

RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

PROXIMA. From construction to innovation of the building-user relationship

Andrea Tartaglia¹, Joseph di Pasquale², Gianpaolo Saverio Cugola³

¹ Dipartimento di Scienze Umanistiche, Università di Catania, Italia

² Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

³ Dipartimento di Elettronica Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano, Italia

Primary Contact: Andrea Tartaglia, andrea.tartaglia@polimi.it

This article has been accepted for publication and undergone full peer review but has not been through the copyediting, typesetting, pagination and proofreading process, which may lead to differences between this version and the Version of Record.

Published: May 26, 2025
DOI: 10.36253/techne-17410

Abstract

The aim of the research was the implementation of a university patent (Proxima modular hybrid construction system) from level 2 “Technology concept formulated” to level 6 “Technology demonstrated in relevant environment” of the Technology Readiness Level (TRL) scale, through the development of a working prototype. The collaboration with a network of companies set up specifically for this purpose gave the opportunity to establish and develop a new production chain, transferring updated theoretical and methodological knowledge to operators in the construction sector, with the aim of improving the ability to respond quantitatively and qualitatively to the demand for living and working spaces/services, to mitigate the environmental impacts associated with urbanization and to adapt the techno-typological models to the new paradigms of living.

Keywords: Building sustainability; Technology transfer; Production chain; Human-building system; Technological design.

Please cite this article as: Tartaglia A., di Pasquale J., Cugola G. S. (2025) PROXIMA. From construction to innovation of the building-user relationship / PROXIMA. Dalla costruzione all'innovazione del rapporto edificio utente. *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, Just Accepted.

The context of the research

Already in the 1990s, sociologist Henry Etzkowitz (1993) had identified the interaction between university research, industry, and the world of public administration as the fundamental element for the development of innovation not only in a technological, but also social and economic key, codifying it as the triple helix model. In Italy, this need for interaction, today formalized in the term "third mission" of the university, is also reflected in multiple financial support tools: among these is the Boostech¹ valorisation program that has allowed the implementation of a university patent (PROXIMA² modular hybrid construction system) from the TRL 2 "Technology concept formulated" level to the TRL 6 "Technology demonstrated in relevant environment" level of the Technology Readiness Level (TRL), through the development of a working prototype (Proof of Concept - PoC). Also providing the opportunity to establish and develop a new production chain and a collaborative and proactive model between the various companies involved in the chain itself.

The patent was part of a broader research activity aimed at techno-typological and construction/production models innovation in the construction sector, to contain environmental impacts, to reduce the times and inefficiencies of new construction and adaptation/regeneration/maintenance processes of buildings, and to improve the quality of housing services. Innovation needs expressed by users and building managers, known for some time (JCHS, 2015), to which the construction sector is still unable to provide systemic answers. Although the world of prefabrication (AA.VV. 2011; Innella et al., 2019; Bruni, 2020) has proposed innovative housing modules, which can, in the most advanced cases, be moved and even assembled with other modules to create more complex housing complexes, these solutions represent, in fact, autonomous systems with a closed life cycle, which do not provide for high standards of replaceability or the possibility of modifications during the life cycle of the building.

To overcome these limitations, the experimentation sought to build a broader systemic vision, a true ecosystem that rethinks traditional construction and service delivery models, even in cases of more advanced industrialization. In the PROXIMA ecosystem, the building is broken down into a "mother structure" that houses the main plant backbones (with a life cycle of about one hundred years), onto which interchangeable modules are grafted, defined as "technomodules" that integrate the electrical, hydraulic and mechanical systems (with a ten-year life cycle, or even less) (Mussinelli et al., 2017; di Pasquale et al., 2020), ensuring complete flexibility and adaptability to changing housing or work demands (Fig. 1). The model thus structured can find multiple areas of application with reference, for example, to low-cost or free-market housing, to the demand for temporary residence and to new life and work models that require ever-increasing mobility. These hybrid structures can have an interesting application also in contexts of urban completion, in adherence to blind fronts, in residual lots and to regenerate degraded fabrics. Or where continuous technological and equipment updating is required, as in the case of healthcare facilities.

The PROXIMA "technomodule", the result of technology transfer and collaboration with the world of production, is part of this new construction ecosystem, and is configured as an aggregator of technological systems and services that can be inserted and extracted multiple times from a long-life building structure with plug-in mode. In the technomodule, the technologies of modular hybrid architecture are integrated with a digital management and control platform that governs the main technical and plant systems needed to activate and make a living and/or working space functional. Through specific sensor equipment, the technomodule thus also becomes a tool for collecting and

managing data on the use of resources (energy, water, air) and the microclimate needed to implement a new bidirectional and synergic relational model between user behavior and the building-plant technological system. In a single element that is easily replaceable and implementable, most of the technological and control contents that serve to provide the main answers to the residential and working needs of the users, as well as those necessary to optimize the management and to provide and differentiate the services by the building managers and maintenance personnel, are condensed. It thus becomes possible to adapt in a very short time the services that a space is able to provide to the user, both by intervening through the IT and control equipment present in each technomodule, and by replacing the technomodule with another equipped with different technologies or with different spatial and functional articulation.

Methodology

For the development of the first PoC, also for reasons of cost-effectiveness and ease in defining the requirements framework, it was decided to adopt the residential function as the reference function, creating a prototype of a technomodule capable of providing all the technological contents necessary for two housing units.

Requirements framework and project development

The first step was to specify all the functional and performance requirements to be guaranteed, to be able to identify the minimum spatial, plant and equipment provisions. These requirements were then formalized in a matrix in which the needs of the actors involved in the use and management of the artifact were related to the performance levels of the services to be provided and to the typological solutions and technological components that could be adopted.

At the same time, it was also necessary to prepare an analysis of the requirements relating to the monitoring and management software platform.

In this case, the functional requirements to be offered to the various actors in the field were identified and grouped into six typologies:

- “system user”, the person who uses the living/working space and exploits the services associated with the new model;
- “manager”, who manages the structure, acting as a counterpart to the user;
- “owner” who owns the structure and has given it to the manager to manage;
- “neighbor”, the person who runs a commercial activity or a service company located in the vicinity of the facility and who is therefore interested in selling products or providing additional services to users directly or through the mediation of the manager;
- “institutional entity”, i.e. municipal, provincial or regional offices that have an interest in interacting with users, managers or owners based on the services they provide;
- “other actor”, representing other classes of potential users.

Furthermore, the data sources (sensors) and the main actuators that allow the connection between the software level and the physical level were catalogued.

On this basis, the main non-functional requirements³ were also defined and a first architectural scheme was developed to be able to compare the capabilities of existing IT platforms to satisfy the identified requirements.

Once this reference framework was built, the first design schemes of the technomodule were developed (Fig. 2) which envisaged including in the prototype two bathrooms, two kitchenettes, the machines for the air conditioning of the housing units, the plug-in systems for the connection to the main plant risers (driving force, data network, sanitary water and waste column), all the sensors and the components for data collection and processing, as well as the closing element of the façade.

Technology transfer and construction of the production chain

It should be highlighted here that, given the short time required for finalization by the Boostech program, the PROXIMA technomodule could only be created by aggregating existing components and products, to quickly arrive at a complete and functioning prototype. This required reasoning with the companies involved on the topic of possible product innovations, evaluating the limits of existing products and the possibility of introducing - in the industrialization phase - changes aimed at producing higher-performance components (in terms of size, characteristics and performance) both in terms of the efficiency and functionality of the technomodule itself, and in terms of the precision and quality of the data that must be collected and managed.

In order to build the production chain, an intense analysis of the companies present on the market operating in relation to the specific product sectors necessary to complete the prototype was carried out. In particular, for the construction of the mother structure model and for the assembly of the technomodule, companies operating in advanced prefabrication and in the supply of products and services for the assembly of prefabricated modules were sought; to provide and complete the technological contents, companies active in the supply of products and services for home automation, electrical systems, water and sanitary systems, special systems, sensors and digital platforms were identified. Furthermore, for the installation of special systems and their testing, the need to involve highly specialized labor was highlighted; personnel not always present within the organizational charts of the supplier companies. Finally, regarding the accessories and equipment elements for bathrooms and kitchens, it was decided to operate by purchasing catalog products.

The research has allowed to verify that there were no companies or groups of companies, even multinationals, already organized and able to cover all the skills and supplies necessary to produce the technomodule in its complexity. It has also emerged that, while some skills (e.g. software and platforms for data processing, technological components of an electrical and mechanical plant nature capable of connecting with digital systems - IoT, etc.) are now well present in multinational groups, other elements or necessary activities (e.g. ability to manage the assembly of components of different types and coming from different suppliers, quickly prepare prototype solutions, etc.) can be found (at least in the Italian context) only in small and medium-sized companies, which are characterized by their flexibility and ability to quickly adapt to new needs and requirements even far from their usual production.

In selecting the partner companies, it was also essential to ascertain their availability not only to supply the necessary products, but also and above all to share their specialist skills with the research group and the entire supply chain; also taking charge of modifying their products and/or operating practices to improve the final result⁴. In fact, on the one hand, university research has allowed companies to be given a new overall vision for the construction sector, showing the various partners

involved new application opportunities and new markets for their products, as well as scenarios of evolution of demand useful for directing the evolution of products already on the market. On the other hand, the world of production has contributed to providing the essential information to make the project executive and buildable, also reflecting on how to manage the interfaces and interferences among the different components and technological systems. In this sense, a particularly sensitive issue was that of having machines and sensors supplied by different manufacturers, but capable of generating data and receiving command information through compatible systems that can be managed from a single platform.

Given the need to contain the dimensions of the technomodule within the measures hypothesized in the patent phase (to be able to transport it in non-exceptional ways and to respect the maximum height established, lower than that of the inter-storey of traditional buildings), before proceeding with construction, it was decided to centralise the dimensional information in a single BIM model (Fig. 3), as a common reference for all design choices: therefore useful for quickly verifying the feasibility of the alternatives and/or improvement proposals that were discussed during the coordination meetings between all the actors involved; to control possible interferences and the real accessibility to those components that require any control, maintenance or replacement interventions over time.

Research results

The prototype built (Fig. 4) is now functional in all its components, including the data collection and processing one, and can also be used in real contexts; some insertion and extraction tests at height were carried out, using a standard prefabricated slab (Fig. 5), which further confirmed the simplicity of any replacement interventions during use.

The continuous exchange of information with the world of production (represented by companies, including multinationals, operating in the sectors of electrical, hydraulic and mechanical systems, heavy and light prefabrication, industrialization with off-site assembly, sensors, as well as the development of advanced solutions for digital transformation, and by a consortium of specialized installers) has allowed us to work on the modularization of the components with a shorter life cycle, with the consequent possibility of producing them off-site, identifying interface standardization criteria and dimensional specifications that, in perspective, will be able to trigger sufficient savings for large-scale production. In this way, the maximum efficiency of the subsystems in relation to their life cycle was pursued, effectively combining on-site and off-site production processes and technologies, giving the possibility of implementing techno-typological adjustments more frequently and in a less invasive way than normally occurs, even where dry-assembled and/or prefabricated solutions are adopted.

With the companies that collaborated in the definition of the structural elements and assembly, it was decided, also for the sliding elements of the technomodule, to use catalogue systems, to evaluate the limits of existing products and possibly develop *ad hoc* solutions, patentable if necessary. In fact, a further objective of the research, although primarily funded for the creation of the patent PoC, was to build the knowledge base necessary for the implementation of technologies that were not fully "suitable", so as to subsequently develop, both independently as a university, and with partner companies, new patents useful for making the PROXIMA ecosystem completer and more effective.

Conclusions

Through the *ad hoc* network of companies set up with the development of research activities, theoretical and methodological knowledge has been transferred and updated to operators in the construction sector and related production chains, improving their ability to respond quantitatively and qualitatively to the demand for living and working spaces/services, with solutions capable of mitigating the environmental impacts associated with the phenomenon of urbanization and adapting the techno-typological models to the new paradigms of living. This process of transferring know-how has also allowed companies to verify the evolutionary possibilities of their products, identifying new markets and application opportunities, as well as testing the adaptability of their production lines to the innovative scenarios outlined by the research. Furthermore, new supply chain relationships have been generated that have systematized the production and also distribution and marketing capabilities of large companies with the flexibility and adaptive capacity of small and medium-sized enterprises, including artisanal ones. All this has also given rise to closer relationships between university and the business world, relationships that are evolving in the direction of the creation of a specific university spin-off aimed at developing the idea and its commercialization, also involving the partners who collaborated in the realization of the PoC.

In short, what Etzkowitz theorized regarding how the transfer of knowledge and technologies from university research to the industrial world can support and encourage innovations of a productive, but also of a social, cultural and economic nature has been confirmed, also with reference to the construction sector and the related services.

Notes

¹ The Enhancement Program called “BOOSTECH” is aimed at the implementation of patents through the financing of Proof of Concept (PoC) projects of Italian universities and Italian Public Research Institutions (EPR) and Scientific Institutes for Hospitalization and Care (IRCCS) to be financed within the framework of the National Recovery and Resilience Plan, Mission 1 “Digitalization, innovation, competitiveness, culture and tourism” - Component 2 “Digitalization, innovation and competitiveness in the production system” – Investment 6 “Industrial property system” financed by the European Union – NextGenerationEU.

² The patent entitled “Modular building structure” was issued on October 29, 2021 by the Italian Patent and Trademark Office of the Ministry of Economic Development at the Politecnico di Milano with inventors: Elena Mussinelli, Andrea Tartaglia Gianpaolo Saverio Cugola, Joseph di Pasquale, Roberto Mandurino.

³ In the IT field, non-functional requirements are a set of specifications of the system being analysed, such as performance requirements, safety and reliability standards, or design constraints, which go beyond and integrate the purely functional aspects of the product to be created.

⁴ Following the scouting and selection activities, the following companies were chosen as partners and suppliers of the PROXIMA project, which participated in the construction of the PoC:

- PROGRESS S.p.A., an advanced prefabrication company that created and supplied the prototype of the mother structure used for the insertion and extraction tests of the technomodule;
- GEWISS S.p.A., a company that supplied all the products and services relating to home automation and electrical systems;
- VALSIR S.p.A., a company that supplied all the products and services relating to water and sanitary systems;

- SIEMENS S.p.A., a company that supplied all the products and services relating to special systems and sensors and made available the digital platform for data collection and processing with the objectives of system control and management;
- CREA consortium, which supplied the installers for the special systems and the testing of the components;
- JDP Architects, an architectural firm that developed the different levels of architectural design and equipment for the technomodule;
- ENERGA Engineering, an engineering firm that developed the different levels of design with respect to the electrical and mechanical system components;
- SANIKA srl, a company that produces prefabricated modules and that coordinated the development of the BIM model, created and supplied the structural frame, the sliding system, all the missing components and equipment necessary for completing the prototype, developed and installed the assembly line for the technomodule and assembled the PoC.

References

- AA.VV. (2011). *Prefabbrication and Modularization, increasing productivity in construction industry. Small market report*, McGraw-Hill construction, New York.
- Bruni, G. (2020). *From Opportunity Identification to Concept Generation of Sustainable Modular Buildings*. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 605-614.
- Di Pasquale, J., Innella, F., & Bai, Y. (2020). *Structural Solution for hybrid modular buildings with removable parts*. In Journal of Architectural Engineering, volume 26, Issue 3.
- Etzkowitz, H., (1993), *Enterprises from science: the origins of science-based regional economic development*. In Minerva, volume 31, issue 3, 326-360.
- JCHS (2015). *Emerging trends in remodeling markets*. JCHS - Joint center for housing studies of Harvard University.
- Innella, F., Arashpour, M., & Bai, Y. (2019). *Lean methodologies and techniques for modular construction: Chronological and critical review*. Journal of Construction Engineering and Management, 145(12).
- Mussinelli, E., Tartaglia, A., & Di Pasquale, J. (2017). Typological and technological innovation for the application of hybrid systems to housing construction: between technological culture and application testing. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (13), 287–294.

Images

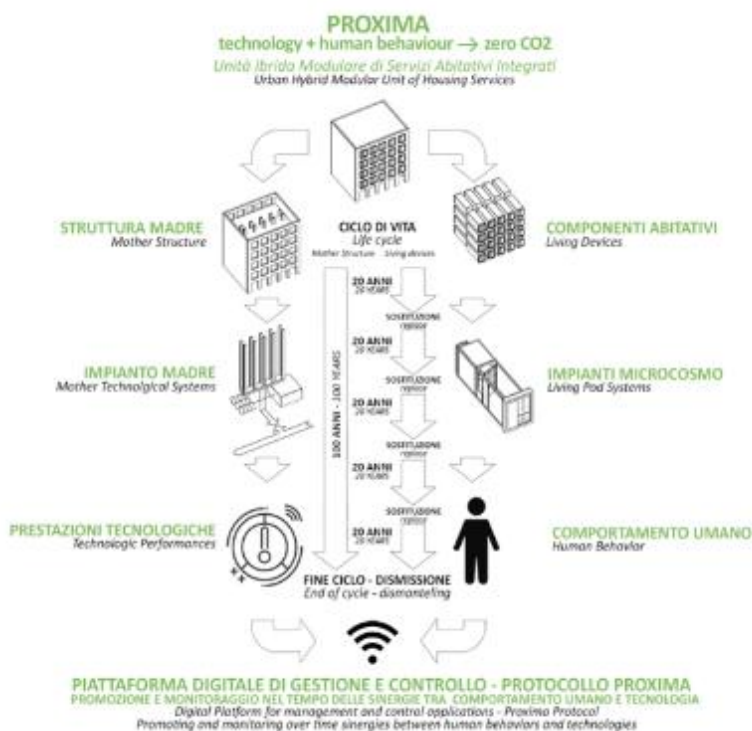


Fig. 01 – Conceptual model of the PROXIMA hybrid modular construction ecosystem and integration with the digital control platform.

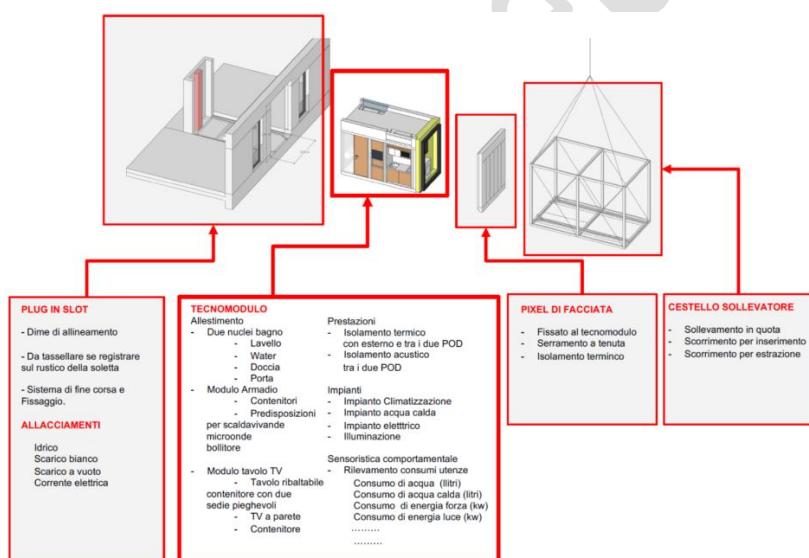


Fig. 02 - Elements constituting the technomodule for the activation of two housing units.

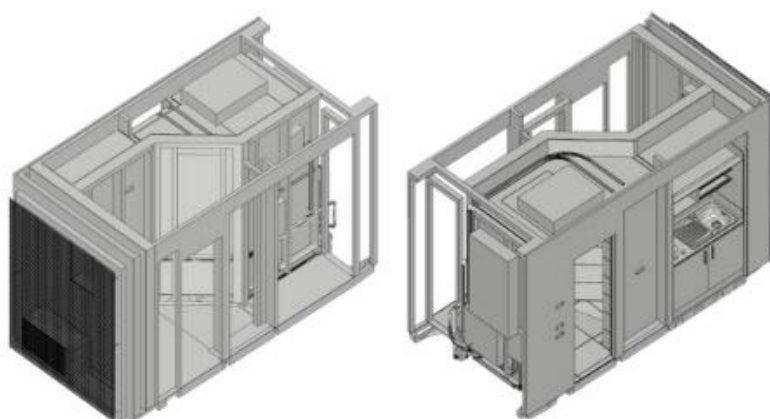


Fig. 03 – 3D visualization of the BIM model in an intermediate processing phase.



Fig. 04 – Photograph of the prototype built.

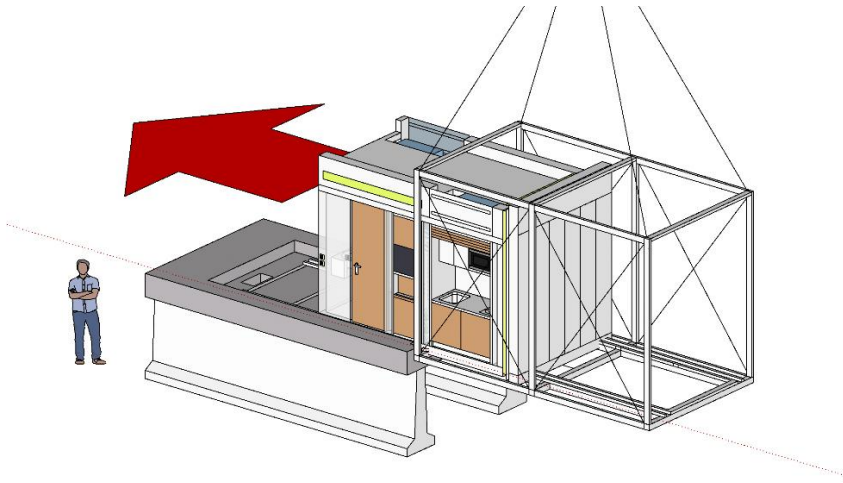


Fig. 05 – Design simulation scheme of the insertion and extraction tests carried out.

Attribution, Acknowledgements, Copyright

The research was funded by the “BOOSTECH” Enhancement Program, a competitive call funded by the European Union – NextGenerationEU. Research group: Andrea Tartaglia (scientific director), Joseph di Pasquale (coordinator), Gianpaolo Saverio Cugola (responsible for information processing systems and digital management models), Elena Mussinelli (responsible for technological and environmental design), Giovanni Castaldo, Paolo Labbadini, Gianluca Luca, Roberto Mandurino.

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE

PROXIMA. Dalla costruzione all'innovazione del rapporto edificio utente

Andrea Tartaglia¹, Joseph di Pasquale², Gianpaolo Saverio Cugola³

¹ Dipartimento di Scienze Umanistiche, Università di Catania, Italia

² Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

³ Dipartimento di Elettronica Informazione e Bioingegneria, Politecnico di Milano, Italia

Primary Contact: Andrea Tartaglia, andrea.tartaglia@polimi.it

Abstract

Finalità della ricerca è stata l'implementazione d un brevetto universitario (sistema costruttivo ibrido modulare Proxima) dal livello 2 "Ricerca applicata" al livello 6 "Convalida in ambiente operativo" della scala Technology Readiness Level (TRL), attraverso lo sviluppo di un prototipo funzionante.

La collaborazione con un network di imprese costituito ad hoc ha dato l'opportunità di istituire e sviluppare una nuova filiera produttiva, trasferendo aggiornate conoscenze teoriche e metodologiche agli operatori del settore delle costruzioni, con obiettivi di miglioramento della capacità di rispondere quantitativamente e qualitativamente alla domanda di spazi/servizi abitativi e lavorativi, di mitigare gli impatti ambientali connessi all'inurbamento e di adeguare i modelli tecnologici ai nuovi paradigmi dell'abitare.

Parole chiave: Sostenibilità degli edifici; Trasferimento tecnologico; Filiera produttiva; Sistema uomo edificio; Progettazione tecnologica.

Il contesto della ricerca

Già negli anni Novanta il sociologo Henry Etzkowitz (1993) aveva individuato nell'interazione tra ricerca universitaria, industria e mondo della pubblica amministrazione l'elemento fondamentale per lo sviluppo dell'innovazione non solo in chiave tecnologica, ma anche sociale ed economica, codificandolo come modello della tripla elica.

In Italia, questa esigenza di interazione, oggi formalizzata nel termine "terza missione" dell'università, trova riscontri anche in molteplici strumenti di supporto finanziario: tra questi si colloca il Programma di valorizzazione Boostech¹ che ha permesso l'implementazione di un brevetto universitario (sistema costruttivo ibrido modulare PROXIMA²) dal livello TRL 2 "Ricerca applicata" al livello TRL 6 "Convalida in ambiente operativo" della scala Technology Readiness Level (TRL), attraverso lo

sviluppo di un prototipo funzionante (*Proof of Concept - PoC*). Dando anche l'opportunità di istituire e sviluppare una nuova filiera produttiva e un modello collaborativo e proattivo tra le diverse aziende coinvolte nella filiera stessa.

Il brevetto si collocava all'interno di una più ampia attività di ricerca finalizzata all'innovazione tecnologica e dei modelli costruttivi/produttivi del settore delle costruzioni, per contenere gli impatti ambientali, per ridurre i tempi e le inefficienze dei processi di nuova costruzione e di adeguamento/rigenerazione/manutenzione straordinaria dei manufatti, e per migliorare la qualità dei servizi abitativi. Esigenze di innovazione espresse da utenti e gestori, note da tempo (JCHS, 2015), alle quali però il settore delle costruzioni ancora oggi non riesce a dare risposte sistemiche. Nonostante il mondo della prefabbricazione (AA.VV. 2011; Innella *et al.*, 2019; Bruni, 2020) abbia proposto moduli abitativi innovativi, che possono, nei casi più evoluti, essere spostati e anche assemblati con altri moduli per costituire dei complessi abitativi più articolati, tali soluzioni rappresentano, nei fatti, dei sistemi autonomi con un ciclo di vita chiuso, che non prevedono né elevati standard di sostituibilità né possibilità di modifiche durante il ciclo di vita dell'edificio.

Per superare questi limiti, la sperimentazione ha cercato di costruire una visione sistemica più ampia, un vero ecosistema che ripensasse i tradizionali modelli costruttivi e di erogazione dei servizi, anche nei casi di industrializzazione più spinta. Nell'ecosistema PROXIMA, l'edificio viene scomposto in una "struttura madre" che ospita le principali dorsali impiantistiche (con un ciclo di vita di circa cento anni), sulla quale si innestano moduli intercambiabili, definiti "tecnomoduli" che integrano l'impiantistica elettrica, idraulica e meccanica (con un ciclo di vita decennale, o anche inferiore) (Mussineli *et al.*, 2017; di Pasquale *et al.*, 2020), garantendo una completa flessibilità e adattabilità al mutare della domanda abitativa o lavorativa (Fig. 1). Il modello così strutturato può trovare molteplici ambiti applicativi con riferimento, ad esempio, alla residenza a basso costo o per il mercato libero, alla domanda di residenza temporanea e ai nuovi modelli di vita e lavorativi che richiedono una sempre maggiore mobilità. Queste strutture ibride possono avere una interessante applicazione anche in contesti di completamento urbano, in aderenza a fronti ciechi, in lotti residuali e per rigenerare tessuti degradati. Oppure laddove sia richiesto un continuo aggiornamento tecnologico e delle attrezzature, come nel caso delle strutture sanitarie.

Il "tecnomodulo" PROXIMA, esito del trasferimento tecnologico e della collaborazione con il mondo delle imprese e della produzione, fa parte di questo nuovo ecosistema delle costruzioni, e si configura come un aggregatore di sistemi tecnologici e servizi più volte inseribile ed estraibile da una struttura edilizia a lungo ciclo di vita con modalità *plug-in*. Nel tecnomodulo le tecnologie dell'architettura ibrida modulare sono integrate con una piattaforma digitale di gestione e controllo che governa i principali sistemi tecnico impiantistici necessari ad attivare e rendere funzionante uno spazio abitativo e/o lavorativo. Attraverso apposite dotazioni sensoristiche, il tecnomodulo diviene così anche strumento di raccolta e gestione di dati sull'uso delle risorse e sul microclima (energia, acqua, aria) necessari per concretizzare un nuovo modello relazionale bidirezionale e sinergico tra i comportamenti degli utenti e il sistema tecnologico edificio-impianti. In un unico elemento facilmente sostituibile e implementabile si condensano la maggior parte dei contenuti tecnologici e di controllo che servono a fornire le principali risposte alle esigenze di carattere abitativo e lavorativo degli utenti, nonché necessari ad ottimizzare la gestione e ad erogare e differenziare i servizi da parte dei gestori e manutentori. Diventa così possibile adeguare in tempi molto rapidi i servizi che uno spazio è in grado di erogare all'utente, sia intervenendo attraverso le dotazioni informatiche e di controllo

presenti in ogni tecnomodulo, sia sostituendo il tecnomodulo con un altro dotato di differenti tecnologie o con una diversa articolazione spaziale e funzionale.

Metodologia

Per lo sviluppo del primo PoC, anche per ragioni di economicità e di facilità nella definizione del quadro esigenziale, si è deciso di adottare come funzione di riferimento quella residenziale, realizzando un prototipo di tecnomodulo in grado di fornire tutti i contenuti tecnologici necessari a due unità abitative.

Quadro esigenziale e sviluppo progettuale

Il primo step è stato quello di esplicitare tutti i requisiti funzionali e prestazionali da garantire, così da poter poi identificare le dotazioni spaziali, impiantistiche e di attrezzamento minime. Tali requisiti sono stati quindi formalizzati in una matrice nella quale le esigenze degli attori coinvolti nell'uso e nella gestione del manufatto sono state relazionate con i livelli prestazionali dei servizi da erogare e con le soluzioni tipologiche e le componenti tecnologiche adottabili.

Parallelamente è stato anche necessario predisporre un'analisi dei requisiti relativi alla piattaforma software di monitoraggio e gestione.

In questo caso sono stati identificati i requisiti funzionali da offrire ai diversi attori in campo che sono stati raggruppati in sei tipologie:

- "utente del sistema", colui che usa lo spazio abitativo/lavorativo e sfrutta i servizi associati al nuovo modello;
- "gestore", che gestisce la struttura, operando da controparte rispetto all'utente;
- "proprietario" che possiede la struttura e l'ha data in gestione al gestore;
- "vicino", colui che gestisce una attività commerciale o un'impresa di servizi situata nelle vicinanze della struttura e che è quindi interessato a vendere prodotti o a fornire servizi aggiuntivi agli utenti direttamente o attraverso la mediazione del gestore;
- "soggetto istituzionale", cioè gli uffici comunali, provinciali o regionali che hanno interesse ad interagire con utenti, gestori o proprietari in funzione dei servizi che questi erogano;
- "attore altro", che rappresenta altre classi di potenziali utenti.

Inoltre, sono stati catalogati le fonti dati (sensori) e i principali attuatori che permettono il collegamento tra livello software e livello fisico.

Su questa base sono stati definiti anche i principali requisiti non funzionali³ ed è stato elaborato un primo schema architettuale al fine di poter comparare le capacità delle piattaforme informatiche esistenti di soddisfare i requisiti identificati.

Costruito questo quadro di riferimento, sono stati sviluppati i primi schemi progettuali del tecnomodulo (Fig. 2) che prevedevano di includere nel prototipo due bagni, due angoli cottura, le macchine per la climatizzazione delle unità abitative, i sistemi plug-in per la connessione alle colonne montanti dell'impiantistica principale (forza motrice, rete dati, acqua sanitaria e colonna di scarico), tutta la sensoristica e le componenti per la raccolta e l'elaborazione dei dati, nonché l'elemento di chiusura della facciata.

Trasferimento tecnologico e costruzione della filiera produttiva

Va qui evidenziato il fatto che, dati i tempi brevi di finalizzazione imposti dal programma Boostech, il tecnomodulo PROXIMA poteva essere realizzato solo attraverso l'aggregazione di componenti e prodotti già esistenti, per giungere rapidamente a un prototipo completo e funzionante. Ciò ha richiesto di ragionare con le imprese coinvolte sul tema di possibili innovazioni di prodotto, valutando i limiti dei prodotti esistenti e la possibilità di introdurre - in fase di industrializzazione - modifiche finalizzate alla produzione di componenti più performanti (per dimensioni, caratteristiche e prestazioni) sia per quanto riguarda l'efficienza e la funzionalità del tecnomodulo stesso, sia per quanto concerne la precisione e qualità dei dati che devono essere raccolti e gestiti.

Al fine di costruire la filiera produttiva è stata fatta una intensa attività di analisi delle società presenti sul mercato operanti, rispetto agli specifici settori merceologici necessari per completare il prototipo. In particolare, per la costruzione del modello di struttura madre e per l'assemblaggio del tecnomodulo si sono ricercate società operanti nella prefabbricazione avanzata e nella fornitura di prodotti e servizi per l'assemblaggio di moduli prefabbricati; per fornire e completare i contenuti tecnologici sono state identificate realtà attive nella fornitura di prodotti e servizi per la domotica, l'impiantistica elettrica, l'impiantistica idrico sanitaria, gli impianti speciali, la sensoristica e le piattaforme digitali. Inoltre, per l'installazione di impianti speciali e il loro collaudo, si è evidenziata l'esigenza di coinvolgere manodopera altamente specializzata; personale non sempre presente all'interno degli organigrammi delle aziende fornitrici. Per quanto riguarda infine l'accessoristica e gli elementi di attrezzamento di bagni e cucine si è deciso di operare acquistando prodotti a catalogo.

La ricerca ha permesso di verificare che non esistevano imprese o gruppi di imprese anche multinazionali già organizzate e in grado di coprire tutte le competenze e le forniture necessarie alla produzione del tecnomodulo nella sua complessità. È inoltre emerso che, mentre alcune competenze (es: software e piattaforme per l'elaborazione di dati, componenti tecnologiche di carattere impiantistico elettrico e meccanico in grado di connettersi con sistemi digitali – IoT, ecc.) sono ormai ben presenti nei gruppi multinazionali, altri elementi o attività necessarie (es: capacità di gestire l'assemblaggio di componentistica di tipologie differenti e proveniente da diversi fornitori, predisporre in tempi rapidi soluzioni prototipali, ecc.) possono essere ritrovate (almeno nel contesto italiano) solo nelle piccole e medie imprese, che si caratterizzano per la loro flessibilità e la capacità di adattarsi rapidamente a nuove esigenze e necessità anche lontane della loro produzione abituale. Nel selezionare le aziende partner, è stato inoltre essenziale accertare la loro disponibilità non solo a fornire i prodotti necessari, ma anche e soprattutto a condividere con il gruppo di ricerca e con l'intera filiera le proprie competenze specialistiche; anche facendosi carico di modificare i propri prodotti e/o prassi operative al fine di migliorare il risultato finale⁴. Infatti, da un lato la ricerca universitaria ha permesso di trasferire alle imprese una nuova visione d'insieme per il settore delle costruzioni, mostrando ai diversi partner coinvolti nuove opportunità di applicazione e nuovi mercati per i loro prodotti, nonché scenari di evoluzione della domanda utili ad indirizzare l'evoluzione dei prodotti già sul mercato. Dall'altro il mondo della produzione ha contribuito a fornire le informazioni essenziali per rendere esecutivo e costruibile il progetto, anche riflettendo su come gestire le interfacce e le interferenze tra le diverse componenti e sistemi tecnologici. In questo senso un tema particolarmente sensibile è stato quello di avere macchine e sensori forniti anche da produttori diversi, in grado però di generare dati e di ricevere informazioni di comando attraverso sistemi compatibili e gestibili da un'unica piattaforma.

Data anche la necessità di contenere le dimensioni del tecnomodulo all'interno delle misure ipotizzate in fase di brevetto (per poterlo trasportare con modalità non eccezionali e per rispettare l'altezza massima stabilita, inferiore a quella di interpiano degli edifici tradizionali), prima di procedere alla costruzione, si è deciso di centralizzare le informazioni dimensionali in un unico modello BIM (Fig. 3), quale riferimento comune per tutte le scelte progettuali: utile quindi per verificare rapidamente la fattibilità delle alternative e/o delle proposte migliorative che venivano discusse durante gli incontri di coordinamento tra tutti gli attori coinvolti; per controllare le possibili interferenze e la reale accessibilità a quei componenti che richiedano nel tempo eventuali interventi di controllo, manutentivi o di sostituzione.

Esiti della ricerca

Il prototipo realizzato (Fig. 4) è oggi funzionante in tutta la componentistica, inclusa quella di rilevazione ed elaborazione dei dati, ed è utilizzabile anche in contesti reali; sono state fatte alcune prove di inserimento ed estrazione in quota, utilizzando un solaio prefabbricato standard (Fig. 5), che hanno ulteriormente confermato la semplicità degli eventuali interventi di sostituzione in fase d'uso.

Il continuo scambio di informazioni con il mondo della produzione (rappresentato da società, anche multinazionali, che operano nei settori dell'impiantistica elettrica, idraulica e meccanica, della prefabbricazione pesante e leggera, dell'industrializzazione con assemblaggio off-site, della sensoristica, nonché dello sviluppo di soluzioni avanzate per la trasformazione digitale, e da un consorzio di installatori specializzati) ha consentito di lavorare sulla modularizzazione delle componenti a ciclo di vita più corto, con la conseguente possibilità di produrle off-site, individuando criteri di standardizzazione dell'interfaccia e specifiche dimensionali che, in prospettiva, potranno innescare economie sufficienti per una produzione su larga scala. In questo modo si è perseguita la massima efficienza dei sottosistemi in relazione al loro ciclo di vita, combinando efficacemente processi e tecnologie produttive *on-site* e *off-site*, dando la possibilità di implementare adeguamenti tecno-tipologici più frequentemente e in modo meno invasivo rispetto a quanto avviene normalmente, anche laddove si adottano soluzioni assemblate a secco e/o prefabbricate.

Con le società che hanno collaborato alla definizione degli elementi strutturali e all'assemblaggio si è deciso, anche per gli elementi di scorrimento del tecnomodulo, di utilizzare sistemi a catalogo, al fine di valutare i limiti dei prodotti esistenti ed eventualmente sviluppare soluzioni ad hoc, nel caso brevettabili. Infatti, un ulteriore obiettivo della ricerca, pur se prioritariamente finanziata per la realizzazione del PoC del brevetto, è stato quello di costruire la base conoscitiva necessaria all'implementazione delle tecnologie non pienamente "adatte", così da sviluppare, successivamente, sia autonomamente come università, sia con le aziende partner, nuovi brevetti utili a rendere più completo ed efficace l'ecosistema PROXIMA.

Conclusioni

Attraverso il network di imprese *ad hoc* costituito, con lo sviluppo delle attività di ricerca, sono state trasferite e aggiornate conoscenze teoriche e metodologiche agli operatori del settore delle costruzioni e alle correlate filiere produttive, migliorando la loro capacità di rispondere quantitativamente e qualitativamente alla domanda di spazi/servizi abitativi e lavorativi, con soluzioni in grado di mitigare gli impatti ambientali connessi al fenomeno dell'inurbamento e adeguando i

modelli tecno-tipologici ai nuovi paradigmi dell'abitare. Questo processo di trasferimento di *know-how* ha anche permesso alle imprese di verificare le possibilità evolutive dei propri prodotti, identificando nuovi mercati e opportunità di applicazione, nonché di testare l'adattabilità delle proprie linee di produzione agli innovativi scenari delineati dalla ricerca. Inoltre si sono generate nuove relazioni di filiera che hanno messo a sistema le capacità produttive e anche di distribuzione e commercializzazione delle grandi imprese con la flessibilità e capacità adattiva della piccola e media impresa, anche di carattere artigianale. Tutto ciò ha fatto anche nascere delle relazioni più strette tra università e mondo delle imprese, relazioni che si stanno evolvendo nella direzione della costituzione di uno specifico *spin-off* universitario finalizzato allo sviluppo dell'idea e alla sua commercializzazione, anche coinvolgendo i partner che hanno collaborato alla concretizzazione del PoC.

In sintesi, si è confermato, anche con riferimento al settore delle costruzioni e dei servizi correlati al patrimonio costruito, quanto teorizzato da Etzkowitz rispetto al modo in cui il trasferimento di conoscenze e tecnologie dalla ricerca universitaria al mondo dell'industria possa sostenere ed incoraggiare innovazioni di carattere produttivo ma anche sociale, culturale ed economico.

Notes

¹ Il Programma di Valorizzazione denominato "BOOSTECH" è finalizzato alla implementazione di brevetti tramite il finanziamento di progetti di Proof of Concept (PoC) delle Università italiane e degli Enti Pubblici di Ricerca (EPR) italiani e degli Istituti di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico (IRCCS) da finanziare nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, Missione 1 "Digitalizzazione, innovazione competitività, cultura e turismo" - Componente 2 "Digitalizzazione, innovazione e competitività nel sistema produttivo" – Investimento 6 "Sistema della proprietà industriale" finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU.

² Il brevetto intitolato "struttura edilizia modulare" è stato rilasciato il 29 ottobre 2021 dall'Ufficio italiano brevetti e marchi del Ministero dello Sviluppo economico al Politecnico di Milano con inventori: Elena Mussinelli, Andrea Tartaglia Gianpaolo Saverio Cugola, Joseph di Pasquale, Roberto Mandurino.

³ In campo informatico per requisiti non funzionali si intende un insieme di specifiche del sistema oggetto dell'analisi, quali i requisiti prestazionali, gli standard di sicurezza e affidabilità, o i vincoli di progettazione, che superano e integrano gli aspetti puramente funzionali del prodotto da realizzare.

⁴ A seguito delle attività di *scouting* e selezione, sono state scelte come partner e fornitori del progetto PROXIMA le seguenti imprese, che hanno partecipato alla costruzione del PoC:

- PROGRESS S.p.A., società di prefabbricazione avanzata che ha realizzato e fornito il prototipo di struttura madre utilizzata per le prove di inserimento ed estrazione del tecnomodulo;
- GEWISS S.p.A., società che ha fornito tutti i prodotti e servizi relativi alla domotica e all'impiantistica elettrica;
- VALSIR S.p.A. società che ha fornito tutti i prodotti e servizi relativi all'impiantistica idrico sanitaria;
- SIEMENS S.p.A., società che ha fornito tutti i prodotti e servizi relativi agli impianti speciali e alla sensoristica e ha messo a disposizione la piattaforma digitale di raccolta ed elaborazione dei dati con obiettivi di controllo e di gestione degli impianti;
- CREA consorzio, che ha fornito gli installatori per gli impianti speciali e il collaudo della componentistica;

- JDP Architects, studio di architettura che ha sviluppato i diversi livelli progettuali di carattere architettonico e per l'attrezzamento del tecnomodulo;
- ENERGA Engineering, società di ingegneria che ha sviluppato i diversi livelli progettuali rispetto alle componenti impiantistiche elettriche e meccaniche;
- SANIKA srl, società che realizza moduli prefabbricati e che ha coordinato lo sviluppo del modello BIM, realizzato e fornito il telaio strutturale, il sistema di scorrimento, tutti i componenti e attrezzature mancanti necessari al completamento del prototipo, sviluppato e installato la linea di assemblaggio del tecnomodulo e assemblato il PoC.

References

- AA.VV. (2011). *Prefabrication and Modularization, increasing productivity in construction industry. Small market report*, McGraw-Hill construction, New York.
- Bruni, G. (2020). *From Opportunity Identification to Concept Generation of Sustainable Modular Buildings*. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 605-614.
- Di Pasquale, J., Innella, F., & Bai, Y. (2020). *Structural Solution for hybrid modular buildings with removable parts*. In Journal of Architectural Engineering, volume 26, Issue 3.
- Etzkowitz, H., (1993), *Enterprises from science: the origins of science-based regional economic development*. In Minerva, volume 31, issue 3, 326-360.
- JCHS (2015). *Emerging trends in remodeling markets*. JCHS - Joint center for housing studies of Harvard University.
- Innella, F., Arashpour, M., & Bai, Y. (2019). *Lean methodologies and techniques for modular construction: Chronological and critical review*. Journal of Construction Engineering and Management, 145(12).
- Mussinelli, E., Tartaglia, A., & Di Pasquale, J. (2017). Typological and technological innovation for the application of hybrid systems to housing construction: between technological culture and application testing. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (13), 287–294.