

Elena Mussinelli, <https://orcid.org/0000-0002-4521-522X>

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

elena.mussinelli@polimi.it

“Ricerca e progetto. Trasferimento di conoscenze” è il titolo di un numero monografico di *TECHNE* pubblicato nel 2014, più di dieci anni fa quindi, sotto la direzione di Roberto Palumbo, *Editor in Chief* Maria Chiara Torricelli. Con la finalità di restituire «un quadro dell’impegno della ricerca nelle Tecnologie dell’Architettura per promuovere ricadute concrete nei contesti in cui opera, nei riguardi dei diversi operatori e soggetti coinvolti nel processo di trasformazione del territorio» (Torricelli, 2014).

Una intuizione anticipatrice per il mondo dell’architettura, considerando che l’interesse per il trasferimento tecnologico nelle università italiane era emerso in modo significativo solo agli inizi degli anni 2000 e soprattutto in ambito industriale, con l’affermarsi della cosiddetta “terza missione” degli atenei, in uno scenario di crescente enfasi sull’innovazione e sulla competitività del sistema Paese, sull’esempio di casi internazionali di successo. Anche con politiche e finanziamenti nazionali e regionali per incentivare queste attività, e la nascita di strutture – gli Uffici di Trasferimento Tecnologico (UTT) – dedicate a supportare il trasferimento di conoscenze e tecnologie dalle università verso il mondo delle imprese attraverso attività quali la gestione della proprietà intellettuale (brevetti) e la creazione di *spin-off*.

Se è vero che la collaborazione con gli operatori della produzione edilizia e con le istituzioni ha connotato l’area della Tecnologia dell’architettura sin dalle sue origini, non si può non rilevare che il mondo dell’architettura e delle costruzioni non è tipicamente soggetto attivo, quanto piuttosto destinatario di trasferimento tecnologico (più che “generare” innovazione riceve e adatta innovazioni prodotte in altri settori).

Alla scala della produzione del progetto, ad esempio, l’adozione di “tecnologie invisibili” maturate nell’area economico-gestionale ha indotto l’aggiornamento e la razionalizzazione del processo progettuale (sistemi qualità, strumenti di verifica e validazione, certificazioni, ecc.); analogamente, nel campo dell’innovazione dei processi produttivi, l’avvento della digitalizzazione e le Tecnologie dell’Informazione e della Comunicazione (ICT) hanno trasferito dall’ambito aerospaziale e manifatturiero strumenti quali il *Building Information Modeling* (BIM) per migliorare la progettazione e la gestione del ciclo di vita degli edifici, favorendo la collaborazione tra i diversi attori coinvolti. Sensori e dispositivi IoT (*Internet of Things*), ampiamente utilizzati in altri settori per il monitoraggio e la raccolta dati, vengono impiegati per la gestione intelligente dell’energia, della sicurezza e del comfort a scala urbana ed edilizia, mentre l’*additive manufacturing*, originariamente utilizzato nell’industria per la prototipazione rapida, sta trovando applicazioni crescenti nell’edilizia per la realizzazione di componenti costruttivi personalizzati, prototipi architettonici e interi edifici. Tecnologie robotiche e di automazione sviluppate dall’industria manifatturiera sono state adattate per eseguire compiti ripetitivi e pericolosi nei cantieri edili, migliorandone la sicurezza. E anche la realtà aumentata, inizialmente impiegata per l’intrattenimento e la formazione, è ormai utilizzata nell’architettura e nelle costruzioni per la visualizzazione immersiva dei progetti, la formazione del personale e la supervisione dei lavori in cantiere.

Dalla ricerca di frontiera tra le scienze naturali e le ingegneria – dalla microbiologia alla chimica, dalla bioingegneria all’agroecologia – provengono ancora, sempre a titolo di esempio, innovazioni sia di metodo (progettazione biofilica, soluzioni basate

RESEARCH AND DESIGN. KNOWLEDGE TRANSFER

“Research and project knowledge transfer” is the title of a monographic issue of *TECHNE*, published in 2014, over a decade ago, under the direction of Roberto Palumbo and Editor-in-Chief Maria Chiara Torricelli. The issue aimed to provide «an idea on the researches carried out inside Architectural Technology; this in order to promote concrete recurrences in the contexts in which it operates, aiming towards the different operators and subjects involved in the transformation process of the territory» (Torricelli, 2014).

This was a forward-looking intuition for the architectural field, especially considering that in Italy, significant interest in technology transfer within universities only began to emerge in the early 2000s, predominantly in the industrial sector, driven by the rise of the so-called “third mission” of univer-

sities. This shift occurred in a broader context of increasing emphasis on innovation and national competitiveness, inspired by successful international models. National and regional policies and funding mechanisms were introduced to encourage these activities, alongside the establishment of Technology Transfer Offices (TTOs), tasked with supporting the transfer of knowledge and technologies from academia to industry through initiatives such as intellectual property management (patents) and the creation of spin-offs.

Although collaboration with building industry stakeholders and public institutions has long characterised the field of Architectural Technology, it is important to acknowledge that the architecture and construction sector is not typically an active generator of technological innovation but rather a

recipient of innovations developed in other domains.

At the design production scale, for instance, the adoption of “invisible technologies” originating in economic and managerial domains has led to the rationalisation and modernisation of the design process (e.g., quality systems, validation tools, certification protocols). Likewise, in the domain of production process innovation, digitalisation and Information and Communication Technologies (ICT) have introduced tools such as Building Information Modelling (BIM) – originally from aerospace and manufacturing sectors – to enhance design quality and life cycle management, promoting interdisciplinary collaboration. Sensors and IoT (*Internet of Things*) devices, widely used in other sectors for monitoring and data collection, have been employed in buildings and urban

sulla natura, ecc.), sia di prodotto (biomateriali, materiali e prodotti catalitici, termo/foto-cromici, fotovoltaici, ecc.).

Più limitati sono invece i casi di innovazioni trasferite dal mondo delle costruzioni ad altri settori, con una decisa prevalenza di avanzamenti originatisi dalla ricerca industriale più che da quella universitaria (ad esempio nel caso dei materiali leggeri e resistenti, come i compositi fibrorinforzati, impiegati nei settori dell'aerospaziale e dell'*automotive* per ridurre il peso dei veicoli e migliorare l'efficienza, o dei materiali isolanti ad alte prestazioni – aerogel e schiume – sviluppati per l'edilizia sostenibile applicati per l'abbigliamento tecnico).

In generale, occorre rilevare il permanere di fattori di arretratezza del settore delle costruzioni italiano: per l'elevata frammentazione, con la prevalenza di piccole e medie imprese (PMI), per la scarsità di risorse e una limitata propensione sia all'investimento in ricerca e sviluppo, sia all'adozione di tecnologie e standard innovativi, con una ancora scarsa consapevolezza circa i benefici da questi derivanti. Condizione favorita da crisi economiche cicliche e da politiche di incentivazione anche consistenti (almeno negli ultimi anni), ma fluttuanti e discontinue.

Le tecnologie digitali stentano ancora a penetrare diffusamente nei processi produttivi: secondo i dati Istat 2023, le PMI che operano nelle costruzioni mostrano un'adozione di tecnologie digitali al di sotto della media delle PMI italiane (il 67,2% possiede un sito web, contro una media del 74,2% il 36,1% utilizza un software aziendale evoluto, contro una media del 48,7% e solo il 13,8% analizza dati aziendali, contro una media del 24,9%). Pur essendo in crescita l'adozione di strumenti BIM, anche per l'impatto di appositi provvedimenti normativi nel campo delle opere pubbliche, permane una importante carenza

di manodopera qualificata (la Global Housebuilders' Survey del 2024 stima la necessità di quasi 3 milioni di unità di personale mancanti, evidenziando come, nell'UE, un lavoratore edile su 10 sia ancora privo di sufficienti competenze digitali).

Si registra quindi una ancora limitata capacità del settore ad assorbire e implementare efficacemente l'innovazione proveniente da altri comparti produttivi o sviluppate nel mondo della ricerca. Poche sono ancora le collaborazioni con centri di ricerca e *start-up* innovative, frenate anche dalla complessità delle procedure burocratiche e forse anche da una certa sfiducia circa la possibilità di trarre benefici significativi dall'introduzione di nuove tecnologie o materiali che non rientrano in standard consolidati, e per ciò di più difficile adozione su larga scala, preferendo soluzioni consolidate e con un *track record* più lungo.

D'altra parte, l'arretratezza del settore deriva essa stessa da un trasferimento tecnologico insufficiente, che non è adeguatamente alimentato dall'interazione con altri settori tecnologicamente avanzati, né dalla ricerca accademica, che spesso fatica a trovare e a comunicare efficacemente le applicazioni pratiche dei propri avanzamenti. Una sorta di circolo vizioso, quindi, nel quale le criticità strutturali del settore delle costruzioni ostacolano il trasferimento tecnologico, mentre, a sua volta, la limitata attitudine all'innovazione contribuisce a mantenere il settore in una condizione di relativa arretratezza in termini di produttività, efficienza e competitività.

Per superare queste sfide, è necessario un impegno congiunto da parte delle imprese, delle istituzioni e del mondo della ricerca per promuovere la digitalizzazione, investire in formazione e innovazione, semplificare la burocrazia e favorire la collaborazione e l'apertura verso nuove tecnologie.

settings to optimise energy use, safety, and comfort. Additive manufacturing, initially developed for rapid prototyping in industry, is now being applied in construction for the fabrication of customised building components, architectural prototypes, and even entire structures. Robotics and automation technologies from manufacturing have been adapted to perform repetitive and hazardous tasks on construction sites, improving safety. Even augmented reality – once used primarily for entertainment and training – is now leveraged for immersive project visualisation, staff training, and construction site supervision.

Frontier research between the natural sciences and engineering disciplines – from microbiology to chemistry, bioengineering to agroecology – has also contributed both methodological innovations (e.g., biophilic design,

nature-based solutions) and product innovations (e.g., biomaterials, catalytic, thermochromic, photochromic, and photovoltaic materials).

By contrast, there are fewer examples of innovations transferred from the construction industry to other sectors, and those that do exist typically stem from industrial rather than academic research. Notable exceptions include the development of lightweight, high strength materials such as fibre-reinforced composites – used in aerospace and automotive industries to reduce vehicle weight and improve efficiency – or high performance insulation materials like aerogels and foams, initially developed for sustainable building but later adopted for technical apparel.

Overall, the Italian construction sector continues to exhibit structural backwardness due to factors such as high fragmentation (dominated by

small and medium-sized enterprises), limited financial resources, and a low inclination toward R&D investment and adoption of innovative technologies and standards. Awareness of the potential benefits remains limited, a condition exacerbated by recurring economic crises and inconsistent incentive policies, which – despite being substantial in recent years – have lacked continuity.

Digital technologies are still struggling to penetrate construction processes. According to 2023 ISTAT data, SMEs in the construction sector lag behind the average Italian SME in digital adoption (67.2% have a website, compared to the 74.2% average; 36.1% use advanced business software vs. 48.7%; and only 13.8% engage in data analytics, compared to 24.9%). Although BIM adoption is growing – partly due to regulations on public

works – there remains a significant shortage of skilled labour. The Global Housebuilders' Survey 2024 estimates a shortfall of nearly 3 million workers across the EU, noting that one in ten construction workers still lacks basic digital skills.

Thus, the sector still demonstrates a limited capacity to absorb and implement innovations originating from other industries or the research domain. Collaborations with research centres and innovative start-ups remain rare, hindered by bureaucratic complexity and perhaps also by scepticism toward new technologies or materials that lack an established track record, making them difficult to scale. As a result, established solutions with proven reliability are often preferred. This structural lag is both a cause and a consequence of insufficient technology transfer. It is neither adequately

Ma guardando in particolare al contributo degli studi e della ricerca scientifica nell'area dell'architettura e del progetto, cosa è cambiato in quest'ultimo decennio?

Permangono le peculiarità già evidenziate da Maria Chiara Torricelli (Torricelli, 2014) con forme e modalità di trasferimento legate alla natura intrinseca delle discipline del progetto, dove l'innovazione è il risultato di un'interazione complessa e multidisciplinare che coinvolge diverse aree del sapere, ma dai contributi raccolti in questo numero di *TECHNE* emergono anche dinamiche evolutive interessanti.

Un primo fronte concerne l'imprenditorialità accademica, certamente cresciuta, con una buona rappresentanza di brevetti, *start-up*, *innovation center* e incubatori che operano sui temi della resilienza climatica e ambientale in ambito urbano; ad esempio con diversi *spin-off* accademici che hanno sviluppato modelli di *governance*, applicazioni digitali avanzate e sistemi automatizzati per il monitoraggio e la gestione di edifici e patrimoni immobiliari, per il miglioramento delle performance strutturali ed energetiche dell'ambiente costruito, e per la valorizzazione e l'accessibilità ai siti del patrimonio culturale. Realtà rivolte quindi soprattutto alle istituzioni pubbliche, ma aperte a e partecipate da soggetti privati che operano in tali settori. Anche con significative collaborazioni tra università, enti di ricerca e soggetti non accademici, quali istituzioni locali e nazionali, grandi e piccole aziende e loro associazioni, con l'obiettivo di creare nuove e più integrate filiere – veri e propri “ecosistemi di innovazione” – tra diversi attori economici e istituzionali (secondo il modello emergente della “quintupla elica”).

Un secondo ambito riguarda iniziative di cooperazione tra università e industria nella ricerca e nella sperimentazione, formaliz-

zate attraverso accordi di collaborazione scientifica e convenzioni, con esiti rilevanti in termini di innovazione negli strumenti di supporto decisionale e dei modelli informativi per l'ottimizzazione delle risorse, e con brevetti e prototipi realizzati, e la correlata generazione di *spin-off* accreditati: esperienze promosse e attuate da ricercatori universitari che si sono attivati per coinvolgere diversi partner offrendo loro attendibili scenari di fattibilità e concrete opportunità di applicazione e innovazione dei loro prodotti, ricevendo di contro dalle imprese un supporto altrettanto competente e concreto, indispensabile per l'attuazione del progetto.

Emerge poi la rilevanza della missione sociale dell'università nel contesto di progetti di *public engagement*, per trasferimento e la coproduzione di conoscenze utili per la valorizzazione dell'ambiente costruito. Il rapporto tra atenei e società civile appare infatti consolidato e particolarmente ricco di prospettive, per le concrete ricadute nei territori in termini di impatto socioeconomico, ambientale e culturale. Una “quarta missione” dell'università che si gioca ancora una volta dentro al modello della quintupla elica, per una “*governance* dell'innovazione sociale” che la vede cooperare con le amministrazioni pubbliche – in primis gli enti locali e territoriali –, le imprese e i soggetti privati che esprimono un chiaro impegno di responsabilità sociale, le istituzioni della conoscenza e la società civile in forma più o meno organizzata (terzo settore e “pubblico non organizzato”) (Carol Rose, 1986).

Se la forte spinta all'internazionalizzazione della ricerca e della produzione pubblicistica che ha caratterizzato gli ultimi decenni tende ad accentuare – e a premiare in termini di valutazione – apporti e approfondimenti di tipo specialistico (anche con ricadute non sempre positive), è nel rapporto con i territori di appartenenza che si possono cogliere opportunità di ricerca

fuelled by interaction with technologically advanced sectors, nor effectively supported by academic research, which often struggles to translate and communicate its findings into practical applications. This creates a vicious cycle in which the sector's structural deficiencies inhibit innovation, while limited innovation capacity reinforces its relative stagnation in terms of productivity, efficiency, and competitiveness.

Overcoming these challenges requires coordinated action by businesses, public institutions, and the academic sector to promote digitalisation, invest in training and innovation, streamline bureaucracy, and foster openness to new technologies.

Focusing more specifically on the contribution of academic research in architecture and design: what has changed over the past decade?

The peculiarities identified by Maria Chiara Torricelli (Torricelli, 2014) still remain – particularly the inherently disciplinary-specific modalities of knowledge transfer, where innovation results from complex and multidisciplinary interactions – but the contributions collected in this issue of *TECHNE* also reveal some significant evolutions.

One concerns academic entrepreneurship, which has notably expanded, with an increasing presence of patents, start-ups, innovation centres, and incubators operating on themes such as urban climate and environmental resilience. These include academic spin-offs developing governance models, advanced digital applications, and automated systems for monitoring and managing buildings and real estate assets, aimed at improving structural and energy performance, as well as

enhancing the accessibility and value enhancement of cultural heritage sites. These initiatives primarily target public institutions but are open to, and often include, the participation of private actors operating in these sectors. They also involve significant collaborations between universities, research institutions, and non-academic stakeholders (including local and national administrations, companies of various sizes, and business associations) with the goal of forming integrated value chains – true “innovation ecosystems” – among diverse economic and institutional actors, according to the emerging “quintuple helix” model.

A second area involves university-industry cooperation in research and experimentation, often formalised through scientific collaboration agreements, leading to significant innovations in decision-support tools and

information models for resource optimisation, as well as the development of patents, prototypes, and accredited spin-offs. These experiences are led by university researchers who proactively engage partners by offering credible feasibility scenarios and tangible opportunities for product innovation. In return, they receive practical and expert support from companies – crucial for project implementation.

Another significant trend is the increasing relevance of the university's social mission, particularly through public engagement projects aimed at transferring and co-producing knowledge to enhance the built environment. The relationship between academia and civil society appears increasingly consolidated and promising in terms of socio-economic, environmental, and cultural impact. This “fourth mission” of the university is also framed within

e sperimentazione particolarmente in linea con la vocazione dell'istituzione universitaria, quale soggetto impegnato nel promuovere e supportare visioni di sviluppo locale anche critiche, scientificamente avanzate e culturalmente attrezzate.

Metodi, processi e strumenti di *co-governance*, condivisione della conoscenza, *co-design*, *co-testing* e *co-management* sono alla base di un ampio panel di esperienze che innovano i processi progettuali, decisionali e valutativi favorendo ampie collaborazioni con soggetti non accademici (enti e istituzioni pubbliche, agenzie, professionisti, imprenditori, *policymakers*, associazioni, ecc.) e una più robusta e competente partecipazione delle comunità locali: per costruire ecosistemi collaborativi (non a caso si parla spesso di co-città e co-territori), anche variabili nel tempo e nel loro assetto geografico, in funzione del modificarsi dei bisogni collettivi. E i temi al centro di queste progettualità riguardano le principali sfide dell'oggi e del domani: la transizione ecologica delle città e dei territori, la rigenerazione delle aree interne e/o fragili, la riattivazione dei patrimoni pubblici, la rigenerazione degli spazi collettivi, l'accessibilità ai servizi urbani e la mobilità sostenibile, la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, la gestione dei rischi ambientali di origine naturale e antropica, la tutela della biodiversità e degli ecosistemi, il rapporto tra qualità ambientale e salute, le soluzioni *bio-based* per l'edilizia... Con iniziative regolate da accordi interistituzionali e/o partenariati estesi che agiscono frequentemente attraverso la realizzazione di *living lab*, *workshop* e piattaforme per l'innovazione eco-sociale, e che appaiono per molti versi dare risposta alla mancata attuazione istituzionale di un vero decentramento amministrativo e decisionale, esplorando di fatto nuovi modelli di democrazia deliberativa.

the quintuple helix model, aiming at a "governance of social innovation" that includes collaboration with public administrations – especially local and regional authorities – private actors with a demonstrated commitment to social responsibility, knowledge institutions, and organised or informal civil society (third sector and "unorganised public") (Carol Rose, 1986).

While the recent push toward the internationalisation of research and academic publishing has both emphasised and rewarded specialist contributions (not always with positive consequences), it is often through engagement with local territories that research and experimentation find opportunities most aligned with the university's mission of supporting and advancing scientifically grounded and culturally informed visions of local development. Methods, processes, and tools of

co-governance, knowledge sharing, co-design, co-testing, and co-management underpin a broad spectrum of experiences that innovate design, decision-making, and evaluation processes. These foster wide collaboration with non-academic actors (public agencies, professionals, entrepreneurs, policymakers, associations, etc.), and the informed and active participation of local communities. The aim is to build collaborative ecosystems – often referred to as co-cities and co-territories – which evolve over time and space in response to changing collective needs. The topics at the core of these initiatives reflect today's and tomorrow's key challenges, namely ecological transition of cities and territories, regeneration of fragile or inner areas, reactivation of public assets, revitalisation of collective spaces, accessibility to urban services and

Infine, ma non da ultimo proprio in questa prospettiva, in quasi tutti i contributi ricorre il tema della formazione, nelle sue varie forme: dalla sensibilizzazione e capacitazione delle comunità coinvolte, all'innovazione dei metodi e dei contenuti nella didattica del progetto, sino all'aggiornamento continuo e alla preparazione di figure professionali del tutto nuove, capaci di muoversi nelle articolate intersezioni disciplinari che sempre più connotano l'attività progettuale.

REFERENCES

- Rose, C. (1986), "The Comedy of the Commons: Custom, Commerce, and Inherently Public Property", in: University of Chicago Law Review, Vol. 53: n. 3. Available at: <https://chicagounbound.uchicago.edu/uclrev/vol53/iss3/1>.
- Torricelli, M.C. (2014), "Ricerca e progetto: problematiche ed esperienze in atto dell'area tecnologica italiana, *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 8, pp. 6-7. Available at: <https://oaj.fupress.net/index.php/techne/issue/view/349/30>.
- Iaione, C. and De Nictolis E. (2016), *La quintupla elica come approccio alla governance dell'innovazione sociale I luoghi dell'innovazione aperta*, in: Montanari F. and Mizzau L. (Eds), "Modelli di sviluppo territoriale e inclusione sociale", Quaderni Fondazione G. Brodolini, Studi e Ricerche, pp. 75-89.
- Karrer, F. (2022). "Buildings, city and territory between real complexity and decision-making reductivism", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 23, pp. 21-25. Available at: <https://doi.org/10.36253/techne-12916>.
- PlanRadar (2024). Global Housebuilders' Survey 2024. Indagine globale sull'edilizia residenziale. Approfondimenti, aspettative, sfide e soluzioni del settore da parte di 669 costruttori di case in 17 Paesi. Available at: <https://www.planradar.com/it/ebooks/indagine-globale-edilizia-residenziale/>.

sustainable mobility, climate change mitigation and adaptation, management of environmental risks (both natural and anthropogenic), biodiversity and ecosystem protection, environmental quality and health, and bio-based solutions for construction. These initiatives are often governed by inter-institutional agreements and broad partnerships operating through living labs, workshops, and eco-social innovation platforms, which in many respects compensate for the institutional failure to implement genuine administrative and decision-making decentralisation – thus exploring new models of deliberative democracy. Finally, and significantly within this perspective, nearly all the contributions emphasise the central role of education in its various forms, from awareness-raising and capacity-building within communities to the innova-

tion of teaching methods and content in design education, and continuous professional development. This includes the training of entirely new professional profiles capable of operating within the increasingly complex and interdisciplinary environments that characterise contemporary design practice.