

Fernanda Speciale¹, <https://orcid.org/0000-0001-6844-9785>

Hector Archila², <https://orcid.org/0000-0001-5455-8016>

Laura Elisabetta Malighetti¹, <https://orcid.org/0000-0003-1964-8934>

¹ Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

² Faculty of Environment and Technology, University of the West of England, United Kingdom

fernanda.speciale@polimi.it

Hector.Archila@uwe.ac.uk

laura.malighetti@polimi.it

Abstract. Il contributo esplora il processo di interazione tra i diversi attori nell'ambito del progetto SmartBioC, sviluppato dall'UWE (Bristol) in collaborazione con il Politecnico di Milano, come esempio di trasferimento tecnologico per promuovere l'uso di materiali *bio-based* nell'edilizia sostenibile. Attraverso un approccio partecipativo, il progetto ha coinvolto oltre 50 *stakeholder*, tra cui accademici, professionisti, imprenditori edili, *polycymakers* e utenti finali, mediante *workshop* interattivi e strumenti ludici. I risultati evidenziano una maggiore consapevolezza nell'uso dei materiali *bio-based*, nuove reti tra ricerca e industria e strumenti decisionali innovativi, contribuendo agli obiettivi del trasferimento di conoscenze e di terza missione.

Parole chiave: Trasferimento tecnologico; Materiali *bio-based*; Processi partecipativi; Analisi multi criteriiale.

Introduzione

Il settore delle costruzioni rappresenta uno dei principali responsabili dell'attuale crisi climatica, contribuendo per il 36% al consumo energetico globale e per il 39% alle emissioni di CO₂ legate all'energia (UN Environment and International Energy Agency, 2017).

Per anni l'attenzione è stata rivolta alla riduzione delle emissioni operative attraverso strategie di efficienza energetica e fonti rinnovabili. Tuttavia, studi recenti evidenziano la necessità di un approccio più ampio, considerando le emissioni incorporate lungo l'intero ciclo di vita degli edifici, derivanti da produzione, trasporto e costruzione dei materiali (Passer *et al.*, 2019; Röck *et al.*, 2020). Per tale motivo, la Commissione Europea ha sottolineato l'urgenza di pratiche costruttive più efficienti nell'uso delle risorse, contrastando le tendenze allarmanti di estrazione e

consumo di materiali (United Nations Environment Programme, 2019). In risposta a queste sfide, il settore delle costruzioni sta gradualmente adottando materiali a basso impatto, capaci di supportare gli obiettivi di decarbonizzazione, nonché sostenibili, adattando le esigenze umane ai limiti ecologici del pianeta, privilegiando la disponibilità locale e riducendo la dipendenza da materiali ad alto impatto ambientale. L'investimento in filiere locali basate su materiali con capacità di stoccaggio del carbonio può giocare un ruolo chiave nel raggiungimento della neutralità climatica, promuovendo anche modelli economici e sociali più resilienti e sostenibili (Boelen, Dos Reis Martins and Dumoncel d'Argence, 2023). La complessità dei processi decisionali nel settore edilizio richiede dunque un approccio olistico capace di integrare parametri ambientali, economici e sociali già nelle prime fasi della progettazione, nonché di gestire la complessità degli attori coinvolti nel processo progettuale.

In questo contesto, i materiali da costruzione *bio-based* stanno suscitando un crescente interesse per i loro numerosi vantaggi ambientali, tra cui l'uso di risorse biogeniche, la capacità di stoccaggio del carbonio e la riduzione delle emissioni di gas serra, oltre al miglioramento della qualità degli ambienti interni (Weiss *et al.*, 2012).

Nonostante i significativi progressi nello sviluppo di materiali biogenici a basso impatto, la loro diffusione nel settore edilizio rimane limitata, evidenziando una netta dicotomia tra l'avanzamento scientifico e l'applicazione concreta. Mentre in ambito accademico e sperimentale emergono soluzioni innovative con

Knowledge Transfer and Co-Production for the Adoption of Bio-Based Solutions in Construction

Abstract. This paper explores the process of interaction among various stakeholders within the SmartBioC project, developed by UWE (Bristol) in collaboration with the Politecnico di Milano, as an example of technology transfer to promote the use of bio-based materials in sustainable construction. Through a participatory approach, the project engaged over 50 stakeholders through interactive workshops and gamification tools, including academics, professionals, construction entrepreneurs, *polycymakers*, and end users. The results highlight increased awareness, new networks between research and industry, and innovative decision-making tools, contributing to the objectives of knowledge transfer and Third Mission.

Keywords: Technological Transfer; Bio-based Materials; Participatory Process; Multi-criteria Analysis.

Introduction

The construction sector is one of the primary contributors to the current climate crisis, accounting for 36% of global energy consumption and 39% of CO₂ emissions related to energy use (UN Environment and International Energy Agency, 2017).

For years, attention has been focused on reducing operational emissions through energy efficiency strategies and renewable sources. However, recent studies highlight the need for a broader approach considering embodied emissions throughout the entire building lifecycle, including material production, transportation, and construction (Passer *et al.*, 2019; Röck *et al.*, 2020). In this regard, the European Commission has emphasised the urgency of more resource-efficient construction practices, countering alarming trends in material extraction

and consumption (United Nations Environment Programme, 2019). In response to these challenges, the construction sector is gradually adopting low impact materials that can support decarbonisation goals. These materials are also regenerative, aligning human needs with the planet's ecological limits by prioritising local availability and reducing dependence on high impact materials. Investing in local supply chains based on carbon-storing materials can be crucial in achieving climate neutrality. Such initiatives also promote more resilient and sustainable economic and social models (Boelen, Dos Reis Martins and Dumoncel d'Argence, 2023). Thus, the complexity of decision-making processes in the construction sector requires a holistic approach that integrates environmental, economic, and social parameters from the early design phases, while

elevate prestazioni e ridotto impatto ambientale, l'industria edilizia continua a fare ampio uso di materiali tradizionali, spesso ad alta intensità di carbonio. Le cause di questa riluttanza sono molteplici e interconnesse, come il costo, talvolta superiore, di queste soluzioni emergenti, dovuto alla mancanza di una produzione su scala industriale che ne riduce la competitività economica rispetto ai materiali convenzionali (Göswein *et al.*, 2022). Un altro limite è l'assenza di certificazioni specifiche e di normative standardizzate, rendendo l'integrazione di nuovi materiali nei progetti edilizi più complessa a causa dei necessari test di certificazione secondo norme sviluppate per materiali fossili (Vrins, 2018; Koster *et al.*, 2020). Ad essi si aggiunge il limitato aggiornamento dei professionisti del settore e la predominanza di pratiche consolidate che contribuiscono a creare un clima di incertezza e scarsa fiducia nei confronti delle soluzioni biogeniche innovative, nonché un pregiudizio legato alla percezione di questi materiali come meno durevoli o performanti rispetto alle alternative convenzionali (Rabbat *et al.*, 2022).

Per superare queste barriere, è fondamentale un processo strutturato di trasferimento tecnologico e di diffusione della conoscenza, che parta dalla formazione accademica per poi coinvolgere i diversi attori della filiera edilizia. Le università svolgono un ruolo cruciale di catalizzatori e mediatori tra ricerca, industria e società, promuovendo l'adozione di soluzioni sostenibili attraverso attività di divulgazione, collaborazione con le imprese, aggiornamento professionale e sviluppo di strumenti normativi adeguati.

In tal senso, il trasferimento di conoscenze e la co-produzione rappresentano pilastri fondamentali delle strategie di innovazione nell'ambito della Terza Missione delle Università, configu-

randosi come strumenti privilegiati per la valorizzazione della ricerca scientifica e il rafforzamento delle sinergie tra accademia, industria e società (De Saint Mihiel, 2019). Tale approccio si innesta in una visione più ampia che riconosce alla conoscenza un valore strategico per la competitività del tessuto produttivo e per la sostenibilità dello sviluppo economico e sociale.

La crescente complessità del settore edilizio, caratterizzato da una frattura tra la rigidità dei processi produttivi e l'aleatorietà delle dinamiche ambientali e socioeconomiche, impone un ripensamento delle strategie di trasferimento tecnologico (Losasso, 2014). L'innovazione nel settore delle costruzioni non può limitarsi all'introduzione di nuove tecnologie, ma deve includere una dimensione cognitiva e organizzativa capace di integrare saperi disciplinari diversi e promuovere la co-creazione di conoscenza tra università, imprese e *policy makers*. Il trasferimento tecnologico non si configura più come un processo lineare, bensì come un ecosistema di interazioni iterative e multidirezionali, dove la ricerca applicata si intreccia con sperimentazioni di progettazione partecipata (Bornmann, 2013).

L'istituzione di Distretti Tecnologici e l'avvio di partenariati pubblico-privati sono esempi emblematici di come il trasferimento di conoscenze possa tradursi in una leva per la crescita territoriale, favorendo la creazione di reti collaborative e l'accelerazione dell'adozione di soluzioni tecnologiche innovative (Claudi De Saint Mihiel, 2024).

In questo contesto si inserisce il progetto *SmartBioC*¹, sviluppato dall'*University of the West of England* (UWE) di Bristol in collaborazione con il Politecnico di Milano, come esempio paradigmatico di trasferimento di conoscenze nel campo dell'edilizia sostenibile. Il progetto ha adottato un approccio meto-

managing the diverse actors involved in the design process.

In this context, bio-based construction materials are gaining increasing interest for their numerous environmental benefits, including the use of biogenic resources, carbon storage capacity, reduction of greenhouse gas emissions, and the improvement of indoor environmental quality (Weiss *et al.*, 2012). Despite significant advancements in developing low impact biogenic materials, their widespread adoption in the construction sector remains limited, revealing a distinct gap between scientific progress and practical application. While innovative solutions with high performance and reduced environmental impact emerge in academic and experimental settings, the construction industry continues to predominantly use traditional, often carbon-intensive, materials. Multi-

ple interconnected factors contribute to this reluctance. One major barrier is cost, as emerging solutions can be more expensive due to the lack of industrial-scale production, reducing their economic competitiveness compared to conventional materials (Göswein *et al.*, 2022). Another barrier is the lack of specific certifications and standardised regulations, which complicates the integration of these materials into construction projects, as they require rigorous testing under standards developed for fossil-based materials (Vrins, 2018; Koster *et al.*, 2020). Further obstacles include the limited awareness among industry professionals and the dominance of established practices, which create uncertainty and distrust towards innovative biogenic solutions. Moreover, there is a persistent bias in perceiving these materials as less durable or ef-

ficient than conventional alternatives (Rabbat *et al.*, 2022).

To overcome these barriers, a structured process of technology transfer and knowledge dissemination is essential, beginning with academic education and extending to various actors in the construction industry. Universities play a crucial role as catalysts and mediators between research, industry, and society, promoting the adoption of sustainable solutions through dissemination activities, collaboration with businesses, professional training, and the development of appropriate regulatory tools.

In this sense, knowledge transfer and co-production are fundamental pillars of innovation strategies within the Third Mission of universities, serving as key tools for enhancing scientific research and strengthening synergies between academia, industry, and

society (De Saint Mihiel, 2019). This approach aligns with a broader vision that recognises knowledge as a strategic asset for the competitiveness of the production system and the sustainability of economic and social development.

The increasing complexity of the construction sector, characterised by a divide between the rigidity of production processes and the unpredictability of environmental and socio-economic dynamics, necessitates rethinking of technology transfer strategies (Losasso, 2014). Innovation in the construction sector should not be limited to introducing new technologies but should also include a cognitive and organisational dimension capable of integrating different disciplinary knowledge and promoting co-creation between universities, businesses, and policymakers. In this framework,

dologico innovativo, basato su *workshop* interattivi e strumenti ludici, coinvolgendo oltre 50 *stakeholder* tra ricercatori, progettisti, produttori di materiali e *policy maker*.

La ricerca si è posta l'obiettivo di ascoltare, discutere e registrare i punti di vista e le esperienze di un gruppo eterogeneo di attori del settore edilizio, creando uno spazio di confronto in cui ispirare e condividere conoscenze partendo dal tema: «How to speed up the uptake of biobased building solutions to provide zero-carbon, healthy, and socially and economically viable solutions for the built environment?». Un elemento chiave è stato il trasferimento dell'approccio metodologico e dei risultati scientifici ottenuti nei mesi di ricerca precedenti la giornata di studio, per evidenziare i benefici di soluzioni *bio-based* e promuoverne l'adozione diffusa, facilitando l'incontro tra innovazione e applicazione pratica. Parallelamente, il progetto ha mirato alla costruzione di reti collaborative, stimolando una partecipazione attiva e sostenibile nel tempo e generando azioni concrete, traducibili in un "libro bianco" che delinea i fattori abilitanti per la transizione del settore verso un futuro a zero emissioni di carbonio.

I risultati ottenuti dimostrano che processi partecipativi strutturati non solo rafforzano la consapevolezza collettiva sulle potenzialità delle soluzioni *bio-based*, ma possono generare strumenti decisionali innovativi, evidenziando come un trasferimento tecnologico efficace, basato sulla collaborazione multi-attoriale, sia un elemento strategico per accelerare la transizione ecologica, rendendola più inclusiva e resiliente.

Metodologia

La selezione degli *stakeholder* ha incluso attori pubblici e privati, tra cui accademici, studenti, professionisti nell'industria dei ma-

teriali da costruzione, imprenditori edili, consulenti, autorità locali, *policy maker* e associazioni. Tale pluralità ha consentito di affrontare le complesse sfide della transizione verso un'edilizia sostenibile e inclusiva, garantendo l'equilibrio tra i diversi interessi rappresentati. In linea con gli obiettivi della "Missione 4" del PNRR, che promuove processi di coinvolgimento diretto, gli attori hanno preso parte all'evento organizzato presso il *Frenchay Campus* della UWE nel luglio 2024, articolato in una giornata che ha alternato la presentazione della ricerca *SmartBioC* tramite risultati e applicazioni dimostrative, la condivisione di processi virtuosi, raccontati direttamente dai protagonisti, e una serie di attività mirate a favorire l'interazione e lo sviluppo condiviso di conoscenze. Tra queste, tre *workshop* sulla valutazione strategica dei materiali edili hanno permesso ai partecipanti di analizzarne gli aspetti ambientali, sociali, umani, produttivi e finanziari, sul modello teorizzato da J. Porritt (Porritt, 2012), generando *output* condivisi tramite *moodboard*, questionari digitali e *simulation game*. La metodologia si è avvalsa della raccolta di *feedback* sia direttamente durante l'evento, che tramite questionari somministrati successivamente a una comunità più ampia.

Selezione ed eterogeneità degli attori coinvolti

Il successo dell'iniziativa di trasferimento tecnologico dipende in larga misura dalla selezione e dalla diversità degli attori. Per garantire un dibattito ricco e stimolante, sono stati coinvolti *stakeholder* appartenenti a 12 categorie del settore delle costruzioni nel Regno Unito, come illustrato in Fig. 1. Gli inviti sono stati spediti via email e accompagnati da un questionario di registrazione che permetteva di raccogliere informazioni sui partecipanti.

technology transfer is no longer a linear process but rather an ecosystem of iterative and multidirectional interactions, where applied research intertwines with participatory experimentation (Bornmann, 2013).

The establishment of Technology Districts and the launch of public-private partnerships are emblematic examples of how knowledge transfer can serve as a lever for territorial growth, fostering the creation of collaborative networks and accelerating the adoption of innovative technological solutions (Claudi De Saint Mihiel, 2024).

Within this framework, the *SmartBioC* project, developed by the University of the West of England (UWE) in Bristol in collaboration with the Politecnico di Milano, is a paradigmatic example of knowledge transfer and co-production in sustainable construction. The project employed an

innovative methodological approach based on interactive workshops and gamification tools, engaging over 50 stakeholders, including researchers, designers, material manufacturers, and policymakers. The results aimed to listen, discuss, and record the perspectives and experiences of a diverse group of construction sector stakeholders, creating a space for knowledge sharing based on the question: «How to speed up the uptake of bio-based building solutions to provide zero-carbon, healthy, and socially and economically viable solutions for the built environment?». A key element was the transfer of methodological approaches and scientific results obtained in previous research phases to highlight the benefits of bio-based solutions and promote their widespread adoption. Parallely, the project aimed at building collaborative networks, fostering active and sustain-

able participation over time. Another key objective was to generate concrete actions, culminating in a white paper outlining the enabling factors for the sector's transition toward a net-zero carbon future.

The results demonstrate that structured participatory processes strengthen collective awareness of the potential of bio-based solutions and generate innovative decision-making tools. Furthermore, they highlight how effective technology transfer, based on co-creation and multi-stakeholder collaboration, is a strategic element in accelerating the ecological transition in the construction sector, making it more inclusive and resilient.

Methodology

The selection of stakeholders included public and private actors, such as academics, students, professionals in the

construction materials industry, building entrepreneurs, consultants, local authorities, policymakers, and associations. This diversity addressed the complex challenges of transitioning to a regenerative and inclusive built environment, while balancing the various represented interests. In line with the objectives of "Mission 4" of the Italian National Recovery and Resilience Plan (PNRR), which promotes direct engagement processes, stakeholders participated in an event organised at UWE's Frenchay Campus in July 2024. The event was structured as a full day session, alternating between the presentation of the *SmartBioC* research, through results and demonstrative applications, the sharing of best practices directly from key industry players, and a series of activities designed to foster interaction and knowledge co-production. Among these, three workshops

01 | Numero di partecipanti per tipologia che hanno preso parte all'evento
Number of participants by type who took part in the event

02 | Schema della scaletta dell'evento, composto da presentazioni, attività di gruppo, dimostrazioni e discussione finale
Outline of the event schedule, consisting of presentations, group activities, demonstrations, and final discussion



Nel giorno dell'evento, la struttura dei tavoli di lavoro è stata attentamente organizzata per massimizzare il confronto interdisciplinare. Durante la registrazione iniziale, ai partecipanti è stato assegnato un colore corrispondente a un tavolo, con l'obiettivo di garantire gruppi eterogenei composti da 5-7 persone. Questa scelta ha favorito una discussione diversificata, arricchita dall'interazione tra professionalità e *background* differenti, con il fine ultimo di stimolare il dialogo su opportunità e criticità legate all'adozione di materiali sostenibili nel settore edilizio.

Organizzazione dell'evento

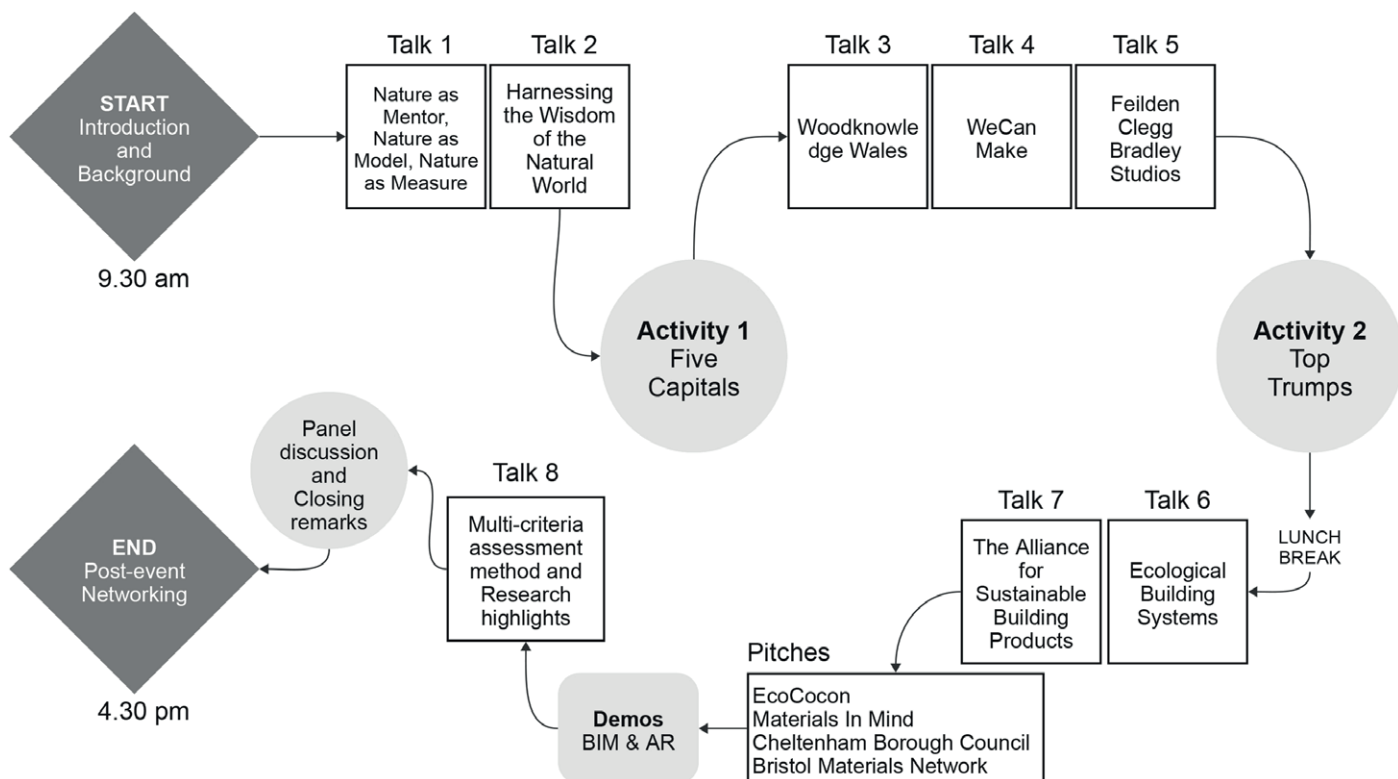
L'evento "Bio-minded society for net-zero carbon construction" è stato il risultato di una collaborazione internazionale tra la UWE di Bristol e il Politecnico di Milano, sviluppata nell'arco di oltre tre mesi grazie a un programma di *visiting PhD*. L'organizzazione ha coinvolto un *team* multidisciplinare di studenti e ricercatori, selezionati per supportare la gestione dell'evento e la produzione dei materiali. Le competenze spaziano dal *design* e grafica al *Building Information Modeling* (BIM), dall'analisi ambientale alla realtà virtuale e aumentata, fino alla progettazione tecnica. A supervisionare il processo e a coordinare gli aspetti burocratici e logistici è stato il Dr. Hector Archila, referente scientifico del progetto.

La strutturazione dell'evento ha seguito una scaletta precisa, bilanciando momenti di presentazione, interazione e discussione (Fig. 2). La giornata si è articolata alternando tre tipologie di attività principali:

- presentazioni tematiche, con otto contributi tra architetti, *developer*, ricercatori e accademici, produttori di materiali e rappresentanti di associazioni di settore;
- dimostrazioni interattive, in cui sono stati illustrati i primi risultati della ricerca e i modelli di materiali *bio-based*. In particolare, l'esposizione di modelli in scala 1:1 e di campioni reali di materiali ha permesso ai partecipanti di sperimentare direttamente le potenzialità delle soluzioni analizzate;
- attività di gruppo e confronto finale, durante le quali gli *stakeholder* hanno avuto l'opportunità di condividere riflessioni e di formulare proposte concrete per favorire l'adozione dei materiali *bio-based* nel settore delle costruzioni.

Un aspetto innovativo è stato l'uso di strumenti ludici per facilitare il trasferimento delle conoscenze. A fine evento, è stata distribuita una *brochure* contenente il gioco di carte utilizzato durante i *workshop*, permettendo ai partecipanti di replicare l'esperienza all'interno dei propri contesti lavorativi. Infine,

02 |



il coinvolgimento attivo dei partecipanti è stato misurato attraverso una sessione di *feedback* interattivo sulla piattaforma *mentimeter*, che ha consentito di raccogliere impressioni sulla giornata in tempo reale e di evidenziare il valore dell'approccio partecipativo adottato.

Coinvolgimento tramite attività di Gaming

L'approccio a tematiche relative alla sostenibilità attraverso *Gamification* rappresenta un potente strumento per facilitare il trasferimento di conoscenze, stimolare la riflessione critica e favorire il coinvolgimento attivo degli *stakeholder* nei processi di apprendimento e innovazione. Questo metodo non solo rende più accessibili e comprensibili i temi complessi, ma permette anche ai partecipanti di elaborare in modo autonomo i contenuti, facilitando la costruzione di nuove conoscenze attraverso l'interazione (Kapp, 2012).

Questo aspetto si è rivelato particolarmente efficace nelle attività di coinvolgimento degli *stakeholder*, dove l'uso di giochi di carte è stato impiegato per sensibilizzare sugli impatti dei materiali *bio-based* nell'edilizia. Il gioco "SmartBioC Top Trumps" ha permesso di condividere informazioni complesse sulle prestazioni e i vantaggi dei materiali *bio-based* attraverso un approccio ludico e interattivo, generando un dibattito costruttivo tra i diversi giocatori. Le carte hanno funzionato come strumenti di facilitazione, incoraggiando il confronto tra i diversi attori e portandoli non solo a riflettere sulle implicazioni delle loro scelte, ma anche a diventare a loro volta divulgatori stimolando cambiamenti di comportamento. L'elevato interesse suscitato da queste dinamiche ha spinto molti partecipanti a voler conservare le carte per introdurre il tema nei rispettivi

contesti di lavoro, amplificando così la portata della diffusione della conoscenza ben oltre l'ambito dell'evento.

Risultati

I risultati preliminari evidenziano un aumento della consapevolezza tra i partecipanti sui benefici dei materiali *bio-based* e la creazione di nuove *partnership* tra industria e accademia, in linea con le metriche di trasferimento di conoscenza definite dall'UE, dimostrando il ruolo centrale delle Università come intermediari tra innovazione e società e contribuendo alla generazione di impatti misurabili su scala ambientale, sociale ed economica.

Attività svolte durante l'evento

Attività 1: I cinque capitali

Per affrontare le sfide legate alla sostenibilità edilizia è fondamentale adottare strumenti operativi che integrino criteri di valutazione multidisciplinari, comprendenti aspetti sociali, economici, ambientali, tecnici e umani. I modelli di analisi multi-criterio (MCDA) offrono un approccio strutturato per supportare la selezione dei materiali nelle fasi iniziali della progettazione, permettendo di bilanciare vantaggi e criticità per soluzioni su misura alle esigenze territoriali (Greco, Ehr Gott and Figueira, 2016). Uno degli obiettivi principali della ricerca è stato quello di sensibilizzare su questo tema in modo facile, interattivo e coinvolgente, trasmettendo in modo semplice questioni complesse che richiedono un approccio olistico.

Nella prima sessione interattiva i partecipanti hanno compilato dei sondaggi per classificare i cinque capitali (ambientale, so-

on the strategic assessment of building materials allowed participants to analyse their natural, social, human, manufactured, and financial aspects, based on the model theorised by J. Porritt (Porritt, 2012), generating shared outputs through mood boards, digital questionnaires, and interactive games. The methodology incorporated real-time feedback collection during the event and follow-up questionnaires distributed to a broader community.

Stakeholders' Selection and Heterogeneity

The success of the technology transfer initiative largely depended on the selection and diversity of the involved actors. A targeted selection of stakeholders from 12 different categories within the UK construction sector was carried out to ensure a rich and stimulating debate (Fig. 1). Invitations were

sent via email and accompanied by a registration form that collected participants' information.

On the day of the event, the structure of the working tables was carefully organised to maximise interdisciplinary discussion. During registration, participants were assigned a colour corresponding to a specific table, ensuring the formation of diverse groups composed of 5-7 people. This choice fostered diversified discussions, enriched by interactions between professionals with different backgrounds, ultimately stimulating dialogue on opportunities and challenges related to adopting sustainable materials in construction.

Event Organisation

The event, "Bio-minded society for net-zero carbon construction", resulted from an international collaboration between UWE Bristol and Politec-

nico di Milano, developed over more than three months through a visiting PhD programme. The organisation involved a multidisciplinary team of students and researchers selected to support event management and material production. Their expertise ranged from design and graphics to Building Information Modelling (BIM), environmental analysis, virtual and augmented reality, and technical design.

Dr. Hector Archila, the project's scientific lead, supervised the process and coordinated the bureaucratic and logistical aspects. The event's structure followed a precise schedule, balancing moments of presentation, interaction, and discussion (Fig. 2). The day was structured around three main activities:

- Thematic presentations featuring eight contributions from architects, developers, researchers, academics, material producers, and industry

association representatives.

- Interactive demonstrations showcasing the initial research findings and bio-based material models. The exhibition of 1:1 scale models and real material samples allowed participants to experience firsthand the potential of the analysed solutions.

- Group activities and final discussions, where stakeholders shared insights and formulated concrete proposals to foster the adoption of bio-based materials in the construction sector.

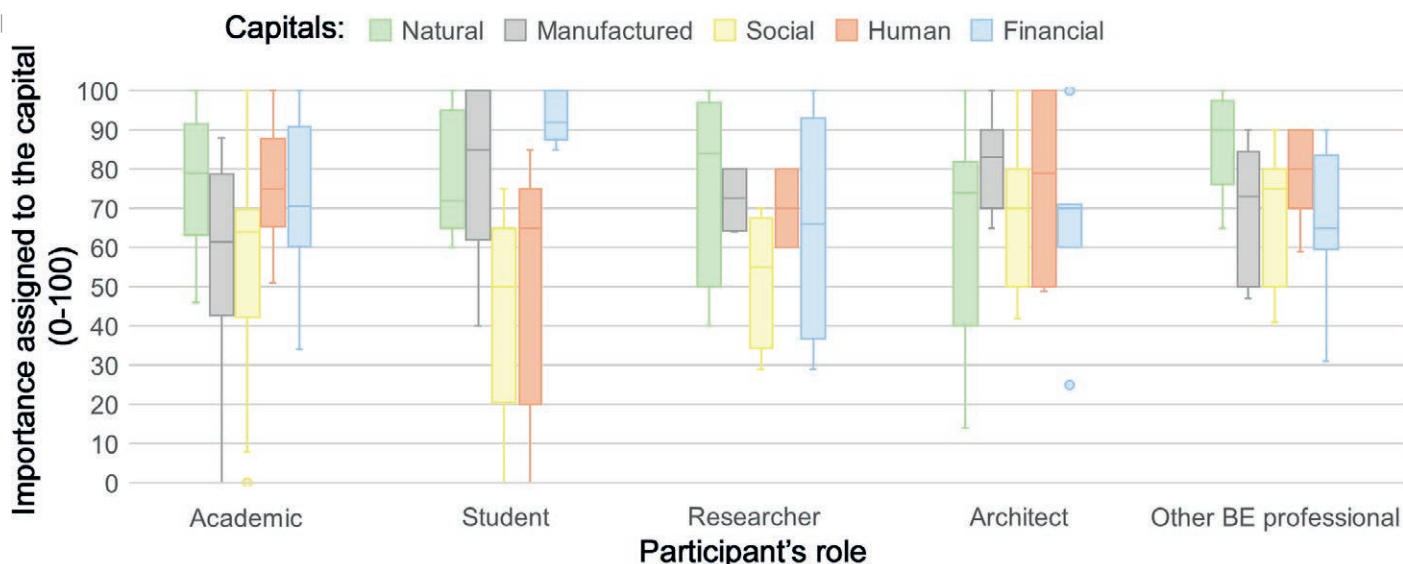
An innovative aspect of the event was using gamification tools to facilitate knowledge transfer. At the end of the event, a brochure containing the card game used during the workshops was distributed, allowing participants to replicate the experience in their professional contexts.

Finally, active participation was meas-

03] Sintesi dei risultati dell'attività 1 sui cinque capitali, divisi per ruolo. Ad ogni partecipante è stato chiesto di valutare l'importanza di ciascun capitale nel proprio processo decisionale riguardo alla selezione dei materiali da costruzione, attribuendo un punteggio da 0 a 100. I box colorati rappresentano il range interquartile (dal 25° al 75° percentile), ovvero l'intervallo entro cui si concentra la maggioranza delle risposte. Le linee verticali (baffi) indicano invece l'intero intervallo delle risposte (dal valore minimo al massimo, escludendo gli outlier). I punti esterni rappresentano eventuali valori anomali

Summary of the results from Activity 1 on the five capitals, grouped by participant role. Each participant was asked to rate the importance of each capital in their decision-making process related to construction materials selection, assigning a score from 0 to 100. The coloured boxes represent the interquartile range (from the 25th to the 75th percentile), where the majority of responses are concentrated. The vertical lines (whiskers) show the full range of responses, from minimum to maximum values, excluding outliers. Dots outside the whiskers represent potential outliers

03 |



ziale, umano, manifatturiero, finanziario) (Porritt, 2012) secondo le priorità assegnate nella scelta dei materiali da costruzione. Questa attività ha incoraggiato i partecipanti a considerare un approccio alla sostenibilità che integra valori ambientali, sociali ed economici e ad apprezzare la diversità di opinioni tra gli attori in relazione al ruolo e al *background*.

Le informazioni sono state poi riportate su *moodboard* che riflettono le conclusioni raggiunte da ciascun gruppo, oltre ad un questionario online che ha interrogato i partecipanti in diretta sull'importanza attribuita a ciascun criterio nella scelta del ma-

teriale (da 0 a 100), riportati nella Fig. 3, dove i box colorati rappresentano l'intervallo entro cui si concentra la maggioranza delle risposte suddivise per ruolo del partecipante.

Per tradurre ulteriormente la complessità e l'interconnessione di questi criteri, l'attività successiva è stata strutturata per gruppo attorno a un cartellone suddiviso in queste cinque aree e che ha permesso di raccogliere le diverse prospettive emerse mediante l'uso di post-it, facilitando il confronto tra *stakeholder* provenienti da ambiti differenti. I principali temi emersi sono di seguito elencati per capitale.

ured through an interactive feedback session using the Mentimeter platform, which enabled the real-time collection of impressions about the day and highlighted the value of the participatory approach adopted.

Engagement Through Gamification

Approaching sustainable topics through gamification is a powerful tool for facilitating knowledge transfer, stimulating critical reflection, and fostering active stakeholder engagement in learning and innovation processes. This method not only makes complex topics more accessible and understandable but also allows participants to process content autonomously, fostering knowledge-building through interaction (Kapp, 2012).

This approach proved particularly effective in stakeholder engagement activities, where card games stimulated

discussions about the impacts of bio-based materials in construction.

The SmartBioC Top Trumps game allowed the sharing of complex information about the performance and benefits of bio-based materials through a playful and interactive approach, sparking debate among participants. The cards functioned as facilitation tools, encouraging exchanges between different actors and prompting them to reflect on their choices and to become knowledge disseminators themselves. The high level of interest generated by these dynamics led many participants to keep the cards for further discussion in their workplaces, amplifying the dissemination of knowledge far beyond the scope of the event.

Results

Preliminary findings highlight an increase in participants' awareness of

the benefits of bio-based materials and the establishment of new partnerships between industry and academia. This aligns with the EU's knowledge transfer metrics, demonstrating the pivotal role of universities as intermediaries between innovation and society, and contributing to generating measurable environmental, social, and economic impacts.

Activities Conducted During the Event Activity 1: The Five Capitals

Addressing the challenges of sustainable construction requires adopting operational tools that integrate multidisciplinary evaluation criteria, encompassing social, economic, environmental, technical, and human aspects. Multi-criteria decision analysis (MCDA) models offer a structured approach to supporting material selection in the early design stages, allowing to

balance advantages and critical aspects to develop tailored solutions for specific territorial needs (Greco, Ehr Gott and Figueira, 2016). One of the key objectives of the research was to raise awareness of this topic in an accessible, interactive, and engaging way, simplifying the understanding of complex issues requiring a holistic approach.

In the first interactive session, participants filled out surveys to rank the Five Capitals (natural, social, human, manufactured, and financial) (Porritt, 2012) according to propriety in the construction materials selection. This activity encouraged them to consider an approach to sustainability, integrating environmental, social, and economic values while discussing the efficiency and holistic effects of the sector. It also fostered appreciation for the diversity of opinions among stakeholders based on their roles and backgrounds.

- Capitale Ambientale: l'attenzione alla sostenibilità dei materiali è emersa come un criterio imprescindibile nella scelta progettuale. Tra i temi più discussi vi è stata la necessità di privilegiare risorse rigenerabili e a basso impatto ambientale, con particolare riferimento alla sequestro del carbonio e all'uso di materiali *bio-based*. È stata inoltre sottolineata la crescente importanza della disponibilità locale delle materie prime, così da ridurre l'impatto legato ai trasporti;
- Capitale Sociale: l'impatto sociale dei materiali è stato riconosciuto come un fattore di grande complessità, che coinvolge una pluralità di attori e dinamiche spesso difficili da governare. Tra le principali riflessioni emerse vi è la necessità di promuovere l'occupazione locale, incentivando l'uso di materiali prodotti o lavorati all'interno della comunità. Inoltre, si è discusso del ruolo dell'etica del lavoro, della resilienza delle filiere di approvvigionamento e delle potenzialità offerte dall'economia circolare, nonché dell'importanza della formazione e trasmissione delle competenze tradizionali come veicolo per l'innovazione;
- Capitale Finanziario: le valutazioni economiche si sono concentrate sull'equilibrio tra costi iniziali e benefici a lungo termine, evidenziando come un investimento maggiore nella fase iniziale possa essere giustificato dalla riduzione dei costi operativi e di manutenzione nel ciclo di vita dell'edificio. È stata inoltre discussa l'opportunità di sfruttare incentivi economici, come i crediti di carbonio, per rendere più conveniente l'adozione di materiali a basso impatto ambientale. È emersa la necessità di trovare un compromesso tra la sostenibilità economica delle scelte e le logiche del

mercato, spesso orientate alla massimizzazione del profitto a breve termine;

- Capitale Umano: dal punto di vista umano, il benessere degli occupanti e la salubrità degli ambienti sono stati identificati come criteri prioritari nella selezione dei materiali. L'adozione di materiali non tossici, naturali e biocompatibili è stata riconosciuta come un elemento chiave per garantire la qualità della vita all'interno degli edifici. Inoltre, la riflessione si è estesa al concetto di design centrato sull'uomo, sottolineando come la scelta dei materiali possa influenzare non solo il comfort fisico, ma anche la percezione psicologica degli spazi abitativi;
- Capitale Manifatturiero: sul piano tecnico e produttivo, i partecipanti hanno evidenziato la necessità di trovare un equilibrio tra soluzioni innovative e certificazioni consolidate, sottolineando la sfida di integrare materiali sperimentali nel contesto normativo esistente. È stata inoltre discussa la durabilità e riutilizzabilità dei materiali, con particolare attenzione ai principi di *Design for Disassembly*, che consentono di prolungare il ciclo di vita dei componenti edilizi. Infine, è stata posta enfasi sulla localizzazione della produzione, evidenziando i vantaggi di un approvvigionamento a filiera corta in termini di sostenibilità ambientale e resilienza economica.

L'attività ha permesso di far emergere una visione integrata e multidimensionale della scelta dei materiali da costruzione, evidenziando come ogni capitale sia interconnesso agli altri. Il dibattito generato ha favorito una maggiore consapevolezza tra i partecipanti, fornendo spunti e permettendo di apprezzare punti di vista diversi degli attori coinvolti nel processo.

The gathered information was represented through mood boards reflecting each group's conclusions, alongside a live online questionnaire that asked participants to rate the importance of each criterion in material selection (on a scale from 0 to 100). Fig. 3 presents the range results, where the coloured boxes represent the range within which the majority of responses by participant role are concentrated. To further illustrate the complexity and interconnectedness of these criteria, the subsequent activity was structured around a poster divided into these five areas, allowing participants to collect and organise different perspectives using post-it notes. This facilitated discussions among stakeholders from various sectors. The key themes that emerged are outlined below for each capital.

- Natural Capital: Sustainability in material selection emerged as a fun-

damental criterion in design choices. Key discussions included prioritising regenerative, low impact resources, particularly focusing on carbon sequestration and bio-based materials. The growing importance of local material availability was also emphasised to reduce transport-related impacts.

- Social Capital: The social impact of materials was recognised as a highly complex factor involving multiple stakeholders and often challenging dynamics. Key reflections included promoting local employment by encouraging the use of regionally sourced and processed materials. Discussions also covered work ethics, supply chain resilience, the potential of circular economy approaches, and the importance of training and preserving traditional skills as a vehicle for innovation.

- Financial Capital: Economic assessments focused on balancing upfront costs with long-term benefits, highlighting how higher initial investments can be justified by reduced operational and maintenance costs over a building's lifecycle. The possibility of leveraging financial incentives, such as carbon credits, was also discussed to enhance the affordability of low-impact materials. At the same time, participants recognised the need to find a compromise between economic sustainability and market-driven profit-maximisation strategies.
- Human Capital: From a human perspective, occupant well-being and indoor environmental quality were identified as priority criteria in material selection. Adopting non-toxic, natural, and biocompatible materials was considered crucial to

ensuring quality of life in buildings. Discussions also extended to human-centred design, stressing how material choices influence not only physical comfort but also psychological perceptions of living spaces.

- Manufactured Capital: On a technical and production level, participants emphasised the need to balance innovative solutions with established certifications, highlighting the challenge of integrating experimental materials into existing regulatory frameworks. Discussions also covered material durability and reusability, focusing on Design for Disassembly principles, which extend the life cycle of building components. Lastly, the localisation of production was underscored, noting the advantages of short supply chains in terms of environmental sustainability and economic resilience.

Attività 2: Top Trumps

Nella seconda attività, i partecipanti hanno preso parte a *SmartBioC's Top Trumps*, un gioco ideato per sensibilizzare sulle prestazioni dei materiali *bio-based* rispetto ai cinque capitali precedentemente analizzati. Attraverso un approccio ludico e competitivo, i giocatori hanno confrontato diverse soluzioni tecnologiche, valutandone le caratteristiche e il punteggio assegnato in base ai criteri di sostenibilità. Durante il gioco, ogni partecipante ha ricevuto un mazzo di carte, ciascuna rappresentante la stratigrafia di una soluzione tecnologica *bio-based* con i punteggi assegnati per i cinque capitali (Fig. 4). A turno, i giocatori hanno scelto una categoria nella quale ritenevano di avere un punteggio vantaggioso rispetto all'avversario immediato. Il confronto diretto tra le carte ha stimolato il dibattito, portando i partecipanti a interrogarsi

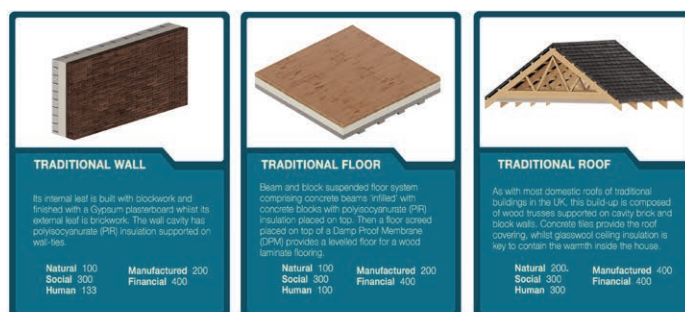
sulle motivazioni dietro ai punteggi assegnati e sulle implicazioni reali di ciascuna soluzione.

L'attività si è rivelata estremamente coinvolgente, generando discussioni critiche e spingendo i partecipanti a riflettere sulle *performance* dei materiali *bio-based* rispetto alle alternative convenzionali. Al termine del gioco, sono stati presentati i risultati della ricerca, illustrando le metodologie di valutazione adottate e i criteri di assegnazione dei punteggi. Questo momento conclusivo ha permesso di rispondere ai dubbi sollevati durante il confronto e di consolidare le conoscenze acquisite, offrendo una prospettiva più approfondita sui parametri applicati ai materiali innovativi.

Conclusioni e sviluppi futuri

Nel complesso, la giornata di studi "*Bio-minded*" ha raggiunto con successo i suoi obiettivi:

04 |



How to Play SmartBio- C Top Trumps;

1. Ensure each player around the table has an equal number of cards.
2. Each player is to shuffle and place their own cards face down, in a pile, in front of them.
3. Choose which player in your group is to start.
4. The first player (1) turns over their top card and looks at it, but doesn't show anyone else. They will be battling with the player on their left (2).
5. Player 1 chooses a category/capital that they believe will beat their component.
6. Player 2 picks up their top card and looks at it.
7. Player 1 announces their chosen category/capital, followed by the result on their card.
8. Player 2 announces their equivalent result for the same category/capital and the player with the best result wins the battle.
9. The winner takes the card from their opponent and places the two cards on the bottom of their pack.
10. Player 2 now battles with the player on their left, player 3, moving around the table.

SmartBioC
www.smartbioc.com

UWE Bristol
University of the West of England

SmartBio-C
Innovative
Biobased
Solutions



ispirare i partecipanti, condividere le conoscenze, trasferire i risultati della ricerca, promuovere la partecipazione della comunità e generare intuizioni attuabili per un futuro sostenibile. I risultati hanno incluso una maggiore comprensione dell'approccio dei cinque capitali, una crescente consapevolezza del potenziale delle soluzioni *bio-based* innovative e il rafforzamento delle reti per una collaborazione continua nel perseguimento di un'edilizia a zero emissioni di carbonio.

L'originalità della ricerca risiede nella diversificazione degli attori coinvolti e nell'uso di strumenti innovativi con l'applicazione di momenti di gioco a contesti e azioni legate alla sostenibilità che hanno stimolato il dibattito e la comprensione di concetti complessi. Inoltre, l'esposizione di modelli in scala 1:1 di sistemi di involucro edilizio e campioni di materiali *bio-based* ha reso tangibili le soluzioni analizzate.

L'evento è stato anche una prima occasione per testare il metodo di valutazione semplificato sviluppato per la scelta consapevole dei materiali da costruzione nelle fasi iniziali della progettazione, considerando criteri ambientali e sociali, oltre a quelli economici e tecnici. Un forte interesse è emerso da parte di alcuni attori, intenzionati ad applicare il metodo a casi studio reali, grazie anche alla sperimentazione attraverso il gioco di carte che ha favorito un coinvolgimento attivo, proseguendo il dibattito anche dopo l'evento. Inoltre, si è osservata un'evoluzione nel modo in cui i partecipanti hanno affrontato le problematiche presentate all'inizio dell'evento, dimostrando una maggiore consapevolezza progettuale e un superamento delle barriere di alcuni pregiudizi. Il format dell'evento, che unisce momenti di studio, strumenti partecipativi e attività ludiche, risulta facilmente replicabile in altri contesti territoriali e tematici. La sua struttura modulare

permette di adattarlo a diversi stakeholder, offrendo un modello efficace e scalabile in altri contesti.

Infatti, nonostante il successo dell'evento, la partecipazione è stata limitata quasi esclusivamente ad attori provenienti dal Regno Unito. Per ampliare l'impatto della ricerca, verrà condotta un'analisi dei questionari somministrati a una comunità internazionale, favorendo un confronto più ampio. L'evento si è rivelato comunque una piattaforma efficace per connettere esperti e *stakeholder*, facilitando future collaborazioni e raccolta di *feedback*, permettendo di consolidare e perfezionare il processo di trasferimento tecnologico.

I principali destinatari della ricerca includono sviluppatori, progettisti, produttori, autorità locali e ricercatori del settore edilizio. Il trasferimento delle soluzioni pratiche e dei metodi di valutazione proposti mira a fornire strumenti decisionali applicabili nelle fasi iniziali della progettazione.

RICONOSCIMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l'intero *team* di ricerca SmartbioC dell'UWE di Bristol per il lavoro svolto. In particolare, Dr. Rebecca Lashley, Dr. Lidia Badarnah e Dr. Clare Davidson per il loro contributo all'organizzazione dell'evento; Ei Htay, Salma Abdelrehim e Hamza Usman per il loro lavoro nello sviluppo di contenuti digitali utilizzando strumenti BIM e di realtà aumentata. Martin Bello Urbez per il suo contributo nello sviluppo del materiale grafico a supporto dell'evento.

NOTE

¹ <https://www.smartbioc.com/>

This activity helped reveal an integrated, multidimensional perspective on material selection, showing how each capital is interconnected with the others. The discussions enhanced participants' awareness, offering diverse insights based on the different actors involved in the process.

Activity 2: Top Trumps

In the second activity, participants engaged in SmartBioC's Top Trumps, a game designed to raise awareness of the performance of bio-based materials in the five previously analysed capitals. Through a playful and competitive approach, players compared different technological solutions, evaluating their characteristics and the scores assigned according to sustainability criteria.

During the game, each participant received a deck of cards, each represent-

ing a bio-based solution with specific scores assigned to the five capital categories (Fig. 4). In turns, players selected a category where they believed they had an advantageous score over their immediate opponent. The direct comparison between cards stimulated debate, prompting participants to question the reasoning behind the assigned scores and the real-world implications of each solution.

This activity proved highly engaging, sparking critical discussions and encouraging participants to reflect on the performance of bio-based materials compared to conventional alternatives. At the end of the game, the research findings were presented, illustrating the assessment methodologies and scoring criteria used. This concluding session addressed questions raised during the discussions and reinforced participants' understanding, providing a deeper per-

spective on the evaluation parameters applied to innovative materials.

Conclusions and Future Developments

Overall, the Bio-minded event successfully achieved its objectives, namely inspiring participants, sharing knowledge, transferring research outcomes, fostering community participation, and generating actionable insights for a sustainable future. The results included a deeper understanding of the Five Capitals approach, increased awareness of innovative bio-based solutions, and strengthened networks for ongoing collaboration toward net-zero carbon construction.

The originality of this research lies in the diversity of the stakeholders involved and the use of innovative, gamified tools that stimulated debate and enhanced the comprehension of

complex concepts. Moreover, the exhibition of full-scale (1:1) models of building envelope solutions and samples of bio-based materials made the analysed solutions tangible.

The event also served as an initial testing ground for the simplified evaluation method developed for the conscious selection of construction materials in early design phases, considering environmental and social criteria alongside economic and technical factors. Significant interest emerged from certain stakeholders who were keen on applying this method to real-world case studies. The card game further encouraged active engagement, sustaining discussions beyond the event. Notably, participants' perspectives evolved throughout the day, demonstrating greater design awareness and overcoming some initial conceptual barriers.

The event format, which combines

REFERENCES

- Boelen, J., Dos Reis Martins, M. and Dumoncel d'Argence, C. (2023), *Bioregional Design Practices*, Atelier Luma, available at: https://books.google.it/books?id=_3cD0AEACAAJ (Accessed on 14/05/2025).
- Bornmann, L. (2013), "What is societal impact of research and how can it be assessed? A literature survey", *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Vol. 64, n. 2, pp. 217-233, available at: <https://doi.org/10.1002/asi.22803>.
- Claudi De Saint Mihiel, A. (2024), "Open innovation for the competitiveness of the construction sector", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, (28), pp. 317–323, available at: <https://doi.org/10.36253/techne-16564>.
- Claudi De Saint Mihiel, A. (2019), "The Third Mission between the innovative dimension and the public engagement function", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, (18), pp. 341-344, available at: <https://doi.org/10.13128/TECHNE-7550>.
- Göswein, V., Arehart, J., Phan-huy, C., Pomponi, F. and Habert, G. (2022), "Barriers and opportunities of fast-growing biobased material use in buildings", *Buildings and Cities*, Vol. 3, n. 1, pp. 745-755, available at: <https://doi.org/10.5334/bc.254>.
- Greco, S., Ehr Gott, M. and Figueira, J.R. (Eds.) (2016), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, International Series in Operations Research & Management Science, Springer, New York, NY, available at: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>.
- Kapp, K.M. (2012), *The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*, Pfeiffer, San Francisco, CA.
- Koster, M. and Schrottenboer, I. (2022), "Successful circular bio-based construction initiatives: five essentials from case studies", *Construction Technologies and Architecture*, Vol. 1, pp. 448-457, available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/CTA.1.448>.
- moments of study, participatory tools, and playful activities, is easily replicable in other territorial and thematic contexts. Its modular structure allows it to be adapted to different stakeholders, offering an effective model that can be scaled up in other contexts. Thus, despite the event's success, participation was predominantly limited to UK-based stakeholders. To broaden the research impact, a follow-up analysis will be conducted using questionnaires distributed to an international community, facilitating a wider comparison. Nonetheless, the event proved to be an effective platform for connecting experts and stakeholders, fostering future collaborations and collecting feedback to refine and strengthen the technology transfer process. The primary beneficiaries of this research include developers, designers, manufacturers, local authorities, and construction sector researchers. The transfer of practical solutions and evaluation methods aims to provide decision-making tools applicable in early design phases.
- ACKNOWLEDGMENTS
- The authors want to acknowledge the SmartbioC research team at UWE Bristol for their work. In particular, Dr. Rebecca Lashley, Dr. Lidia Badarnah, and Dr. Clare Davidson for their contribution to the event organisation. Ei Htay, Salma Abdelrehim, and Hamza Usman for their work in developing digital content using BIM and augmented reality tools. Finally, we acknowledge Martin Bello Urbez for contributing to developing graphic materials supporting the event.
- NOTES
- ¹ <https://www.smartbioc.com>
- Losasso, M. (2014), "Research, architectural design and knowledge transfer", *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, (8), pp. 8-12, available at: <https://doi.org/10.13128/TECHNE-15050>.
- Passer, A., Habert, G., Kromp-Kolb, H., Lützkendorf, T. and Monsberger, M. (2019), "Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment", *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 24, n. 2, pp. 362-363, available at: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1550-9>.
- Porritt, J. (2012), *Capitalism: As If the World Matters*, Earthscan, London, p. 360, available at: <https://doi.org/10.4324/9781849770668>.
- Rabbat, C., Awad, S., Villot, A., Rollet, D. and Andrès, Y. (2022), "Sustainability of biomass-based insulation materials in buildings: Current status in France, end-of-life projections and energy recovery potentials", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 156, p. 111962, available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111962>.
- Röck, M., Saade, M.R.M., Balouktsi, M., Rasmussen, F.N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T. and Passer, A. (2020), "Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation", *Applied Energy*, Vol. 258, p. 114107, available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>.
- UN Environment and International Energy Agency (2018), *Towards a Zero-Emission, Efficient, and Resilient Buildings and Construction Sector. Global Status Report 2017*, available at: <https://globalabc.org/index.php/resources/publications/2017-global-status-report-buildings-and-construction> (Accessed on 14/05/2025).
- United Nations Environment Programme, I.R.P. (2019), *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want*, available at: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27517> (Accessed on 14/05/2025).
- Vrins, M. (2018), *Standards and Regulations for the Bio-based Industry STAR4BBI – Report on Implementation for Creation of New or Revised Standards*, available at: https://www.star4bbi.eu/app/uploads/sites/11/2019/09/D3.3-Sustainability-Certification-for-all-Products_final.pdf (Accessed on 14/05/2025).
- Weiss, M., Haufe, J., Carus, M., Brandão, M., Bringezu, S., Hermann, B. and Patel, M.K. (2012), "A Review of the Environmental Impacts of Biobased Materials", *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 16, Suppl. 1, pp. S169–S181, available at: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00468.x>.