

PROXIMA. Dalla costruzione all'innovazione del rapporto edificio utente

Just Accepted: May 26, 2025 Published: November 06, 2025

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Andrea Tartaglia¹, <https://orcid.org/0000-0002-8782-5579>

Joseph di Pasquale², <https://orcid.org/0000-0001-8636-2229>

Gianpaolo Saverio Cugola³, <https://orcid.org/0000-0002-0921-7383>

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

andrea.tartaglia@unict.it

joseph.dipasquale@polimi.it

gianpaolo.cugola@polimi.it

Abstract. Finalità della ricerca è stata l'implementazione di 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 "Ri-

cerca 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 tecno-tipologica 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 ecosistema³ che ripensasse i tradizionali modelli costruttivi e di erogazione dei

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

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 urbanisation, 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.

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 formalised in the term "third mission" of the university, is also reflected in multiple financial support tools, including the Boostech¹ valorisation programme, which has allowed the implementation of a university patent (PROXIMA² modular hybrid construction system)

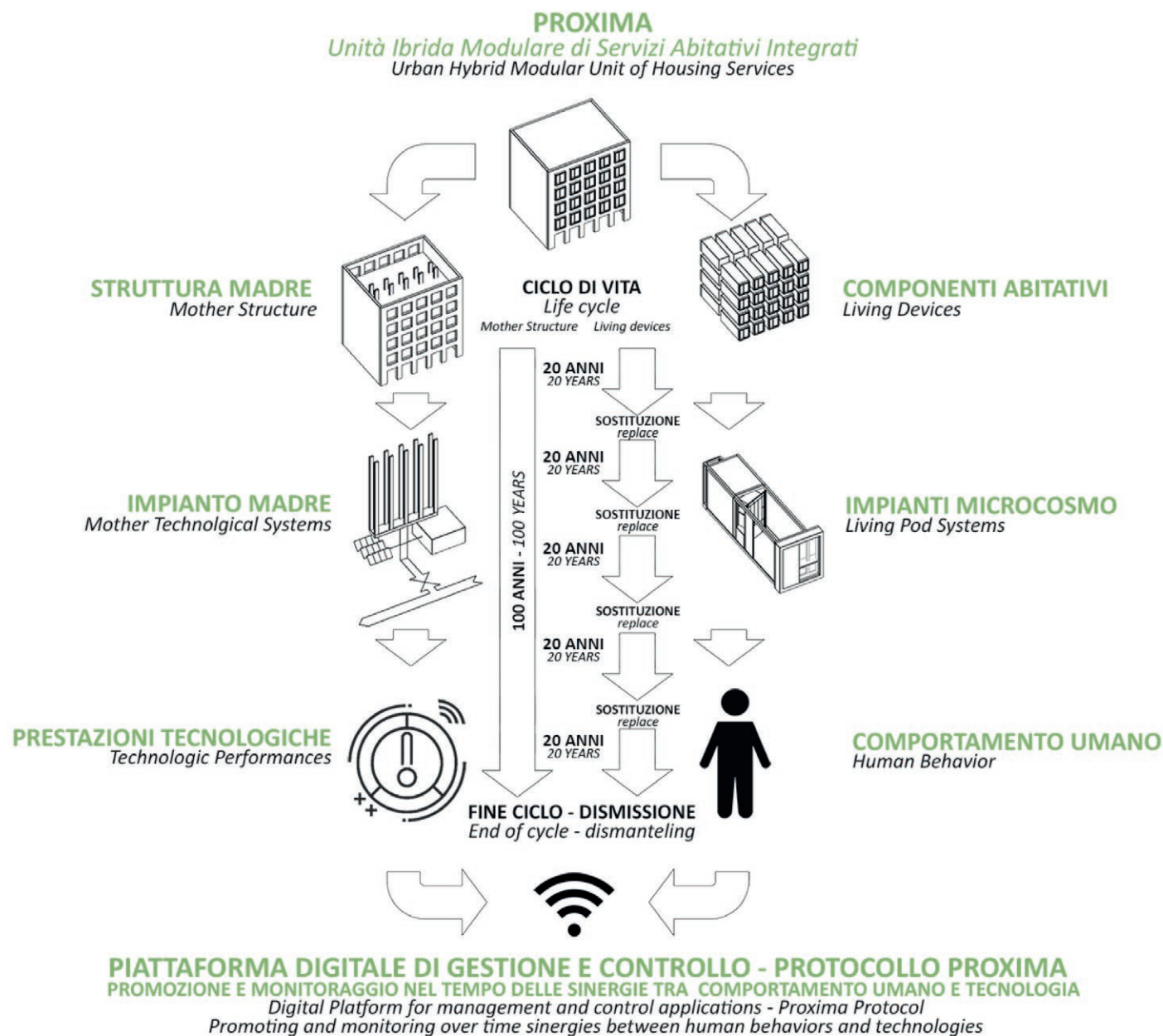
from the TRL 2 "Technology concept formulated" level to the TRL 6 "Technology demonstrated in relevant environment" level of the Technology Readiness Level (TRL), through the development of a working prototype (*Proof of Concept* – PoC). Also providing the opportunity to establish and develop a new production 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 are expressed by users

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 rige-

01 |



nerare 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.

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 propose 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 ecosystem³ that rethinks traditional construction and service delivery models, even in cases of more advanced indus-

trialisation. 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 ad-

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 struttu-

herence 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. It 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 for managing the microclimate needed to implement a new bidirectional and synergic relational model between user behaviour and the building-plant technological system. A single element, which is easily replaceable and implementable, contains most of the technological and control contents required to provide the main answers to the residential and working needs of the users, as well as the answers necessary for building managers and maintenance personnel to optimise management and provide differentiated services. It thus becomes possible to adapt, in a very short time, the services 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

ra 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 funzionali⁴ ed è stato elaborato un primo schema architeturale al fine di poter comparare le capacità delle piattaforme informatiche esistenti di soddisfare i requisiti identificati.

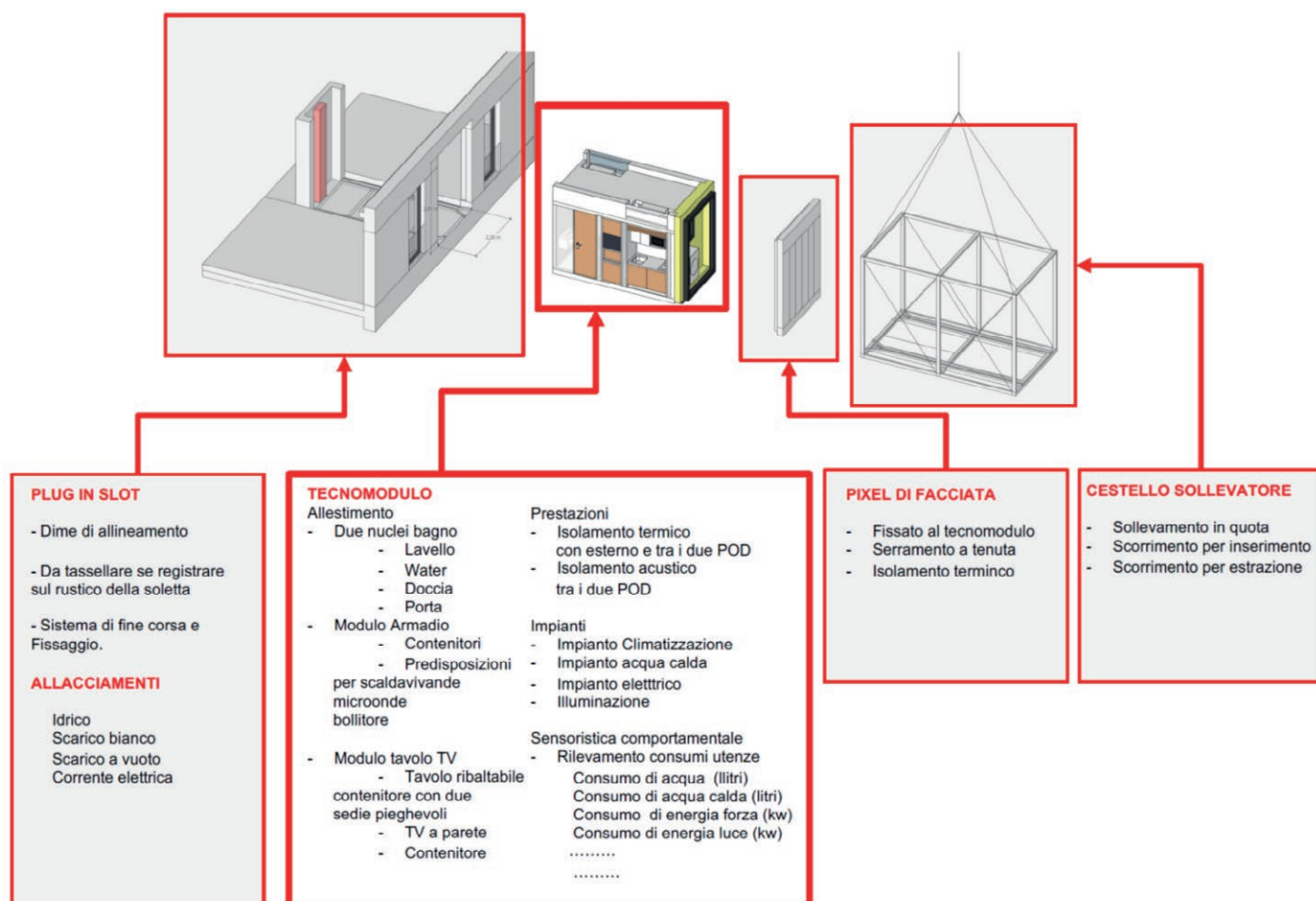
Costruito questo quadro di riferimento, sono stati sviluppati i

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 possi-

02 |



bilità 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 idrica 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 finale⁵. 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.

another one 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 in order to identify the minimum spatial, plant and equipment provisions. These requirements were then formalised 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;

- “neighbour”, 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 either 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.

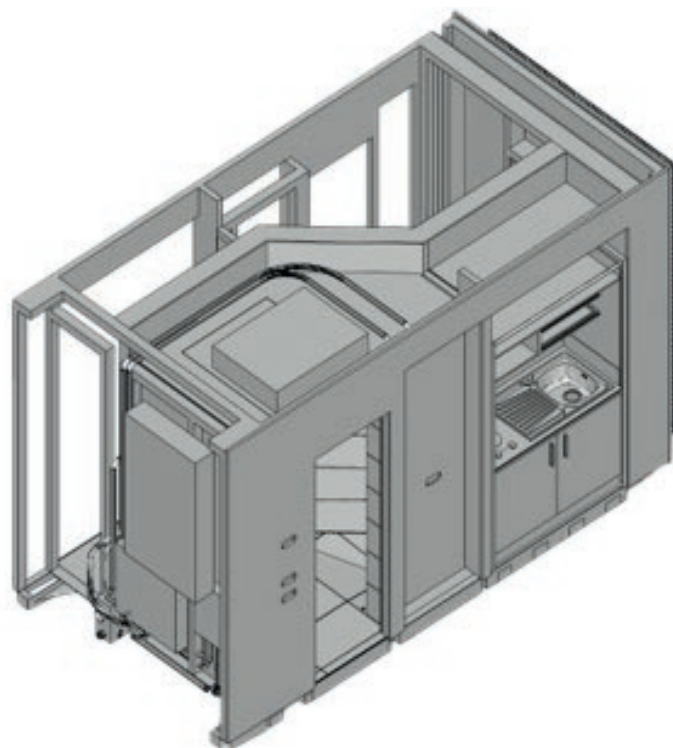
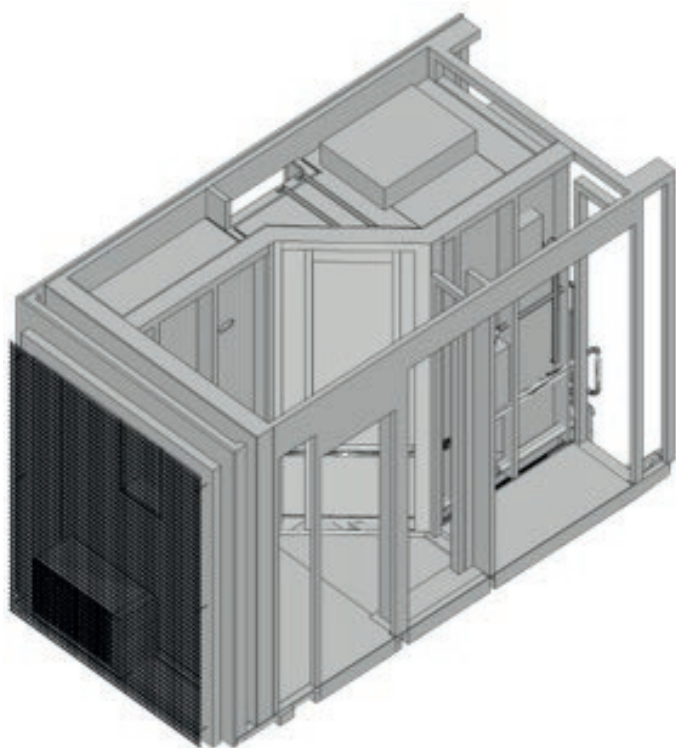
On this basis, the main non-functional

requirements⁴ were also defined and a first architectural scheme was developed to compare the capabilities of existing IT platforms to meet the identified requirements.

Once this reference framework was built, the first design schemes of the technomodule were developed (Fig. 2). They 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 must be said that, given the short



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 ve-

nivano 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

time required for finalisation by the Boostech programme, the PROXIMA technomodule could only be created by aggregating existing components and products to quickly create 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 concerning efficiency and functionality of the technomodule itself, and also regarding the precision and quality of the data to 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 accepting to modify their products and/or operating practices to improve the final result⁵. In fact, 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 demand evolution scenarios useful to direct the evolution of products already on the market. The world of production has also contributed to providing the es-

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

sential information to make the project executive and buildable, also reflecting on how to manage the interfaces and interference 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 technomodulo within the measures hypothesised 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. Hence, it would be useful to quickly verify the feasibility of alternatives and/or improvement proposals that were discussed during the coordination meetings between all the actors involved, and also to control possible interferences and the real accessibility to components that require 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.



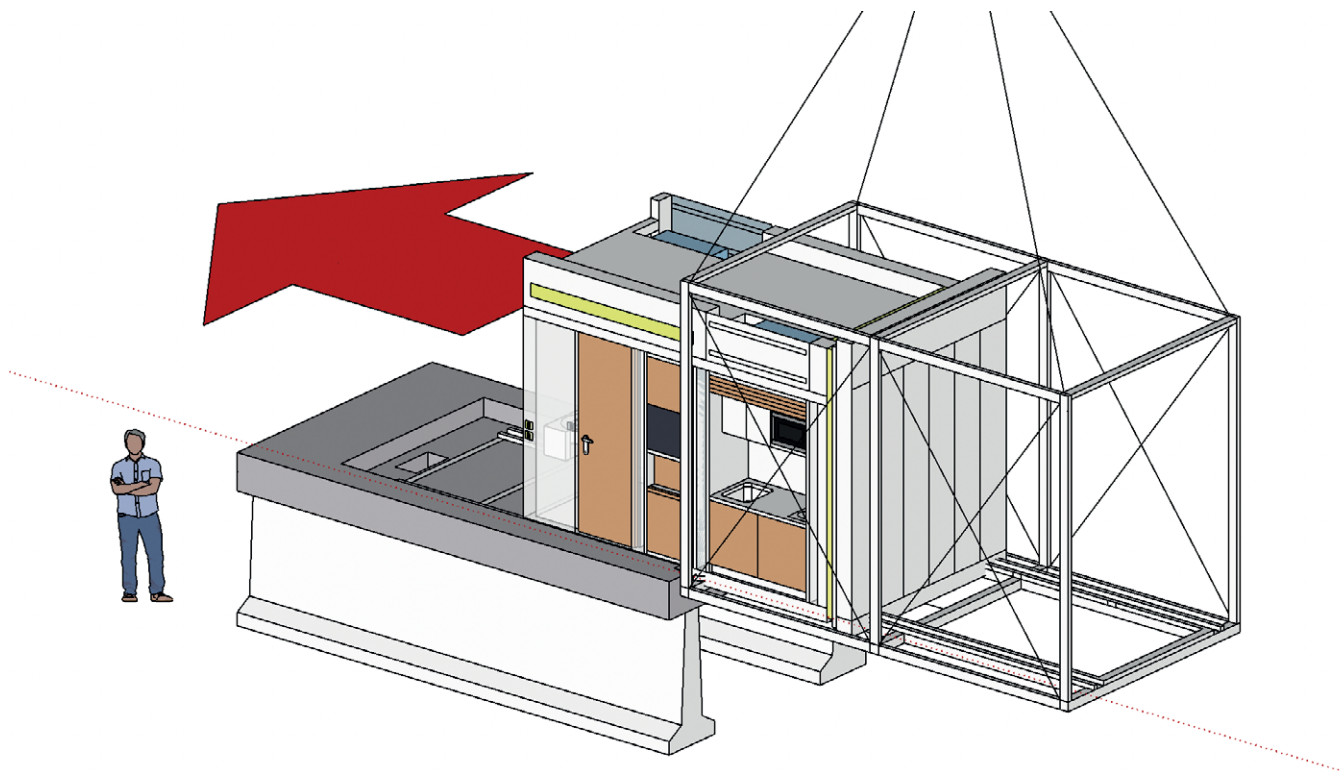
stato quello di costruire la base conoscitiva necessaria all'implementazione delle tecnologie non pienamente "adatte", così da sviluppare, successivamente, sia autonomamente come università, sia con le aziende partner, nuovi brevetti utili a rendere più completo ed efficace l'ecosistema PROXIMA.

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

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, industrialisation with off-site assembly, sensors, as well as the development of advanced solutions for digital transformation, and by a consortium of specialised installers) has allowed us to work on the modularisation of the components with a shorter life cycle. This offers the possibility of producing them off-site, identifying interface standardisation criteria and dimensional specifications that, in perspective, will be able to trigger sufficient savings for large-scale production. The maximum efficiency of the subsystems in relation to their life cycle was thus 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 defining the structural elements and assembly, it was decided, also for the sliding elements of the technomodulo, to use catalogue systems, to evaluate the limits of existing products, and to possibly develop *ad hoc* solutions that are 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 studied to make



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 commercializza-

zione, 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.

the PROXIMA ecosystem more complete and 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. This has improved 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 urbanisation, and of 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 systematised the production, 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 towards the creation of a specific university spin-off aimed at developing the idea and its commercialisation, also involving the partners who collaborated in the creation of the PoC. In short, what Etzkowitz theorised 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.

ACKNOWLEDGEMENTS

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

NOTES

¹The Enhancement Programme 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 Hospitalisation and Care (IRCCS) to be financed within the framework of the National Recovery and Resilience Plan, Mission 1 "Digitalisation, innovation, competitiveness, culture and tourism" – Component 2 "Digitalisation, innovation and competitiveness in the production system" – Investment 6 "Industrial property system" financed by the European Union – NextGenerationEU.

²The patent entitled "Modular building structure" was issued on October 29, 2021 by the Italian Patent and Trademark Office of the Ministry of

RICONOSCIMENTI

La ricerca è stata finanziata dal Programma di Valorizzazione “BOO-STECH”, bando competitivo finanziato dall’Unione Europea – NextGenerationEU. Gruppo di ricerca: Andrea Tartaglia (responsabile scientifico), Joseph di Pasquale (coordinatore), Gianpaolo Saverio Cugola (responsabile per i sistemi di elaborazione delle informazioni e i modelli digitali di gestione), Elena Mussinelli (responsabile per la progettazione tecnologica e ambientale), Giovanni Castaldo, Paolo Labbadini, Gianluca Luca, Roberto Mandurino.

NOTE

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 Come gli ecosistemi naturali che sono l’insieme degli organismi viventi e della materia non vivente che interagiscono in un determinato ambiente costituendo un sistema autosufficiente e in equilibrio dinamico, anche PROXIMA aspira a costituire un sistema in cui utenti e gestori (organismi viventi) e edificio (materia non vivente) attraverso un continuo scambio bidirezionale di informazioni possano instaurare un equilibrio dinamico finalizzato a gestire meglio gli scambi e gli usi di energia e risorse e a migliorare

Economic Development at the Politecnico di Milano with inventors: Elena Mussinelli, Andrea Tartaglia Gianpaolo Saverio Cugola, Joseph di Pasquale, Roberto Mandurino.

³ Like natural ecosystems, which are the set of living organisms and non-living matter that interact in a given environment to form a self-sufficient system in dynamic equilibrium, PROXIMA also aspires to form a system in which users and managers (living organisms) and buildings (non-living matter) can establish a dynamic equilibrium through a continuous two-way exchange of information aimed at better managing the exchanges and uses of energy and resources, and at improving the quality of the entire system’s responses to user needs. In fact, through the behavioural sensors integrated into the technomodule, the “building-person” system can be considered the organic

whole made up of the technological performances of building systems and the behavioural profiles of users for the purpose of their virtuous integration by triggering reward management dynamics and gamification during the life cycle.

⁴ 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.

⁵ 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

la qualità delle risposte dell’intero sistema alle esigenze degli utenti. Infatti, attraverso la sensoristica comportamentale integrata nel tecnomodulo è possibile considerare il sistema “edificio-persona” come l’insieme organico costituito dalle prestazioni tecnologiche dei sistemi edilizi e dai profili comportamentali degli utenti ai fini di una loro integrazione virtuosa attraverso l’innescio di dinamiche gestionali premiali e di gamification durante il ciclo di vita.

⁴ 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.

⁵ 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;

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 installers for the special systems and 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 which 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, besides developing and installing the assembly line for the technomodule, and assembling the PoC.

- 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 attrezzamenti mancanti necessari al completamento del prototipo, sviluppato e installato la linea di assemblaggio del tecnomodulo e assemblato il PoC.

Mussinelli, E., Tartaglia, A. and 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*, Vol. 13, 287-294. Available at: <https://doi.org/10.13128/Techne-19732>

REFERENCES

AA.VV. (2011), *Prefabrication and Modularization, increasing productivity in construction industry. Small market report*, McGraw-Hill construction, New York.

Bruni, G., De Napoli, L., Mattanò, V.M. and Morabito, A. (2020), “From Opportunity Identification to Concept Generation of Sustainable Modular Buildings”, in Cavas-Martínez, F., Sanz-Adan, F., Morer Camo, P., Lostado Lorza, R., Santamaría Peña, J. (Eds), *Advances in Design Engineering. IN-GEGRAF 2019*, Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, pp. 605-614. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-41200-5_66

Di Pasquale, J., Innella, F. and Bai, Y. (2020), “Structural Concept and Solution for Hybrid Modular Buildings with Removable Modules”, *Journal of Architectural Engineering*, Vol. 26, n. 3. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000423](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000423)

Etzkowitz, H., (1993), “Enterprises from science: the origins of science-based regional economic development”, *Minerva*, Vol. 31, n. 3, 326-360. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF01098626>

JCHS (2015), *Emerging trends in remodeling markets*, JCHS – Joint center for housing studies of Harvard University. Available at: https://www.jchs.harvard.edu/sites/default/files/jchs_improving_americas_housing_2015.pdf (Accessed on 23/10/2024).

Innella, F., Arashpour, M. and Bai, Y. (2019), “Lean methodologies and techniques for modular construction: Chronological and critical review”, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 145, n. 12. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001712](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001712)