Verdiani&Linari s.r.l., è stata focalizzata sull'ideazione del sistema domotico a servizio del modulo nZEM, realizzato per essere integrato con sensori di temperatura gestibili da remoto così da monitorare in tempo reale il comfort indoor e le prestazioni energetiche delle soluzioni di involucro e di impianto integrate.
- Nella quarta fase (O.O.4), infine, Lam Ambiente si è occupata di gestire la realizzazione del prototipo in platform

frame dell'unità elementare nZEM, costruita assemblando le soluzioni tecnologiche ottenute nell'ambito degli Obiettivi Operativi precedenti. Si tratta di un sistema modulare di 16,00 mq, costituito da 2 moduli base (di 8,00 mq ciascuno) affiancati orizzontalmente, fabbricati assemblando una sottostruttura in montanti e traversi di legno massello posizionati ad una distanza di 50 cm l'uno dall'altro e tamponati con in isolanti in lana di roccia e con materiali riflettenti. Gli ambienti interni del prototipo ospitano la cella impianti e sono climatizzati mediante una pompa di calore (d'estate) ed una serpentina elettrica a pavimento (d'inverno), alimentate entrambe dall'impianto fotovoltaico integrato sulle falde di copertura e nella finestra intelligente.

Tutte le fasi di lavoro sono state caratterizzate da uno scambio continuo di conoscenze ed informazioni tra le aziende coinvolte ed il gruppo di ricerca del DIDA. Sinergia questa che ha permesso di ottimizzare e migliorare le soluzioni adottate, validandole *step by step* mediante l'analisi di modelli virtuali e di misurazioni raccolte in ambiente reale nella fase di monitoraggio.

È interessante notare, che lo spirito di collaborazione creatosi nel corso dell'esperienza progettuale, ha portato il gruppo di lavoro a intraprendere un percorso comune di crescita e collaborazione, culminato nella decisione di finanziare un nuovo progetto, INNOWOOD, finalizzato a continuare il monitoraggio avviato nella fase finale della ricerca nZEM ed a redigere nuovi progetti per partecipare ad altri bandi di finanziamento nazionali ed internazionali, inerenti la sostenibilità ambientale e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative realizzate con sistemi costruttivi in platform frame.

tion processes of the companies involved in using BIM systems to reduce the environmental impact of the construction phases (from assembly in the factory to transport and on-site construction) of the new nZEM modular unit and understanding how to integrate digital control tools into the design, implementation, installation and management phases of its sub-components.

- As part of O.O.2, Vetreria Vitrum s.r.l. and Linari s.r.l. dealt with the design, validation, and implementation of the window system, which was developed to allow both the entry of overhead light into the interior of the housing unit and the production of electricity and domestic hot water.
- The third phase of the research project (O.O.3), carried out by Verdiani&Linari s.r.l., focused on

the design of the home automation system for the nZEM module. This system is designed to be integrated with temperature sensors that can be managed remotely so that the indoor comfort and energy performance of the integrated envelope and system solutions can be monitored in real-time.

- Finally, in the fourth phase (O.O.4), Lam Ambiente was in charge of managing the implementation of the platform frame prototype of the nZEM elementary unit, which was built by assembling the technological solutions obtained under the previous Operational Objectives. The modular system measures 16.00 m² and consists of 2 basic modules (8.00 m² each) placed side by side horizontally, manufactured by assembling a substructure of solid wood uprights and cross-beams

positioned at a distance of 50 cm from each other and filled with rock wool insulation and reflective materials. The interior spaces of the prototype house the plant cell and are air-conditioned by a heat pump (in summer) and an electric floor coil (in winter), powered by the photovoltaic system integrated into the roof slopes and in the smart window. All the work phases involved a continuous exchange of knowledge and information between the companies and the DIDA research team. This synergy made it possible to optimise and improve the solutions adopted, validating them step-by-step through the analysis of virtual models and measurements taken in the actual environment during the monitoring phase. It is interesting to note that the spirit of cooperation created during the project experience led the working group to

embark on a common path of growth and collaboration, culminating in the decision to fund a new project, INNOWOOD, aimed at continuing the monitoring started in the final phase of the nZEM research and drawing up new projects to participate in other national and international calls for funding relating to environmental sustainability and the development of innovative technological solutions using platform frame construction systems. Niccolò Tizzanini, the nZEM contact person for LAM Ambiente, when interviewed on what led him to support this new phase of work, stated that thanks to the activity carried out as part of the ROP ERDF project, his company was able to test new insulation and plant technology solutions that can also be used in other prefabricated housing systems, analysing how it is possible to reduce the weight

Niccolò Tizzanini, referente di nZEM per LAM Ambiente, intervistato sulle motivazioni che lo hanno portato a supportare questa nuova fase di lavoro ci ricorda che grazie all'attività intrapresa nell'ambito del progetto POR FESR la sua azienda ha potuto sperimentare nuove soluzioni tecnologiche di isolamento e di impianto utilizzabili anche in altri sistemi abitativi prefabbricati, analizzando come sia possibile ridurre il peso degli elementi di tamponamento opaco senza pregiudicarne le prestazioni di conducibilità ed inerzia termica. Per un'azienda come LAM Ambiente, da sempre attenta ai temi inerenti l'innovazione di processo e di prodotto, poter testare nuove forme di prefabbricazione controllabili attraverso sistemi BIM e BMS è risultato, inoltre, fondamentale, per ridurre tempi e costi di realizzazione e di messa in opera delle lavorazioni. Inoltre, la ricerca ha permesso all'azienda di validare la sostenibilità ambientale delle soluzioni proposte, analizzando i risultati raggiungibili dal nuovo sistema abitativo in termini di ciclo di vita e reversibilità delle soluzioni adottate. Non a caso, il modulo nZEM, come altri sistemi abitativi realizzati da LAM Ambiente, è stato costruito utilizzando prevalentemente materiali certificati CAM (Criteri Ambientali Minimi), prestando attenzione a scegliere: isolanti contenenti una percentuale di materiale riciclato compresa tra il 15% ed il 60%; sistemi impiantistici certificati in termini di rendimento; freni al vapore, membrane traspiranti e materiali di riempimento e finitura realizzati con materie prime-seconde o componenti ecocompatibili, assemblabili a secco, così da garantirne la totale riciclabilità e atossicità del sistema. Anche, per Tiberio Gazzei, referente per la Vetreria Vitrum S.r.l., l'esperienza avviata con il progetto nZEM è da considerarsi positiva, perché ha permesso al suo gruppo di lavoro di proto-

of the opaque infill elements without compromising their conductivity and thermal inertia performance. For a company like LAM Ambiente, which has always been attentive to process and product innovation issues, being able to test new forms of prefabrication that can be controlled through BIM and BMS systems was also fundamental in order to reduce the production and installation times and costs. Moreover, the research allowed the company to validate the environmental sustainability of the proposed solutions, analysing the achievable results of the new housing system in terms of life cycle and the reversibility of the adopted solutions. It is no coincidence that the nZEM module, like other housing systems designed by LAM Ambiente, was built mainly using CAM (Minimum Environmental Criteria) certified materials, taking

care to choose: insulation containing a percentage of recycled material between 15% and 60%; plant systems with certified performance; steam brakes, breathable membranes and filling and finishing materials made from environmentally friendly secondary raw materials or components that can be dry-assembled to ensure that the system is recyclable and non-toxic.

For Tiberio Gazzei, contact person for Vetreria Vitrum S.r.l., the experience initiated with the nZEM project is also to be regarded as positive as it enabled his team to prototype and test innovative transparent infilling systems designed to produce renewable energy, continuing a tradition of experimentation characteristic of the company's entrepreneurial spirit since it was founded. In line with the project's objectives, Vetreria Vitrum S.r.l. has always paid great attention

tipare e testare innovativi sistemi di tamponamento trasparente progettati per produrre energia rinnovabile, continuando una tradizione di sperimentazione che connota lo spirito imprenditoriale dell'azienda dalla sua fondazione. In linea, con gli obiettivi del progetto, Vetreria Vitrum S.r.l., infatti, presta da sempre molta attenzione ai temi della sostenibilità ambientale, cercando di ottimizzare e ridurre l'impatto delle lavorazioni del vetro, che già di per sé può essere considerato un materiale ecologico e facilmente riciclabile. Come precedentemente ricordato, nell'ambito della ricerca nZEM, Vetreria Vitrum S.r.l. si è occupata insieme a Vigiani Serramenti S.r.l. di progettare e realizzare la smart window integrata nella copertura in platform frame del modulo abitativo, costituita da due elementi di tamponamento, uno opaco (nel quale sono state integrate celle fotovoltaiche e serpentine in rame per la produzioni di energia elettrica e acqua calda sanitaria) e uno trasparente (tamponato con tre lastre di vetro basso emissivo alternate ad intercapedini riempite di argon).

Stefano Vigiani, di Vigiani Serramenti s.r.l., ribadisce l'entusiasmo per la partecipazione al progetto nZEM manifestata dagli altri imprenditori del consorzio, sottolineando come l'interazione con l'Università di Firenze abbia permesso anche alla sua azienda di approfondire la conoscenza di strumenti e metodi per approcciarsi in modo innovativo al tema della sostenibilità ambientale, e sperimentare soluzioni e processi costruttivi che potranno essere replicati nella realizzazione di altri componenti finestrati. La produzione di telai e serramenti ad alte prestazioni energetiche, capaci di contenere tamponamenti trasparenti e opachi multilayer assemblati a secco, richiede, infatti, anche ad imprese di medie dimensioni come la Vigiani Serramenti s.r.l.

to environmental sustainability issues, seeking to optimise and reduce the impact of glass processing, which can be considered an environmentally friendly and easily recyclable material. As previously mentioned, within the framework of the nZEM research project, Vetreria Vitrum S.r.l., together with Vigiani Serramenti S.r.l., designed and built the smart window integrated into the platform frame roof of the housing module, consisting of two infill elements, one opaque (into which photovoltaic cells and copper coils were incorporated for the production of electricity and domestic hot water) and one transparent (infilled with three sheets of low-emissivity glass alternating with argon-filled cavities). Stefano Vigiani, from Vigiani Serramenti s.r.l., reiterated the enthusiasm for participation in the nZEM project of the other entrepreneurs in the con-

sortium, emphasising how interaction with the University of Florence also enabled his company to deepen its knowledge of tools and methods with which to approach the issue of environmental sustainability in an innovative way and to experiment with construction solutions and processes that can be replicated in the creation of other window components. The production of frames, doors and windows with high energy performance, capable of containing transparent and opaque multilayer dry-assembled infills, also requires medium-sized companies such as Vigiani Serramenti s.r.l. to continually innovate their production processes, moving from an artisan approach to one-based on a file-to-factory modus operandi, for which it is essential to be able to manage the complete customisation of components, also through the use of

di innovare continuamente i processi di produzione, passando da un approccio di matrice artigianale ad uno improntato alla dimensione *file to factory*, rispetto alla quale è fondamentale poter gestire la customizzazione completa della componentistica, anche attraverso l'utilizzo di modelli virtuali BIM. La digitalizzazione del processo progettuale permette, inoltre, di accelerare la fase realizzativa, grazie alla possibilità di inviare in tempo reale i dati di input a macchine a taglio numerico sempre più sofisticate, in grado di realizzare elementi su misura, riducendo sfridi e scarti della filiera produttiva, con ricadute positive sia dal punto di vista della sostenibilità ambientale che di quella economica.

In linea con quanto dichiarato dai colleghi, Pierluigi Verdiani di Verdiani&Linari s.r.l., sottolinea, infine, come la scelta di continuare la collaborazione con il gruppo di lavoro nell'ambito del progetto INNOWOOD sia stata determinata dagli ottimi risultati raggiunti nell'esperienza precedente, misurabili in termini di trasferimento attivo della conoscenza tra attori diversi operanti nel settore delle costruzioni. La sua azienda, che può contare su un'esperienza decennale nella realizzazione di impianti di monitoraggio e per la produzione di energia rinnovabile, ritiene, infatti, fondamentale specializzarsi sempre di più nella progettazione e messa in opera di sistemi *tailor made* come quelli integrati nel prototipo nZEM, acquisendo nuove competenze in relazione alle tecnologie IoT (*Internet of Things*), che permettano di offrire nuovi servizi di gestione inerenti la manutenzione continua dell'intero corpo di fabbrica.

Le testimonianze raccolte dalle imprese coinvolte nei progetti nZEM e INNOWOOD dimostrano come la possibilità di condurre esperienze di ricerca applicata, sviluppate in sinergia tra

il settore industriale e quello universitario, siano fondamentali per promuovere processi di innovazione reali che rispondano in modo pragmatico agli obiettivi di transizione ecologica e digitale, che sono alla base dei programmi *New European Bauhaus* e *Horizon Europe*. Inoltre, è importante ricordare come la recente revisione della EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) richieda un enorme sforzo da parte di tutti gli attori coinvolti nel settore delle costruzioni per raggiungere realmente gli obiettivi di decarbonizzazione previsti per il 2050 e contrastare gli effetti del cambiamento climatico. L'esperienza condotta dalle quattro SMEs (*Small and Medium Enterprises*) toscane, descritta in queste pagine, può, infine, considerarsi un esempio virtuoso di sinergia che dimostra come sia possibile promuovere l'adozione di modelli di sviluppo economico e *asset* aziendale rispetto ai quali la collaborazione e lo scambio di conoscenze tra vari attori e specialismi può contribuire realmente a ideare nuovi modelli, strumenti e soluzioni *carbon zero* applicabili sia al settore delle nuove costruzioni che a quello delle riqualificazioni, in risposta alle richieste di un mercato che dovrà prestare sempre più attenzione ai temi della sostenibilità ambientale applicata alle varie scale dell'ambiente costruito.

NOTE

¹ Nel moltiplicarsi e nell'intrecciarsi delle tecnologie emergenti si è venuto a declinare un modello alternativo a quello della *closed innovation*. Agli schemi organizzativi dell'impresa che fonda le sue potenzialità innovative su una capacità di R&S autonoma ed autosufficiente, si sono sostituiti modelli di *open innovation* capaci di assimilare ed integrare pezzi sempre più complessi di conoscenza e di innovazione provenienti da fonti esterne (Chesbrough, 2003).

BIM virtual models. The digitisation of the design process also makes it possible to speed up the production phase thanks to the possibility of sending input data in real-time to increasingly sophisticated numerically controlled cutting machines capable of producing customised elements, reducing waste and scraps in the production chain, with positive repercussions in terms of both environmental and economic sustainability.

Finally, in line with what was said by his colleagues, Pierluigi Verdiani from Verdiani&Linari s.r.l. emphasised that the decision to continue collaborating with the INNOWOOD project team was determined by the excellent results achieved in the previous experience, which can be measured in terms of active knowledge transfer between the different players operating in the construction sector. His company,

which can count on decades of experience in the implementation of monitoring systems and renewable energy production, believes it is essential to specialise more and more in the design and installation of tailor-made systems such as those integrated into the nZEM prototype, acquiring new skills concerning IoT (Internet of Things) technologies, which will enable it to offer new management services for the continuous maintenance of the entire building.

The testimonies collected from the companies involved in the nZEM and INNOWOOD projects demonstrate how the possibility of conducting applied research experiences, developed in synergy between the industrial and university sectors, is fundamental to promoting real innovation processes that pragmatically meet the ecological and digital transition objectives at the

heart of the *New European Bauhaus* and *Horizon Europe* programmes. Furthermore, it is important to remember that the recent revision of the EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) requires enormous effort from all the construction sector players to achieve the decarbonisation targets set for 2050 and counteract the effects of climate change.

Finally, the experience of the four Tuscan SMEs (*Small and Medium Enterprises*) described in these pages can be considered a virtuous example of a synergy that demonstrates how it is possible to promote the adoption of economic development and business asset models in which collaboration and the exchange of knowledge between various players and specialisations can contribute to devising new models, tools and carbon-neutral solutions applicable to both the new con-

struction and redevelopment sectors, in response to the demands of a market that will have to pay increasing attention to environmental sustainability issues applied to the various scales of the built environment.

² L'intelligenza collettiva è un concetto elaborato da Pierre Lévy nel 1994. Secondo il filosofo francese la condivisione del sapere, l'apprendimento cooperativo, i processi aperti di collaborazione danno vita all'idea di "intelligenza collettiva", ossia una forma di intelligenza distribuita ovunque, continuamente valorizzata, coordinata in tempo reale, che porta ad una mobilitazione effettiva delle competenze.

³ Secondo uno studio del MIT del 2012 su oltre 3000 aziende in 113 paesi, si è rilevato che la maggior parte delle imprese riesce a coniugare i propri obiettivi di sostenibilità al profitto solo cambiando il proprio modello di business.

⁴ Nordby, A.S. e Jørgensen, P.F., Documento: "Guida alla Progettazione Integrata Linee guide per l'implementazione di un processo di Progettazione integrata per edifici ad alte prestazioni energetiche ed ambientali", (trad. it. Cralucci S.). Progetto MaTrID (Market Transformation Towards Nearly Zero Energy Buildings Through Widespread Use of Integrated Energy Design) – www.integrateddesign.eu – Partner italiani del Progetto: eERG – Gruppo di Ricerca sull'Efficienza Energetica negli Usi Finali del Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano (Responsabili L. Pagliano, S. Carlucci).

⁵ La rivoluzione industriale digitale dell'Industria 4.0 favorisce la diffusione dell'innovazione delle nuove tecnologie digitali e non digitali, attraverso l'adozione di forme di *open innovation* con le startup e l'ecosistema dell'innovazione, dove l'attività di Ricerca Sviluppo e Innovazione (R&S&I) gestita in una logica *buy* piuttosto che *make* si farà sempre più spinta.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank all the companies involved in the research activities, that also financed the research INWOOD: LAM Ambiente (<https://www.lamambiente.it/>); Vigiani S.r.l. (<https://www.vigiani.com/>); Vetreria Vitrum (<https://www.vetrieriavitrum.it/>); Verdiani & Linari S.r.l. (<https://www.verdianielinari.it/>); BRT Consulting (<https://brt-consulting.it/>).

REFERENCES

Boeri, A., Battisti, A., Asdrubali, F. and Sala, M. (2017), "Approccio progettuale, efficienza energetica, bioclimatica e fonti rinnovabili negli edifici, nelle città, nei territori", in Antonini, E.; Tucci, F., (a cura di), *Architettura, città e territorio verso la Green Economy*, Edizioni Ambiente, San Giuliano Milanese.

Chesbrough H.W. (2003), *The Era of Open Innovation*, Mit Sloan Management Review, Spring.

Claudi de Saint Mihiel, A. (2014), "Distretti tecnologici per la valorizzazione dei livelli di competitività e innovazione nel settore delle costruzioni. Il progetto di ricerca Smart Case", *Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 8, pp. 281-283.

Claudi de Saint Mihiel, A. (2018), "Open Green Innovation. L'intelligenza collettiva per architetture a zero energia", in Claudie de Saint Mihiel A. and Falotico A. (Eds.), *Verso la Open Green Innovation. Cultura tecnologica e nuovi driver del progetto contemporaneo*, Maggioli editore, Sant'Arcangelo di Romagna.

Claudi de Saint Mihiel, A. and Musarella, C.C. (2016), "Efficienza ed efficientamento energetico", in Lucarelli, M.T., Mussinelli, E. and Trombetta, C. (Eds.), *La Tecnologia dell'architettura in rete per l'innovazione*, Maggioli editore, Sant'Arcangelo di Romagna.

Daniels, K. (2009), *Energy Design for Tomorrow*, Axel Menges, Kornwestheim.

Directorate-General for Research and Innovation (2022), "Industry 5.0, a transformative vision for Europe". Available at: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-transformative-vision-europe_en (Accessed on 28/05/2024).

European Commission (2020), "Circular economy action plan". Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/45cc30f6-cd57-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-170854112> (Accessed on 28/05/2024).

Federlegno (2023), "8° Rapporto Edilizia in Legno", Available at: <https://www.federlegnoarredo.it/it/associazioni/assolegno/attivita-e-servizi-per-i-soci/analisi-di-mercato/8-rapporto-edilizia-in-legno> (Accessed on 28/05/2024).

Romano, R. and Di Monte, E. (2023), "Nearly Zero Energy Modules – Low-impact modular housing models for the city of the future", *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, Vol. 14, pp. 250–263. Available at: doi: 10.19229/2464-9309/14212023.

Tucci, F. (2017), "Migliorare la capacità di resilienza e di mitigazione climatica dell'ambiente costruito", in Antonini E. and Tucci F., (Eds.), *Architettura, città e territorio verso la Green Economy*, Edizioni Ambiente, San Giuliano Milanese.