

CONTENT

CESARE SPOSITO (EDITORIAL)	<i>Riflessioni e traiettorie di ricerca interdisciplinari sulla transizione digitale</i> Reflections and trajectories for interdisciplinary research on the digital transition	2
SERGIO PONE	<i>Maker: il ritorno dei costruttori. Una possibile transizione digitale per l'Architettura</i> Maker: the return of the builders. A possible digital transition for Architecture	14
THEO ZAFFAGNINI, OTELO PALMINI	<i>Retrospective e prospettive sul rapporto tra progetto, tecnologia e neocibernetica</i> Past and future of the connection between project, technology and neocybernetics	24
ADRIANO MAGLIOCCO, MARIA CANEPAI	<i>Cruscotti a servizio della governance. Monitoraggio di indicatori di prestazione e indicatori aggregati</i> Governance dashboards. Monitoring of key performance and aggregate indicators	36
IGKEAL MILOCCO BORLINI, CHRISTINA CONTI	<i>Conoscenza e rilevamento smart per una città accessibile. Sperimentare sul territorio del Friuli Venezia Giulia</i> Knowledge and smart sensing for an accessible city. Experimenting on the territory of Friuli Venezia Giulia	46
ORGIO DALL'OSSEO, MARTINA D'ALESSANDRO VALERIA MELAPIONI	<i>Interattività spaziali. Sensorialità e progetto del dato digitale nello spazio</i> Spatial interactivity. Sensoriality and design of digital data in the space	58
BIANCA ANDALORO, MARTIN DE WAAL FRANK STURENBROEK	<i>Lo spazio pubblico adattivo. Esplorare la transizione digitale per il benessere sociale e ambientale</i> Adaptive public spaces. Exploring digital transition for social and environmental benefit	68
MICHELA BAROSIO, ROSELLA GUGLIOTTA	<i>Dai numeri alle forme. La transizione digitale nei processi morfogenetici</i> From numbers to forms. The digital turn in morphogenic processes	76
MARIA ANTONIETTA ESPOSITO, FILIPPO BOSI CATERINA FERRARO	<i>Giocare seriamente per crescere digitali. Ridurre gli sprechi con il Lean mindset</i> Serious gaming for digital growth. Reducing waste through the Lean mindset	86
THEO ZAFFAGNINI, LUCA MORGANTI	<i>Data-driven LCA per l'innovazione industriale green delle facciate continue customizzate</i> Data-driven LCA for green industrial innovation of custom curtain walls	94
FABRIZIO TUCCI, VALERIA CECATOSFO PAOLA ALTAMURA, MARCO GIAMPAOLETTI	<i>Simulazione e modellazione per l'adattamento e la mitigazione climatica. Esperienze di riqualificazione ambientale a Roma</i> Simulation and modelling for climate adaptation and mitigation. Experiences of environmental renovation in Rome	106
PAOLA DE JOANNA, ELISABETTA BRONZINO VIRGINIA LUSI	<i>Resilienza e circolarità nel progetto edilizio sostenibile. Strumenti di valutazione integrata preliminare</i> Resilience and circularity in sustainable building design. Integrated tools for pre-intervention assessment	122
JACOPO GASPARI, LIA MARCHI CARLOTTA OBEROSLER, ERNESTO ANTONINI	<i>Strumenti di monitoraggio per abitare il risparmio energetico nell'edilizia sociale</i> Monitoring tools as energy saving enablers in social housing context	136
GIOVANNA A. MASSARI, AMBRA BARBINI ELENA BERNARDINI, OSCAR ROMAN	<i>Riqualificazione energetica dell'edilizia esistente. Modellazione e gestione geometrico-informativa</i> Energy retrofitting of existing buildings. Geometric-informative modelling and management	146
ROSA ROMANO, ELISA BELARDI PAOLA GALLO, DARIO LUIGI DISTEFANO	<i>Sistemi costruttivi low-tech 4.0. Innovazione di prodotto-processo BIM-based per la prefabbricazione in cartone ondulato</i> 4.0 low-tech building systems. BIM-based product-process innovation for corrugated cardboard prefabrication	158
MARIO CLAUDIO DEIACO, CHIARA SCANAGATTA ANTONINO MANNINO, MASSIMILIANO CONDOTTA	<i>Transizione digitale per il facility management. BIM, CMMS e manutenzione predittiva</i> Digital transition in facility management. BIM, CMMS and diagnostic maintenance	168
ELISABETTA DORIA	<i>L'automazione del censimento tecnologico. Il centro storico di Bellemme</i> Automation of urban technological census. The historical centre of Bellemme	178
GIORGIA TUCCI, CARLO RATTI	<i>La tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo. Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio)</i> Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism. Interview with Caro Ratti (CRA Studio)	190
MARIO BISSON, STEFANIA PALMERI ALESSANDRO IANNIELLO, LUCA BOTTA	<i>Transition product design. Una proposta di framework per un approccio olistico alla progettazione sistemica</i> Transition product design. A framework proposal for a holistic approach to systemic design	202
SALVATORE DI DIO, BENEDETTO INZERILLO FRANCESCO MONTEROSSO, DARIO RUSSO	<i>Design e transizione digitale. Nuove sfide design-driven per l'innovazione techno-sociale</i> Design and digital transition. New design-driven challenges for techno-social innovation	212
NICCOLÒ CASIDDU, FRANCESCO BURLANDO ISABELLA NEVOSO ET ALII	<i>Beyond personas. Il Machine Learning per personalizzare il progetto</i> Beyond personas. Machine learning to personalise the project	226
DAVIDE CRIPPA, MASSIMILIANO CASON VILLA BARBARA DI PRETE, LUCIA RATTI ET ALII	<i>Ferso un progetto circolare. tra architettura e allestimento. Piattaforme digitali per il riuso</i> Towards a circular project, between architecture and exhibition design. Digital platforms for reuse practices	234
DAVIDE BRUNO, FELICE D'ALESSANDRO	<i>Piattaforme digitali interconnesse e integrate per il sistema universitario</i> Networked and integrated digital platforms for the university system	246
GABRIELE GORETTI, MARGHERITA TURELLI QIAN XIAOBO	<i>L'archivio digitale per i processi di alto artigianato. Ricerche a confronto in Italia e Cina</i> Digital archive for high-end craftsmanship processes. Comparing research paths in Italy and China	262
BRACCO, MARIA C. MOROZZO DELLA ROCCA FEDERICA DELPRINO, SILVIA PREGAGLIA	<i>Apprendimento tramite simulazione e tool digitali. Una sperimentazione per la Farmacia dei Servizi</i> Simulation-based learning and digital tools. A trial for Pharmacy Services	270
BARBARA DEL CURTO, LIA SOSSINI ROMINA SANTI, FLAVIA PAPALE	<i>Percezione e plastiche sostenibili. Un tool digitale per gestire estetica e sostenibilità</i> Perception and sustainable plastics. A digital tool to manage aesthetics and sustainability	280

12

International Journal of Architecture Art and Design

12 | 2022

AGATHÓN | INNOVABILITY | TRANSIZIONE DIGITALE | INNOVABILITY | DIGITAL TRANSITION

INNOVABILITY
TRANSIZIONE DIGITALE

INNOVABILITY
DIGITAL TRANSITION

DEMETRA
Ce.Ri.Med.
CENTRO DOCUMENTAZIONE E
RICERCA EURO-MEDITERRANEA

PALERMO
UNIVERSITY
PRESS

ISSN print 2464-9309



12
2022

AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

Scientific Directors

GIUSEPPE DE GIOVANNI, CESARE SPOSITO (University of Palermo, Italy)

Managing Director

MICAELA MARIA SPOSITO

International Scientific Committee

ALFONSO ACOCELLA (University of Ferrara, Italy), JOSE BALLESTEROS (Polytechnic University of Madrid, Spain), SALVATORE BARBA (University of Salerno, Italy), FRANÇOISE BLANC (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse, France), ROBERTO BOLOGNA (University of Firenze, Italy), TAREK BRIK (University of Tunis, Tunisia), TOR BROSTRÖM (Uppsala University, Sweden), JOSEP BURCH I RIUS (University of Girona, Spain), MAURIZIO CARTA (University of Palermo, Italy), ALICIA CASTILLO MENA (Complutense University of Madrid, Spain), PILAR CHIAS NAVARRO (Universidad de Alcalá, Spain), JORGE CRUZ PINTO (University of Lisbon, Portugal), MARIA ANTONIETTA ESPOSITO (University of Firenze, Italy), EMILIO FAROLDI (Polytechnic University of Milano, Italy), FRANCESCA FATTA ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), VICENTE GUALLART (IAAC – Institute for Advanced Architecture of Catalonia, Spain), FRANCESCO JAVIER GALLEGRO ROCA (University of Granada, Spain), PIERFRANCO GALLIANI (Polytechnic University of Milano, Italy), CRISTIANA MAZZONI (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Belleville, France), JAVIER GARCÍA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO (Polytechnic University of Madrid, Spain), MARIA LUISA GERMANÀ (University of Palermo, Italy), FAKHER KHARRAT (Ecole Nationale d'Architecture et d'Urbanisme, Tunis), MOTOMI KAWAKAMI (Tama Art University, Japan), WALTER KLASZ (University of Art and Design Linz, Austria), PAOLO LA GRECA (University of Catania, Italy), IN-HEE LEE (Pusan National University, South Korea), MARIO LOSASSO ('Federico II' University of Napoli, Italy), MARIA TERESA LUCARELLI ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), RENATO TEOFILO GIUSEPPE MORGANTI (University of L'Aquila, Italy), STEFANO FRANCESCO MUSSO (University of Genova, Italy), OLIMPIA NIGLIO (University of Pavia, Italy), LAURA RICCI ('Sapienza' University of Roma, Italy), ANDREA ROLANDO (Polytechnic University of Milano, Italy), MARCO ROSARIO NOBILE (University of Palermo, Italy), ROBERTO PIETROFORTE (Worcester Polytechnic Institute, USA), CARMINE PISCOPO ('Federico II' University of Napoli, Italy), PAOLO PORTOGHESI ('Sapienza' University of Roma, Italy), PATRIZIA RANZO ('Luigi Vanvitelli' University of Napoli, Italy), MOSÈ RICCI (University of Trento, Italy), DOMINIQUE ROULLARD (National School of Architecture Paris Malaquais, France), LUIGI SANSONE (Art Reviewer, Milano, Italy), ANDREA SCIASCIA (University of Palermo, Italy), FEDERICO SORIANO PELAEZ (Polytechnic University of Madrid, Spain), BENEDETTA SPADOLINI (University of Genova, Italy), CONRAD THAKE (University of Malta), FRANCESCO TOMASELLI (University of Palermo, Italy), MARIA CHIARA TORRICELLI (University of Firenze, Italy), FABRIZIO TUCCI ('Sapienza' University of Roma, Italy)

Editor-in-Chief

FRANCESCA SCALISI (DEMETRA Ce.Ri.Med., Italy)

Editorial Board

SILVIA BARBERO (Polytechnic University of Torino, Italy), CARMELINA BEVLACQUA ('Sapienza' University of Roma, Italy), MARIO BISSON (Polytechnic University of Milano, Italy), TIZIANA CAMPISI (University of Palermo, Italy), CHIARA CATALANO (ZHAW – School of Life Sciences and Facility Management, Switzerland), CLICE DE TOLEDO SANJAR MAZZILLI (University of São Paulo, Brazil), GIUSEPPE DI BENEDETTO (University of Palermo, Italy), ANA ESTEBAN-MALUENDA (Polytechnic University of Madrid, Spain), RAFFAELLA FAGNONI (IUAV, Italy), ANTONELLA FALZETTI ('Tor Vergata' University of Roma, Italy), ELISA MARIAROSARIA FARELLA (Bruno Kessler Foundation, Italy), RUBÉN GARCÍA RUBIO (Tulane University, USA), MANUEL GAUSA (University of Genova, Italy), PILAR CRISTINA IZQUIERDO GRACIA (Polytechnic University of Madrid, Spain), DANIEL IBAÑEZ (IAAC – Institute for Advanced Architecture of Catalonia, Spain), PEDRO ANTONIO JANEIRO (University of Lisbon, Portugal), MASSIMO LAURIA ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), MASSIMILIANO LO TURCO (Polytechnic University of Torino, Italy), INA MACAIONE (University of Basilicata, Italy), FRANCESCO MAGGIO (University of Palermo, Italy), FERNANDO MORAL-ANDRÉS (Universidad Nebrija in Madrid, Spain), DAVID NESS (University of South Australia, Australia), ELODIE NOURRIGAT (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Montpellier, France), ELISABETTA PALUMBO (University of Bergamo, Italy), FRIDA PASHAKO (Epoka University of Tirana, Albania), JULIO CESAR PEREZ HERNANDEZ (University of Notre Dame du Lac, USA), PIER PAOLO PERRUCCIO (Polytechnic University of Torino, Italy), ROSA ROMANO (University of Firenze, Italy), DANIELE RONSIIVALLE (University of Palermo, Italy), MONICA ROSSI-SCHWARZENBECK (Leipzig University of Applied Sciences, Germany), DARIO RUSSO (University of Palermo, Italy), MICHELE RUSSO ('Sapienza' University of Roma, Italy), MARICHELIA SEPE ('Sapienza' University of Roma, Italy), MARCO SOSA (Zayed University, United Arab Emirates), ZEILA TESORIERE (University of Palermo, Italy), ANTONELLA TROMBATORE (World Renewable Energy Network, UK), GASPARE MASSIMO VENTIMIGLIA (University of Palermo, Italy), ANTONELLA VIOLANO ('Luigi Vanvitelli' University of Campania, Italy), ALESSANDRA ZANELLI (Polytechnic University of Milano, Italy)

Assistant Editors

MARIA AZZALIN ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy)
GIORGIA TUCCI (University of Genova, Italy)

Graphic Designer

MICHELE BOSCARINO

Executive Graphic Designer

ANTONELLA CHIAZZA, PAOLA LA SCALA

Web Editor

PIETRO ARTALE

Promoter

DEMETRA Ce.Ri.Med.
Centro Documentazione e Ricerca Euro-Mediterranea
Euro-Mediterranean Documentation & Research Center

Publisher

Palermo University Press
Via Serradifalco n. 78 | 90145 Palermo (ITA)
E-mail: info@newdigitalfrontiers.com

Il vol. 12 è stato stampato nel Dicembre 2022 da

Issue 12 was printed in December 2022 by

FOTOGRAF s.r.l.

viale delle Alpi n. 59 | 90144 Palermo (ITA)

AGATHÓN è un marchio di proprietà di Cesare Sposito

AGATHÓN is a trademark owned by Cesare Sposito

Il Journal è stampato con il contributo degli Autori che mantengono i diritti sull'opera originale senza restrizioni.

The Journal is published with fund of the Authors whom retain all rights to the original work without any restrictions.

AGATHÓN adotta il sistema di revisione del double-blind peer review con due Revisori che, in forma anonima, valutano l'articolo di uno o più Autori. I saggi nella sezione 'Focus' invece non sono soggetti al suddetto processo di revisione in quanto a firma di Autori invitati dal Direttore Scientifico nella qualità di esperti sul tema.

The AGATHÓN Journal adopts a double-blind peer review by two Referees under anonymous shape of the paper sent by one or more Authors. The essays on 'Focus' section are not subjected to double-blind peer review process because the Authors are invited by the Scientific Director as renowned experts in the subject.

AGATHÓN | International Journal of Architecture Art and Design

Issues for year: 2 | ISSN print: 2464-9309 | ISSN online: 2532-683X

Registrazione n. 12/2017 del 13/07/2017 presso la Cancelleria del Tribunale di Palermo

Registration number 12/2017 dated 13/07/2017, registered at the Palermo Court Registry

Editorial Office

c/o DEMETRA Ce.Ri.Med. | Via Filippo Cordova n. 103 | 90143 Palermo (ITA) | E-mail: redazione@agathon.it

AGATHÓN è stata inclusa nella lista ANVUR delle riviste di classe A per l'area 08 e i settori 08C1, 08D1, 08E1 e 08E2 a partire dal volume 1 del 2017.

AGATHÓN has been included in the Italian ANVUR list of A Class journals for area 08 and sectors 08C1, 08D1, 08E1 and 08E2 starting from volume n° 1, June 2017.



Riflessioni e traiettorie di ricerca interdisciplinari sulla transizione digitale
Reflections and trajectories for interdisciplinary research on the digital transition

Quando nel 1984 il rapporto Brundtland proponeva la necessità di una nuova sostenibilità dello sviluppo per l'Umanità era chiaro che il termine di riferimento era la 'teknè', cioè la capacità di elaborazione da parte dell'Uomo di elementi presenti sul Pianeta che avrebbero potuto diventare risorse ancora sconosciute o non impiegabili con le tecnologie dell'epoca. Ambiente e Tecnologia si fronteggiano e dialogano da sempre, sicché quello che oggi chiamiamo ambiente (naturale) è già in sé frutto di un'antropizzazione perdurante e profonda della zoosfera, ormai diventata fragile antroposfera. Nella nostra antroposfera in equilibrio instabile tra ricerca dell'artificio e volontà di tutela del Pianeta, la pandemia da Covid-19 ci ha fatto capire, tra l'altro, come il progetto della sostenibilità dello sviluppo sia un obiettivo criptico, di cui non conosciamo realmente i contorni e nel quale non possiamo operare solo in termini conservativi.

Nell'ambito delle scienze economiche e sociali si è diffuso il termine 'innovability'® al quale si attribuisce una rinnovata forza propulsiva per un nuovo paradigma di sviluppo che esprime una delle sfide più cruciali del nostro tempo e la necessità di una 'solidale' convergenza tra le due istanze inderogabili della 'innovazione' e della 'sostenibilità', come se queste fossero due istanze opposte e contrastanti: al di là del termine impiegato, ancor di più in tempo di pandemia con il suo impatto economico e sociale, l'Umanità promuove una sua prerogativa, l'uso delle 'cose' che la natura ci mette a disposizione per farne altro dalla loro primaria funzione (innovazione), consapevole che quelle risorse non sono inesauribili (sostenibilità). In questo contesto, che deve guardare sempre avanti, occorre progettare le nostre migliori azioni politiche e di sistema per promuovere la necessità di innovare usando bene e in modo consapevole le risorse del Pianeta.

'La trasformazione verde e quella digitale sono sfide indissociabili', ha affermato Ursula von der Leyen, nel suo discorso di investitura come Presidente della Commissione Europea nel 2019. In tal senso l'European Green Deal, la Next Generation EU e il New European Bauhaus, così come gli altri Piani nazionali (ad esempio il PNRR in Italia), assumono importanza strategica sia nel definire, in modo chiaro e univoco, le traiettorie di sviluppo futuro di un'Europa ecologica, digitale, coesa e resiliente, sia nel correggere i principali squilibri presenti nel vecchio continente, facendo convergere – pur nella eterogeneità delle condizioni degli Stati Membri – le aspettative e le istanze, di ordine generale, comuni e condivise, di cittadini e imprese. Un fil rouge quello della 'transizione' che unisce temi e dibattiti che investono al tempo stesso la scienza, la tecnologia ma anche la filosofia, l'antropologia, l'ecologia e l'economia, declinate attraverso i tanti aggettivi specialistici che ne definiscono ambiti sempre più circoscritti, eppur più aperti a logiche di transdisciplinarietà, in una sorta di specializzazione delle discipline e del linguaggio richiamando nomi come Bateson, Commoner, Catton and Dunlap, Carpo, Kelly, Solis, Negroponte, e ancora Jonas, Morin, Floridi, Caffo.

In questo scenario, in cui l'antropologia digitale si riconosce nel termine 'anticipazione', nella capacità di interagire con il flusso continuo dell'innovazione per costruire un nuovo ecosistema digitale (Solis, 2016), l'innovazione antropocentrica trova la sua collocazione ideale, si espande e si evolve tralasciando la capacità di mettere l'uomo e i suoi bisogni al centro delle nuove proposte di valore. Questa nuova forma di 'innovazione sostenibile' non può che avere come priorità, congiunte e contemporanee, il benessere sociale e quello ambientale, tali da facilitare una transizione etica e sostenibile a beneficio dell'intera comunità (WEF, 2022). La trasformazione antropica dello spazio è un'azione energivora che incrementa il livello di entropia, ancora molto distante da sistematici quanto diffusi approcci di tipo 'cradle to cradle' o rispettosi delle risorse non rinnovabili. Il tema non riguarda quindi gli statuti disciplinari quanto piuttosto aspetti di interdisciplinarietà e trasversalità finalizzati a orientare e favorire una 'ripresa' resiliente, sostenibile e inclusiva.

La complessità del tema è una delle sfide del nostro secolo poiché, se da un lato la Global and Sustainability Initiative (GESI, 2021) evidenzia come la 'transizione ecologica' può orientare eticamente le opportunità del digitale e il report The European Double Up (Accenture, 2021) sostiene che la 'transizione digitale' si configura come strumento in grado di avviare processi condivisi altrimenti più lenti da attivare, meno pervasivi e probabilmente meno performanti, dall'altro il matrimonio tra 'verde' e 'blu' lascia intravedere non pochi problemi e contraddizioni (Floridi, 2020) fino a ipotizzare l'impossibilità di attuare la 'transizione ecologica' insieme alla 'transizione digitale' (Caffo, 2021). Ecco allora che, affinché il nuovo paradigma 'innovability' (con la sua doppia chiave di interpretazione e declinazione dei possibili approcci scientifici di ricerca e di operatività) possa trovare la massima espressione ed essere effettivamente attuato, occorre introdurre strumenti (materiali e immateriali) adeguati, nuovi, trasversali, interscalari e interdisciplinari ma, allo stesso tempo, appare essenziale operare per costruire e alimentare un rapporto di complementarità strategica tra ecologia e digitale, un'osmosi bidirezionale di approcci, avanzamenti, sperimentazioni e risultati all'interno di una visione di progresso condivisa e di obiettivi comuni.

Alla luce delle superiori premesse il numero 12 di AGATHÓN raccoglie saggi, studi, ricerche e progetti sul tema Innovability® | Transizione Digitale per indagare sulla trasformazione pervasiva e diffusa in atto che unisce dicotomie (analogico e digitale), esalta ossimori (intelligenza artificiale), realizza paradossi (materialità dell'intangibile) coinvolgendo, indifferentemente, l'architettura, le scienze umane e sociali, l'antropologia, la sociologia, l'ecologia, la biologia, le scienze fisico-matematiche e le neuroscienze con impatti che – visibili già oggi e accelerati in parte dalla condizione straordinaria di emergenza sanitaria mondiale – si renderanno ancor più evidenti a medio e lungo termine. Una trasformazione certamente 'digitale', che studiosi come Floridi (2020) e Galimberti (2020), ma anche Haraway

(2018), Searle (2017) e Chomsky (2011), hanno posto su un piano innanzitutto ontologico ed epistemologico in quanto coinvolge l'essenza delle 'cose', il modo con cui le definiamo, il mondo che ci circonda e in particolare la nostra relazione con gli elementi che lo costituiscono.

A poco più di cinquant'anni dalla mostra *Cybernetic Serendipity* (1968) tenutasi presso l'Institute of Contemporary Arts di Londra 1968 il digitale ha assunto caratteri di pervasività in continuo divenire, assumendo il ruolo di 'potente abilitatore', reticolo di componenti umani e tecnologici collegati e interconnessi (Kelly, 2010). La 'transizione digitale', secondo una recente ricerca Deloitte si sta manifestando attraverso un efficientamento dei processi produttivi e una crescente adozione di comportamenti virtuosi – l'impegno nel riciclaggio/compostaggio (68%), la riduzione degli sprechi energetici e del consumo di risorse (54%), la scelta verso mezzi di trasporto a basso impatto ambientale (36%), una maggiore attenzione all'efficientamento energetico delle abitazioni (36%) – condizioni che, nel creare nuovo valore, delineano altrettanto nuovi scenari di sviluppo e sostenibilità accompagnando di fatto la transizione ecologica.

Tuttavia oltre a consentire infinite potenzialità l'innovazione digitale reca con sé diverse criticità. Bit, algoritmi e dati, seppur riescano a rispondere meglio alla necessità di specifici progetti in una società iperconnessa, se non adeguatamente utilizzati possono produrre rappresentazioni distorte e stereotipate della realtà. Molti ambiti di ricerca sono caratterizzati dal fenomeno della datafication, un insieme infinito di informazioni elaborato da sistemi di Machine Learning e Intelligenza Artificiale. Questi sistemi sono capaci di apprendere in autonomia i processi e le dinamiche urbane e quindi favorire un miglioramento esponenziale delle 'performance' dei processi urbani, con risposte in tempo reale alle criticità presenti sul territorio, a partire dalle segnalazioni dirette e indirette (attive e passive) degli utenti. Diversi i rischi da tenere sotto controllo: la riduzione del potere decisionale dell'utente e la definizione di soluzioni 'conformi' che poco si sposano con l'unicità di ogni architettura, luogo e persona. Un approccio data-driven tout-court può anche rischiare di distogliere l'attenzione dall'obiettivo più alto che per l'innovazione è costruire una società più giusta ed equa nella quale le persone sono al centro del progresso tecnologico: in qualunque modo si realizzi l'innovazione deve favorire un miglioramento della qualità della vita e pertanto anche quella nuda e cruda deve avere un'impronta sociale ed etica.

In quest'ottica è da auspicare un rinnovato equilibrio tra tecnologia e uomo, un nuovo 'umanesimo digitale' nel quale la dimensione antropologica della tecnologia favorisca l'innovazione tecno-digisociale superando l'attuale dimensione avanguardista in favore di una strutturata e sistemica. Quando sperimentazioni virtuose come quelle di Massimo Moretti (che tramite la stampante 3D WASP propone un'abitazione autosufficiente ed ecologica a km zero), di Salvatore Iaconesi e Oriana Persico (grazie ai quali una IA addestrata dalla comunità aiuta a risolvere i problemi dello specifico contesto territoriale) e di Ilac Diaz (ideatore e promotore nelle Filippine di *Liter of Light*, un progetto tecnico scalabile/replicabile che rende 'accessibile' l'illuminazione e sociale/generativo basato sulla formazione e avviamento al lavoro) diventeranno prassi diffusa per sostenere lo sviluppo di comunità locali reticolari, 'ibride, open source e ben informate' (Di Dio et alii, 2022), le persone saranno parte di una rete attiva in un nuovo modello di economia rigenerativo e ridistributivo (Raworth, 2017). Si potranno instaurare così relazioni con entità differenti (natura, istituzioni, artefatti, etc.) atte ad assumere il ruolo di 'protagoniste nel prendersi cura del mondo' (Floridi, 2020).

Attraverso il digitale altre relazioni possono aprire nuove frontiere nei modi di abitare e trasformare le città. La relazione tra tessuto costruito e sociale si manifesta prevalentemente negli spazi compresi tra gli edifici e dunque nello spazio pubblico o collettivo, a cui è attribuibile un ruolo cruciale nel definire senso di identità/appartenenza o di estraneità di una comunità locale. Ma il costruito non riguarda solo il tangibile e il visibile poiché è continuamente arricchito da una varietà complessa di elementi immateriali e digitali che permettono di ottenere benefici, insieme sociali e ambientali. L'estensione delle infrastrutture digitali allo spazio reale richiede però una nuova riflessione: non è più da chiedersi come utilizzare il digitale per acquisire e gestire dati ma come rendere l'informazione un driver per conformare spazi, 'non più addizionati ma integrati', per instaurare un equilibrio dinamico e inedito capace di rispondere alle esigenze degli utenti che lo abitano, superando quella tendenza dei progetti a rendere manifesti dati georeferenziati qualitativi e quantitativi senza valorizzare le caratteristiche spaziali del luogo e l'integrazione tra utenti, dati e spazio.

Sulla scia dei molteplici casi studio che esprimono la potenzialità di uno spazio con i dati da/in esso generati – e a cui fanno riferimento categorie di progetto come quelle del 'digital placemaking', 'digital wayfinding' e 'digital sensemaking' – prende corpo il paradigma della 'interattività spaziale' tra il mondo fisico e digitale dell'architettura: superando l'impiego convenzionale delle tecnologie digitali per dar vita a mondi paralleli e immersivi, l'inter-spazialità sposta l'enfasi della ricerca 'sull'esperienza' dell'utente poiché i dati (qualitativi e quantitativi) entrano a far parte del campo percettivo acquisendo qualità che contribuiscono a definire l'identità dello spazio stesso (Dall'Osso et alii, 2022). La commistione tra fisico e digitale in una logica di interattività favorisce anche l'implementazione, alle diverse scale del progetto, di approcci trasformativi 'dinamici' legati alla inter-scalarità, multi-materialità e multi-temporalità che, attraverso la riconfigurazione fisica dello spazio, possono fornire risposte a esigenze eterogenee, oltre che degli utenti anche di resilienza nei confronti di fattori di stress ambientali e sociali, e più in generale di una digital innovability. In tal senso si segnala la ricerca *Adaptive Architecture for Resilience* (Biancaloro et alii, 2022) nella quale la centralità delle componenti digitale e multiscale dell'approccio adattivo caratterizza il progetto speculativo di una doppia riconfigurazione fisica di una piazza olandese, al fine di rispondere sia alle esigenze dettate dalle misure di prevenzione della pandemia sia dal perpetuarsi di condizioni meteorologiche locali avverse.

Le tecnologie digitali ci offrono strumenti utili a supportare anche la governance della città contemporanea, sempre più indirizzata a realizzare smart cities raccogliendo, elaborando e integrando grandi quantità di dati per comprendere i fenomeni urbani. UAV (Unmanned Aerial Vehicle), sensori e IoT, insieme alle tecnologie di post-produzione per la generazione di gemelli digitali, supportano metodi di monitoraggio innovativi che riducono la presenza degli operatori sul campo in favore di una maggiore sicurezza sul lavoro e ottimizzazione dei costi di gestione e manutenzione. Ne è un esempio la ricerca sull'automazione del censimento tecnologico urbano dal titolo '3D Bethlehem – Management and control of urban growth for the development of Heritage and Improvement of life in the city of Bethlehem', cofinanziata da AICS e coordinata dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Pavia (Doria, 2022), che propone attraverso una infrastruttura cloud scalabile, algoritmi addestrati e immagini georeferenziate un protocollo di identificazione di elementi ricorrenti: il fine è monitorarli nel tempo e supportare le fasi di analisi e decisionale.

Per monitorare il livello di attuazione di politiche urbane e azioni mirate a realizzare gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, descrivendo in tempo reale aspetti significativi della qualità ambientale, sociale ed economica di uno specifico ambito socio-spaziale, negli ultimi anni sono stati messi appunto i 'cruscotti digitali' (digital dashboards), un'interfaccia interattiva supportata da una piattaforma che combina grafici e mappe di tendenza, analisi spaziale e visualizzazione con strumenti di business intelligence consolidati. Se i primi 'cruscotti' utilizzavano indicatori 'singoli' (generalmente di tipo quantitativo) che per loro natura sono oggettivi e indipendenti da influenze esterne, tracciabili nel tempo e verificabili e consentono raramente una interpretazione di fenomeni più complessi, le più recenti sperimentazioni impiegano indicatori 'aggregati', più facili da comprendere per gli utenti (PA, imprese, cittadini) ma più suscettibili di interpretazione.

Al fine di superare tale criticità, sviluppando un protocollo condiviso e una metodologia trasparente di impronta human-centred, sono state condotte le sperimentazioni del DataLab – promossa dalle Città metropolitane di Genova e Milano con il Dipartimento di Architettura e Design di Genova e Colouree Srl (Magliocco and Canepa, 2022) – che impiega uno storytelling di dati in cui si esplicita la pesatura dei singoli indicatori e il criterio di aggregazione e del Comune di Udine con il Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura dell'Università di Udine sulla pianificazione dell'accessibilità ambientale dei centri urbani (PEBA) con la quale, attraverso l'impiego di ICT e l'interazione degli 'utenti', si restituisce un quadro esaustivo dei servizi al cittadino e dei gradi di accessibilità delle singole aree urbane, evidenziando e geolocalizzando le singole criticità al fine di poter valutare azioni mirate per interventi strutturali e di manutenzione, d'arredo o allestimento temporaneo prestazionalmente inaccessibili (Milocco Borlini and Conti, 2022).

La transizione digitale ha messo a disposizione del progetto urbano e architettonico sofisticati strumenti parametrici morfogenetici prevalentemente per la generazione di forme dalle geometrie non euclidee, la realizzazione di componenti edilizi e il contenimento dei consumi energetici. Se in termini di linguaggio architettonico i concetti di innovazione e sostenibilità sono spesso visti come antitetici poiché l'innovazione è assimilata all'uso di forme avveniristiche (spesso tutt'altro che sostenibili sotto il profilo ambientale) e l'approccio sostenibile sembra orientarsi verso materiali e soluzioni tecniche più tradizionali e locali, dal punto di vista del processo progettuale il nuovo paradigma della innovability[®] apre interessanti prospettive nella gestione delle trasformazioni urbane e nel contenimento dei consumi energetici dei manufatti. Nell'ambito dell'attività di ricerca della Joint Research Unit Transitional Morphologies, riferibile al Politecnico di Torino e alla Southeast University Nanjing (Barosio and Gugliotta, 2022), gli strumenti parametrici sono impiegati per gestire le trasformazioni urbane sulla base di parametri formali (e non meramente quantitativi) derivati dall'analisi morfologica della città esistente e relativi al 'tipo' come sintesi della forma, al 'diagramma' come esplicitazione delle relazioni tra gli elementi formali e al 'modello' come base di dati di riferimento. Questo tipo di approccio produce una varietà di configurazioni definite all'interno di quello che DeLanda (2016) chiama 'spazio delle possibilità', demandando al progettista la soluzione più appropriata.

Gli strumenti digitali possono inoltre contribuire alla riqualificazione energetica di un edificio esistente ottimizzando la progettazione e la produzione ad esempio di componenti tecnologici di rivestimento prefabbricati, modulari e con finiture personalizzabili, secondo la soluzione avanzata da Energiesprong i cui pannelli con telaio in legno sono adeguatamente isolati e attrezzabili con serramenti a elevata efficienza energetica e con un nuovo sistema impiantistico. In tal senso una buona pratica è rappresentata dal programma di ricerca Renew-Wall nel quale, per gestire la complessità dell'intero sistema, è stata sviluppata una soluzione digitale a supporto di un flusso di lavoro integrato che facilitasse la modellazione geometrica e informativa in fase di progetto, la replicabilità e adattabilità a diverse configurazioni e la trasferibilità delle informazioni utili per la produzione al sistema CAD-CAM (Massari et alii, 2022).

Una delle priorità delle politiche europee e nazionali, anche in relazione al caro energia, è supportare la transizione energetica del settore residenziale mediante politiche e strumenti specifici. Tra le diverse traiettorie di azione è da segnalare quella più diffusa che mira a potenziare gli interventi tecnici/tecnologici sul patrimonio edilizio; a questa fa da contraltare quella, sempre più accreditata presso la comunità scientifica, che attribuisce rilevanza al binomio utente/strumenti intelligenti: attraverso il monitoraggio energetico esso può favorire il miglioramento del comfort indoor, una sensibile contrazione della spesa delle famiglie e apprezzabili effetti ambientali su larga scala, sebbene il cambiamento comportamentale del singolo individuo determini una quota modesta di riduzione dei consumi. In quest'ottica è da leggere la sperimentazione condotta all'interno di una più ampia collaborazione tra l'Azienda Casa Emilia-Romagna di Bologna e l'Università di Bologna volta a valutare i reali benefici che il binomio può generare in relazione alla capacità degli utenti di comprendere i reali vantaggi, di interagire attivamente con le tecnologie e di reagire alle informazioni disponibili (Gaspari et alii, 2022).

Le tecnologie digitali supportano il progetto fornendo utili strumenti anche per strutturare matrici e modelli predittivi multiscalarari, multicriteriali e replicabili di carattere tecnologico-ambientale al fine di rispondere alle ormai imprescindibili istanze della tutela ambientale e dell'efficienza energetica; esse aprono nuove frontiere agli studi sulle tecnologie per il controllo del processo edilizio soprattutto in relazione a due approcci, quello che mira alla resilienza in risposta alle sfide di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici e quello di impronta circolare in un'ottica di salvaguardia delle risorse non rinnovabili.

In quest'ottica sono da leggere due ricerche pubblicate nel volume. La prima (Tucci et alii, 2022) definisce un approccio metodologico-applicativo originale a supporto della fase sperimentale-progettuale nell'ambito della rigenerazione di distretti urbani in termini di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici con effetti benefici in termini di comfort ambientale negli spazi outdoor, intermedi e indoor e riduzione del fabbisogno energetico e delle emissioni di CO₂; la metodologia, applicata a due casi studio a Roma, sviluppa un set di azioni confrontabili, replicabili e misurabili (in termini di performance e benessere) e consente di valutare strategie e soluzioni bioclimatiche passive attraverso attività di modellazione/simulazione dinamica ex ante/ex post, di cui ne valida l'efficacia attraverso la quantificazione della riduzione delle emissioni di CO₂. Il secondo contributo (De Joanna et alii, 2022) propone due ricerche dottorali in itinere, ma comunque significative, che condividono l'obiettivo comune, già in fase di studio di fattibilità, di individuare criteri e strumenti per il controllo dei fattori di resilienza e circolarità in edilizia come strategia per la mitigazione dell'impatto ambientale; tuttavia esse si fondano su due approcci disciplinari distinti finalizzando gli strumenti elaborati all'applicazione di metodologie differenti: l'una 'agile', valutativa su larga scala, consente agli attori chiave del processo decisionale di operare con un ridotto impiego di risorse in termini di tempi e costi, di avere a disposizione una mappatura del costruito esistente e di implementare banche dati e quadri informativi utili a futuri interventi; l'altra 'parametrica' consente di pre-orientare le scelte progettuali conformemente al contesto di riferimento, superando la tradizionale ed esclusiva attenzione all'efficientamento energetico e integrando anche aspetti economici e sociali per il miglioramento della qualità abitativa, ambientale ed ecosistemica.

Un altro importante impatto che le tecnologie digitali possono determinare riguarda la promozione e implementazione di politiche di condivisione delle risorse materiali e immateriali attraverso nuovi dispositivi-piattaforme-servizi sempre più sostenibili. In particolare le piattaforme digitali hanno il potenziale di aprire campi di azione/sviluppo innovativi, sfruttando le possibilità di connessioni a distanza tra dati, beni, saperi e stakeholders, risolvendo inefficienze di sistema, creando nuove opportunità sia di condivisione del know-how tra i diversi campi della conoscenza sia di scambio nella gestione delle risorse materiali e immateriali e strutturando una solida filiera di un riuso trasversale ai diversi settori produttivi. Assume rilevanza ad esempio l'archiviazione e catalogazione del Patrimonio Intangibile dei processi artigianali tradizionali su piattaforme digitali che, acquisendo il ruolo di catalizzatore di processi creativi e organizzativi, concorrono alla costruzione di una memoria sistemizzata e trasmissibile per una più proficua competitività delle PMI e fungono da volano per lo sviluppo di processi di user-experience mirati alla divulgazione e al reinserimento nel contesto del design contemporaneo (Goretti et alii 2022). Non di minore importanza è la messa a punto di piattaforme e applicativi digitali intuitivi, interconnessi, integrati e implementabili per la gestione delle informazioni sulle attività di ricerca e di didattica universitarie che favoriscano la transizione verso un sistema aperto, trasparente, inclusivo e sostenibile nel quale la Comunità accademica riesca a riappropriarsi di un ruolo culturale primario e gli Atenei siano sempre più complementari al modello territoriale di riferimento e in costante relazione di scambio e 'reciproca contaminazione' con il mondo della ricerca e dell'industria (Bruno and D'Alessandro, 2022).

Sviluppo sostenibile e transizione digitale trovano ampio spazio per inedite sinergie soprattutto in alcune discipline del progetto che si interessano alla messa a punto di sistemi integrati per filiere produttive circolari, seppur a velocità diverse: infatti se la progettazione architettonica e urbana lavora da tempo verso l'innovazione dei paradigmi progettuali e costruttivi in senso sostenibile e circolare, il design espositivo tarda a integrare in modalità sistemica questi aspetti nelle proprie strutture creative e gestionali. Tuttavia in entrambi gli ambiti disciplinari esistono sperimentazioni significative e innovative, talvolta già codificate in pratiche replicabili, che restituiscono le potenzialità del digitale per una transizione circolare e sostenibile.

Se le piattaforme in ambito architettonico sono più note (Harvest Map, Restado RE-sign e Madaster, per citarne alcune), quelle nel design dell'allestimento sono poche e poco conosciute perché il sistema museale ha rivolto finora la sua attenzione prevalentemente alle opportunità delle tecnologie digitali in termini principalmente fruitivi, facilitando esperienze interattive e immersive o sfruttando i dati come dimensione sensoriale. Esistono comunque casi virtuosi di iniziativa privata come Materials for the Arts di New York (che raccoglie materiali riutilizzabili da aziende e privati e li mette gratuitamente a disposizione di scuole pubbliche, di agenzie cittadine o di organizzazioni no-profit per la realizzazione di programmi artistici), Spazio META di Milano (che raccoglie, lavora e infine espone i materiali per la vendita al pubblico) e Non Si Butta Via Niente (che favorisce un processo di rigenerazione creativa di manufatti allestitivi, parzialmente o totalmente riutilizzabili, grazie a una piattaforma web di mutua collaborazione). L'analisi incrociata delle buone pratiche citate fa emergere che innovazioni e approcci circolari già integrati nella ricerca e nella pratica di alcuni settori (come quello dell'architettura) potrebbero essere utilmente traslati ad altri meno attenti alle questioni ambientali (come quello del design dell'allestimento), con sinergie possibili nella formazione di una potenziale 'banca dati' universale in cui materiali e componenti sono soggetti a un sistema di tracciabilità per un riutilizzo trasversale in ambiti differenti, e quindi generare più cicli di vita possibili (Crippa et alii, 2022).

È poi da rilevare che la recente emergenza pandemica da Covid-19 ha imposto modifiche e restrizioni in ogni campo delle attività umane, sostituendo la tradizionale modalità in presenza con relazioni a distanza. La sfida che oggi ci troviamo ad affrontare sta nel non abbandonare quanto sperimentato e appreso, ma di metterlo a frutto con un approccio 'phygital' capace di interpretare al meglio il contesto in cui si opera, innescando modalità di interazione ibride, fisiche o virtuali in funzione di esigenze puntuali per dare corpo a una transizione digitale consapevole e duratura. In questo senso sono da apprezzare tre sperimentazioni di cui due 'phygital', sulla formazione universitaria (Bracco et alii, 2022) e sulla percezione dei materiali (Del Curto et alii, 2022), nonché una didattica sull'ottimizzazione dei flussi di lavoro e degli sprechi (Esposito et alii, 2022).

La prima illustra il progetto di ricerca 'Farmacia Virtuale, Competenze Reali' sulla Farmacia dei Servizi avviato da un team interdisciplinare di docenti dell'Università di Genova: nell'ottica dello sviluppo di una didattica integrata fondata sulla digitalizzazione stabile e sui principi dell'Ergonomia Cognitiva e dell'Interaction Design, studente e docente possono personalizzare lo strumento digitale, da un lato superando modalità univoche e ripetitive in favore di un modello adatto a esigenze puntuali, dall'altro stimolando nello studente la capacità di adattamento e di previsione di situazioni specifiche, fondamentali per il professionista nel campo medico. La seconda sperimentazione illustra il progetto SMaPT (Sustainable Materials and Perception Tool) del Politecnico di Milano nel quale si mette a punto una nuova modalità online di interagire e acquisire conoscenza attraverso moodboard di parole chiave e immagini per valutare, secondo i principi del design CMF, il livello di percezione di utenti a distanza delle proprietà estetico-espressive delle plastiche sostenibili. La terza, condotta da docenti dell'Università degli Studi di Firenze con approcci formativi originali, indaga sull'applicazione gamificata dei processi Lean mindset tramite applicativi BIM per aumentare la qualità del processo produttivo e contribuire al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità nel settore delle costruzioni: una simulazione didattica che utilizza i LEGO® come strumento per l'applicazione di due flussi di lavoro, uno tradizionale e uno Lean-oriented, dimostra come adeguate metodologie progettuali abbinata agli strumenti digitali oggi disponibili, consentono di controllare numerosi aspetti del progetto architettonico, di ridurre sprechi di risorse ed errori progettuali o costruttivi, abbattere i tempi di progettazione e operare in termini di gestione della qualità del prodotto finale.

In un momento storico in cui le filiere di produzione edile stanno affrontando una profonda trasformazione in chiave ecologica e digitale per sostenere la competitività di un mercato globale e la resilienza del settore nei confronti delle sfide ambientali e socioeconomiche in atto, gli strumenti digitali permettono di facilitare l'ottimizzazione e la gestione avanzata del progetto, della sua ingegnerizzazione e produzione edilizia e di massimizzarne le prestazioni ambientali. In generale il digitale si configura come una innovazione tecnica e culturale che può favorire la messa a punto di nuovi e affidabili approcci metodologici per interpretare l'ingente mole di dati che esso stesso concorre a rendere disponibili nell'ottica di una migliore gestione del processo edilizio, ma anche per simulare/valutare il comportamento prestazionale e il ciclo di vita del costruito. In aggiunta, il recente sviluppo delle tecnologie digitali ha aperto il campo alla possibilità di trasformare gli impianti per la produzione edilizia prefabbricata in sistemi di Industria 4.0 altamente integrati, controllati ed efficienti sotto il profilo economico e ambientale in luogo di più approcci tradizionali nei quali si assegna centralità al cantiere come luogo privilegiato in cui avviene gran parte delle sequenze realizzative. Tra gli studi sull'argomento si segnala la ricerca CARES, condotta dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze e dall'azienda AREA Srl, che sviluppa un modello innovativo scalabile e replicabile di produzione industriale di elementi costruttivi in cartone ondulato basato sulla duplice digitalizzazione prodotto-processo attraverso l'utilizzo di strumenti BIM, finalizzato a ottimizzare il consumo di materiale e ridurre gli scarti di produzione (Romano et alii, 2022). E ancora la proposizione di un workflow per l'integrazione di dati informatici e piattaforme di data management con modelli di valutazione dell'impatto ambientale come il Life Cycle Assessment, al fine di supportare azioni sostenibili sul ciclo di vita di un particolare prodotto industriale, la cellula prefabbricata e customizzata per facciate continue ad alto contenuto tecnologico, una loro verifica in real-time durante l'avanzamento del processo produttivo e una maggiore qualità del progetto finale (Zaffagnini and Morganti, 2022).

Anche la gestione delle fasi d'uso e manutenzione di un manufatto è un aspetto fondamentale nella progettazione di edifici sostenibili e nella ricerca di strategie per la gestione efficiente del costruito in termini di risorse economiche e di materiali. Processi innovativi di Facility Management possono essere attuati attraverso strumenti digitali, ottimizzando consumi e risorse, purché siano previsti fin dalle fasi progettuali sfruttando le potenzialità del BIM e dei 'gemelli digitali' popolati dalle informazioni necessarie sia alla fase costruttiva che a quella gestionale del manufatto. Tuttavia nella pratica l'utilizzo di strumenti BIM nelle operazioni di gestione e manutenzione si scontra con criticità dovute alle numerose variabili che entrano in gioco nelle fasi del ciclo di vita, alla necessità di aggiornare database e integrare software specializzati e alla mancata disponibilità di dati in tempo reale, informazioni tutte necessarie per ottimizzare, e talvolta prolungare, il ciclo di vita dell'edificio, di un componente o di un materiale. Al fine di superare le suddette criticità un team di ricercatori dell'Università di Trento, dello Iuav di Venezia e della Tekser Srl ha messo a punto una strategia integrata, semplificata, user-friendly e cost-effective per la creazione di database CMMS a partire da modelli BIM in grado di supportare approcci predittivi (Dejaco et alii, 2022): nei due casi indagati il modello sperimentale ha consentito di intervenire in maniera tempestiva sul guasto nel 90% dei casi.

I temi affrontati dalle ricerche e dai saggi e pubblicati nel volume dimostrano che le due transizioni ecologica e digitale sono strettamente connesse e rappresentano 'sfide indissociabili' che devono essere affrontate in modo sistemico e secondo logiche aperte alla interdisciplinarietà capaci di supe-

rare gli statuti disciplinari per orientare e favorire una 'ripresa' resiliente, sostenibile e inclusiva. Si riconosce inoltre che le due istanze fondanti di questa duplice transizione sono quelle della 'innovazione' e della 'sostenibilità', l'una a servizio dell'altra per dare nuova funzione alle cose e utilizzare in modo consapevole le risorse non rinnovabili del nostro Pianeta. Per lo scopo il digitale si configura come strumento in grado di avviare processi condivisi altrimenti più lenti da attivare, meno pervasivi e probabilmente meno performanti, mentre l'innovazione digitale può rappresentare il motore di un nuovo paradigma di sviluppo capace di dare soluzioni concrete alla crisi energetica e ambientale sulla base di un meccanismo evolutivo improntato alla sperimentazione nei processi di progettazione.

Un altro elemento che emerge dai testi pubblicati è la necessità di riportare la componente umano-sociale al centro del progetto e della pianificazione urbana, in una simbiosi fra natura e artificio capace di attivare cicli di feedback costanti che consentano di rispondere in tempo reale alle esigenze dell'intero ecosistema, della città e dei cittadini. A raggiungere questa finalità si concentra da tempo lo studio CRA (Carlo Ratti Associati) indagando le sinergie possibili tra naturale e artificiale nell'ambiente costruito e sfruttando le tecnologie digitali come strumento multidisciplinare per fare innovazione nello spazio urbano. Diversi i temi affrontati dallo studio CRA e tra questi quello della decarbonizzazione attraverso il progetto Hot Heart di Helsinki (2021), una enorme struttura capace di produrre 6.000 GWh con pompe di calore ad acqua di mare e di convertire l'energia eolica e solare, offrendo alcontempo agli utenti servizi multifunzionali, attività ricreative e godimento pacifico della natura. Che le 'sfide indissociabili' si possano/debbono affrontare alle diverse scale del costruito lo dimostrano anche i progetti di minore dimensione dello studio CRA nei quali si sperimentano strumenti tecnologici che li rendono parte attiva nel cambiamento dell'ecosistema urbano: il Padiglione Living Nature (Milano, 2018) con il giardino a clima controllato e l'installazione Sun&Shade (Dubai, 2017) dotata di specchi in grado di riflettere la luce solare e il calore eccessivi sono emblematici esempi al pari della più grande Jian Mu Tower (Shenzen, 2021), un edificio polifunzionale alto 218 metri che esemplifica il concetto di 'farmscraper' nel quale l'intelligenza artificiale di un 'agronomo virtuale' gestisce la produzione e l'approvvigionamento alimentare degli utenti della torre (Tucci and Ratti, 2022).

In conclusione si rileva la necessità che la comunità scientifica amplii il dibattito sui nuovi paradigmi progettuali imposti dal digital manufacturing per restituire maggiore centralità nel cantiere a colui che ha pensato l'oggetto e che quindi ne possiede approfonditamente le logiche (Pone, 2022), valutando eventuali compromessi tra le fabbricazioni digitali 'capital intensive', costose e realizzate con macchine utensili raffinate e performanti, di cui la Landesgartenschau Exhibition Hall di Stoccarda del 2014 e il Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre del 2017 sono casi emblematici, e le 'labour intensive,' che tendono a valorizzare la manodopera e il lavoro collettivo come nel caso del Constructive Geometry Pavilion realizzato presso la Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto nel 2012. Cruciale sarà comunque il ruolo del progettista nella gestione dei processi, poiché allo stesso è demandata la responsabilità di affrontare le sfide del nuovo millennio la cui strada sembra tracciata sulle parole chiave innovazione, sostenibilità, interdisciplinarietà, cultura digitale, bit, intelligenza artificiale, resilienza, adattività, economia circolare, eco-compatibilità, comunità e inclusione sociale.

When the 1984 Brundtland report proposed the need for a new sustainability of development for Humanity, it was clear that the term of reference was 'tekne', i.e., Man's ability to process elements on the Planet that might become resources, though unknown or not employable with the technologies available at the time. There has always been an ongoing confrontation and dialogue between Environment and Technology such that what we now call the (natural) environment is the result of an enduring and profound anthropization of the zoosphere, which has now become a fragile anthroposphere. Within our anthroposphere, unsteadily balancing between the search for artifice and the desire to protect the Planet, the Covid-19 pandemic has shown us – among other things – how the project of sustainable development is a cryptic goal, the contours of which are not indeed known and in which it is not possible to operate merely in conservative terms.

The term 'innovability'[®] has become increasingly popular in the economic and social sciences, a renewed driving force for a new paradigm of development that expresses one of the most crucial challenges of our time and the need for a 'solidary' convergence between the two inescapable instances of 'innovation' and 'sustainability', as if these were opposing and conflicting: regardless of the terminology, even more so in times of a pandemic with its economic and social impact, Humanity promotes one of its prerogatives, i.e., the use of the 'things' that nature provides in order to transform them from their primary function (innovation), aware that those resources are not inexhaustible (sustainability). In this forward-looking context, it is necessary to design our best political and system actions to promote the need to innovate through the conscious and effective use of the Planet's resources.

In her inauguration speech as President of the European Commission in 2019, Ursula von der Leyen stated that green and digital transformations are 'inseparable challenges'. In this sense, the European Green Deal, the Next Generation EU and the New European Bauhaus, as well as other National Plans (e.g. the Italian PNRR), assume strategic importance both in defining, in a clear and univocal way, the future development trajectories of an ecological, digital, cohesive and resilient Europe, as well as in correcting the main imbalances of the old continent, bringing together – despite the heterogeneous conditions of the Member States – the expectations and demands, of a general, common and shared nature, of citizens and businesses. The fil rouge is that of a 'transition' that combines themes and debates simultaneously involving science, technology but also philosophy, anthropology, ecology and economics, declined through the many specialized adjectives that define

their increasingly delimited fields, yet more open to transdisciplinary logic, a kind of speciation of disciplines and language, recalling names such as Bateson, Commoner, Catton and Dunlap, Carpo, Kelly, Solis, Negroponte, as well as Jonas, Morin, Floridi, Caffo.

In this scenario, in which digital anthropology identifies with the term 'anticipation', and in the ability to interact with the continuous flow of innovation to build a new digital ecosystem (Solis, 2016), anthropocentric innovation finds its ideal location, expands and evolves by targeting the capacity to place humans and their needs at the centre of new value propositions. This new form of 'sustainable innovation' is bound to have social and environmental well-being as joint and simultaneous priorities, such as facilitating an ethical and sustainable transition for the benefit of the entire community (WEF, 2022). The anthropogenic transformation of space is an energy-intensive action that increases the level of entropy, still a long way from systematic and widespread approaches such as 'cradle to cradle' or approaches that are respectful of non-renewable resources. Therefore, the theme does not concern disciplinary statutes but rather interdisciplinary and transversal aspects aimed at guiding and fostering a resilient, sustainable and inclusive 'recovery'.

This complex nature is one of the challenges of our century. On the one hand, the Global and Sustainability Initiative (GESI, 2021) highlights how the 'green transition' can ethically steer the opportunities of digital, and the report The European Double Up (Accenture, 2021) argues that the 'digital transition' is configured as a tool that can initiate shared processes that would otherwise be slower to activate, less pervasive and likely to perform less well; on the other hand, the union of 'green' and 'blue' hints at a number of potential issues and contradictions (Floridi, 2020) to the point of speculating the impossibility of implementing the 'ecological transition' and 'digital transition' simultaneously (Caffo, 2021). Hence, in order for the new 'innovability' paradigm (with its double meaning of interpretation and declination of possible scientific approaches of research and operation) to find its maximum expression and be effectively implemented, it is necessary to introduce adequate, new (material and immaterial) tools, which are transversal, interscalar and interdisciplinary. At the same time, it appears essential to build and nurture a relationship of strategic complementarity between ecology and digital, a bidirectional osmosis of approaches, advances, experiments and results as part of a vision of shared progress and common goals.

In light of the premises above, issue 12 of AGATHÓN collects essays, studies, research and projects on the topic of Innovability® | Digital Transition to investigate the current widespread transformation that unites dichotomies (analogue and digital), enhances oxymorons (artificial intelligence), creates paradoxes (materiality of the intangible), while indiscriminately involving architecture, humanities and social sciences, anthropology, sociology, ecology, biology, physical-mathematical sciences and neurosciences, with impacts that – while already visible today and accelerated in part by the extraordinary global health emergency – will become even more evident in the medium and long term. A 'digital' transformation, which academics such as Floridi (2020) and Galimberti (2020), but also Haraway (2018), Searle (2017) and Chomsky (2011), have placed on a primarily ontological and epistemological level insofar as it involves the essence of 'things,' the way we define them, the world around us, and in particular our relationship with the elements that constitute it.

Slightly over fifty years after the Cybernetic Serendipity (1968) exhibition held at the Institute of Contemporary Arts, London 1968, digital has become pervasive in its ever-evolving characteristics, taking on the role of a 'powerful enabler', a network of connected and interconnected human and technological components. The 'digital transition', according to a recent Deloitte research, is manifesting through efficient production processes and increasing adoption of virtuous behaviours – the commitment to recycling/composting (68%), the reduction of energy waste and resource consumption (54%), the choice toward environmentally friendly means of transportation (36%), and greater attention to energy efficiency in homes (36%) – conditions that, in creating new value, equally outline new scenarios for development and sustainability, effectively supporting the ecological transition.

However, digital innovation comes with several challenges in addition to enabling endless potential. Bits, algorithms and data, while able to meet the need for specific projects in a hyper-connected society, can produce distorted and stereotypical representations of reality if misused. Many research fields are characterized by datafication, an infinite set of information processed by Machine Learning and Artificial Intelligence systems. These systems can autonomously learn urban processes and dynamics, thus fostering exponential improvement in urban process 'performance,' with real-time responses to on-site issues from direct and indirect (active and passive) user reports. Several risks must be kept under control: the reduction of the user's decision-making power and the definition of 'compliant' solutions that do not match the uniqueness of each architecture, place and person. A tout-court data-driven approach may also run the risk of diverting attention from the greater goal, which for innovation is to build a more just and equitable society in which people are at the centre of technological progress: in whatever way it is achieved, innovation must promote an improvement in the quality of life, and therefore even the core of innovation must have a social and ethical footprint.

With this in mind, a renewed balance between technology and man is desirable, a new 'digital humanism' in which the anthropological dimension of technology fosters techno-digi-social innovation by overcoming the current avant-garde dimension in favour of a structured and systemic one. When virtuous experiments such as those of Massimo Moretti (who proposes a self-sufficient and ecological zero-kilometre housing model using the WASP 3D printer), Salvatore Iaconesi and Oriana Persico (who envisage a community-trained AI that assists in solving specific issues connected to the territorial context) and Illac Diaz (creator and promoter in the Philippines of Liter of Light, a scalable/replicable technical project that makes lighting 'affordable' and social/generative based on

education and job placement) will become widespread practice to support the development of reticular, 'hybrid, open source and well-informed' local communities (Di Dio et alii, 2022), people will be part of an active network in a new regenerative and redistributive economic model (Raworth, 2017). In this way, it will be possible to establish relationships with different entities (nature, institutions, artefacts, etc.) capable of assuming the role of 'protagonists in caring for the world' (Floridi, 2020).

Through digital, other relationships can open new frontiers in how cities are inhabited and transformed. The relationship between built and social fabric is mainly manifested in the spaces between the buildings and, therefore, in the public or collective space, to which a crucial role is attributed in defining a sense of identity/belonging or foreignness of a local community. However, the built environment is about more than just the tangible and visible, as it is continually enriched by a complex variety of intangible and digital elements that provide both social and environmental benefits. Nevertheless, the extension of digital infrastructures to real space requires a new reflection. The question is no longer how to use digital to acquire and manage data, but rather how to enable information to become a driver for conforming spaces which are 'no longer additive but integrated'; so a dynamic and unprecedented balance capable of responding to the needs of the users who inhabit can be established, overcoming that tendency of projects to display qualitative and quantitative georeferenced data without enhancing the spatial characteristics of the place and the integration between users, data and space.

In the wake of the multiple case studies expressing the potential of a space with data generated from it/into it – and referred to by design categories such as 'digital placemaking', 'digital wayfinding' and 'digital sensemaking' – the paradigm of 'spatial interactivity' between the physical and digital worlds of architecture takes shape: going beyond the conventional use of digital technologies to create parallel and immersive worlds, interspatiality shifts the emphasis of research 'on the experience' of the user, since (qualitative and quantitative) data become part of the perceptual field, acquiring qualities that contribute in defining the identity of the space itself (Dall'Osso et alii, 2022). The mixture between physical and digital in a logic of interactivity also favours the implementation, at different scales of the project, of transformative 'dynamic' approaches linked to interscalarity, multi-materiality and multi-temporality which, through the physical reconfiguration of space, can provide answers to heterogeneous needs, not only for users but also for resilience to environmental and social stressors, and more generally for digital innovability[®]. Of particular note in this regard is the study Adaptive Architecture for Resilience (Biancaloro et alii, 2022), in which the centrality of the digital and multiscale components of the adaptive approach characterizes the speculative design of a dual physical reconfiguration of a Dutch square in order to respond to both the needs dictated by pandemic prevention measures and the persistence of adverse local weather conditions.

Digital technologies offer helpful tools to support the governance of the contemporary city, increasingly aimed at creating smart cities by collecting, processing and integrating large amounts of data to understand urban phenomena. Unmanned Aerial Vehicle (UAV), sensors and IoT, together with post-production technologies for the generation of digital twins, support innovative monitoring methods that reduce the presence of field operators in favour of increased work safety and optimization of operating and maintenance costs. An example of this is '3D Bethlehem – Management and control of urban growth for the development of Heritage and Improvement of life in the city of Bethlehem', a study on the automation of urban technological census co-funded by AICS and coordinated by the Department of Civil Engineering and Architecture at the University of Pavia (Doria, 2022), which proposes a protocol for identifying recurring elements through a scalable cloud infrastructure, trained algorithms and georeferenced images: the aim is to monitor these elements over time and support the analysis and decision-making phases. Recent years have seen the development of digital dashboards, an interactive interface supported by a platform that combines trend charts and maps, spatial analysis and visualization with established business intelligence tools, to monitor the level of implementation of urban policies and actions aimed at achieving the UN Sustainable Development Goals, through a real-time description of significant aspects of the environmental, social, and economic quality of a specific socio-spatial area. While the earliest 'dashboards' used 'single' (generally quantitative) indicators – that by their nature are objective and independent of external influences, traceable over time and verifiable, and rarely allow for an interpretation of more complex phenomena – the most recent experiments employ 'aggregate' indicators, which can be understood more easily by users (PAs, businesses, citizens) but are more susceptible to interpretation.

In order to overcome this issue, through the development of a shared protocol and a transparent methodology with a human-centred imprint, DataLab experiments were conducted – promoted by the Metropolitan Cities of Genoa and Milan with the Department of Architecture and Design of Genoa and Colouree Srl (Magliocco and Canepa, 2022) – which uses data storytelling explicitly weighing individual indicators and the aggregation criterion, and by the Municipality of Udine with the Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura of the University of Udine on the planning of the environmental accessibility of urban centres (PEBA), which returns a comprehensive picture of citizen services and degrees of accessibility of individual urban areas through the use of ICT and 'user' interaction, highlighting and geolocating individual challenges to evaluate targeted actions for structural and maintenance interventions, for furnishings or temporary installations inaccessible performance wise (Milocco Borlini and Conti, 2022).

The digital transition has provided urban and architectural design with sophisticated morphogenetic parametric tools, primarily for the generation of forms from non-Euclidean geometries, the construction of building components, and the containment of energy consumption. In terms of architectural language, the concepts of innovation and sustainability are often seen as antithetical since innovation is associated with the use of futuristic forms (often anything but environmentally sustain-

able) and the sustainable approach seems to lean towards more traditional and local materials and technical solutions; in terms of the design process, the new innovability[®] paradigm opens up interesting perspectives in the management of urban transformations and the containment of energy consumption of buildings. As part of the research activity of the Joint Research Unit Transitional Morphologies, referable to the Politecnico di Torino and the Southeast University Nanjing (Barosio and Gugliotta, 2022), parametric tools are being employed to manage urban transformations based on formal (and not merely quantitative) parameters derived from the morphological analysis of the existing city and related to 'type' as a synthesis of form, to 'diagram' as an explication of the relationships between formal elements, and to 'model' as a baseline for reference data. This type of approach produces a variety of configurations defined within what DeLanda (2016) calls the 'space of possibilities', deferring the most appropriate solution to the designer.

Digital tools can also contribute to the energy redevelopment of an existing building by optimizing the design and production, for example, of prefabricated, modular technological envelope components with customizable finishes, according to the solution proposed by Energiesprong, whose wood-framed panels are suitably insulated and can be equipped with energy-efficient windows and doors and a new plant system. In this regard, a best practice is represented by the Renew-Wall research program, which saw the development of a digital solution to manage the complexity of the entire system, supporting an integrated workflow that would facilitate geometric and informational modelling at the design stage, replicability and adaptability to different configurations, and transferability of production-useful information to the CAD-CAM system (Massari et alii, 2022).

One of the priorities of European and national policies, also in relation to the rising energy cost, is to support the energy transition of the residential sector through specific policies and instruments. Among the various courses of action, it is worth noting that the most widespread one aims to enhance technical/technological interventions on the existing building heritage; this is counterbalanced by another, increasingly accredited by the scientific community, that attributes relevance to the user/smart tool pair: through energy monitoring, it can enhance indoor comfort, a significant reduction in household expenditure and appreciable environmental effects on a large scale, although the behavioural change of the individual results in a modest amount of consumption reduction. The experimentation conducted within a broader collaboration between the Azienda Casa Emilia-Romagna di Bologna (ACER BO) and the University of Bologna, aimed at assessing the actual benefits that the pair mentioned above can generate in relation to the ability of users to understand the concrete advantages, to actively interact with the technologies and to react to the information provided, should be read in this light (Gaspari et alii, 2022).

In order to respond to the now unavoidable demands of environmental protection and energy efficiency, digital technologies support the project by providing useful tools also to structure multi-scalar, multicriteria and replicable predictive matrices and models of technological-environmental character; these open new horizons for studies on technologies for building process management, especially regarding two approaches, one aiming at resilience in response to the challenges of climate change adaptation and mitigation, and the circular footprint approach from the perspective of safeguarding non-renewable resources.

Two research papers published in the volume should be read from this perspective. The first (Tucci et alii, 2022) defines an original methodological-application approach in support of the experimental-design phase for the regeneration of urban districts in terms of adaptation and mitigation of climate change, with beneficial effects in terms of environmental comfort in outdoor, intermediate and indoor spaces, as well as reduction of energy needs and CO₂ emissions; the methodology, applied to two case studies in Rome, develops a set of comparable, replicable and measurable actions (in terms of performance and well-being) and allows for the evaluation of passive bioclimatic strategies and solutions through dynamic ex-ante/ex-post modelling/simulation activities, whose effectiveness is validated through the quantification of CO₂ emission reduction. The second contribution (De Joanna et alii, 2022) proposes two in-progress, but nevertheless significant, doctoral researches that share the common goal, already at the feasibility study stage, of identifying criteria and tools for the control of resilience and circularity factors in construction as a strategy for environmental impact mitigation; however, they are based on two distinct disciplinary approaches, finalizing the tools developed for the application of different methodologies: one is 'agile', evaluative on a large scale, allowing key players in the decision-making process to operate with a reduced use of resources in terms of time and costs, to have at their disposal a map of the existing built environment and to implement databases and information frameworks useful for future interventions; the other is 'parametric', allowing design choices to be pre-oriented in accordance with the context of reference, transcending the traditional and exclusive focus on energy efficiency and also integrating economic and social aspects for the improvement of housing, environmental and ecosystem quality.

Another relevant impact of digital technologies concerns the promotion and implementation of policies for sharing tangible and intangible resources through new and increasingly sustainable devices-platforms-services. In particular, digital platforms have the potential to unlock innovative fields of action/development by leveraging the possibilities of remote connections between data, assets, knowledge and stakeholders, resolving systemic inefficiencies, creating new opportunities for shared know-how among different fields of knowledge and for exchange in the management of tangible and intangible resources, as well as structuring a robust chain of cross-sectoral reuse across different productive sectors. For example, particularly relevant is the archiving and cataloguing of the Intangible Heritage of traditional artisanal processes on digital platforms that, by acquiring the role

of catalyst for creative and organizational processes, contribute to the construction of a systematized and transmissible memory for more profitable competitiveness of SMEs and act as a driving force for the development of user-experience processes aimed at dissemination and reintegration into the contemporary design context (Goretti et alii 2022). Of no less importance is the development of intuitive, interconnected, integrated and deployable digital platforms and applications for the management of information on university research and educational activities; it will facilitate the transition to an open, transparent, inclusive and sustainable system, in which the academic community succeeds in regaining a primary cultural role, and in which the Universities are increasingly complementary to the territorial model of reference as well as in a constant relationship of exchange and 'mutual contamination' with the research and industry worlds (Bruno and D'Alessandro, 2022).

Sustainable development and digital transition find ample space for new synergies, especially in specific project disciplines interested in developing integrated systems for circular production chains, albeit at different speeds. In fact, if architectural and urban design has long been working towards the innovation of design and construction paradigms in a sustainable and circular sense, exhibition design is slow to integrate these aspects into its creative and management structures in a systemic way. However, there are meaningful and innovative experiments in both subject areas, sometimes already codified into replicable practices, that return the potential of digital for a circular and sustainable transition. While architectural platforms are more well-known (Harvest Map, Restado RE-sign, and Madaster, to name a few), exhibition design platforms are few and poorly known because the museum system has to date mainly focused its attention on the opportunities of digital technologies primarily in terms of fruition, facilitating interactive and immersive experiences or utilizing data as a sensory dimension. There are, however, virtuous private initiatives, such as New York's Materials for the Arts (which collects reusable materials from companies and individuals and provides them free of charge to public schools, city agencies or non-profit organizations for the realization of art programs), Milan's Spazio META (which collects, processes and finally, displays materials for sale to the public) and Non Si Butta Via Niente (which encourages a creative regeneration process of display artefacts, partially or totally reusable, thanks to a mutually collaborative web platform). The cross-analysis of the aforementioned best practices suggests that innovations and circular approaches already embedded in the research and practice of some sectors (such as architecture) could be usefully translated to other less environmentally conscious sectors (such as exhibition design), with possible synergies in the formation of a potential universal 'database' in which materials and components are subject to a traceability system for cross-use in different domains, thereby generating as many life cycles as possible (Crippa et alii, 2022).

It should also be noted that the recent Covid-19 pandemic emergency has enforced changes and restrictions in every field of human activities, replacing the traditional in-person mode with long-distance relationships. The challenge we face today is not to abandon what we have experienced and learned, but to put it to good use with a 'phygital' approach capable of best interpreting the context in which we operate, triggering hybrid, physical or virtual modes of interaction according to punctual needs, to shape a conscious and lasting digital transition. Three experiments in this sense deserve praise, two of which are 'phygital', on undergraduate education (Bracco et alii, 2022) and on material perception (Del Curto et alii, 2022), as well as a didactic on optimizing workflows and waste (Esposito et alii, 2022).

The first illustrates the research project 'Virtual Pharmacy, Real Skills' on the Service Pharmacy, developed by an interdisciplinary team of professors at the University of Genoa: in view of the development of integrated teaching based on stable digitization and the principles of Cognitive Ergonomics and Interaction Design, student and teacher can customize the digital tool, on the one hand overcoming univocal and repetitive modes in favour of a model adapted to punctual needs, and on the other hand stimulating the student's ability to adapt and predict specific situations, fundamental for medical professionals. The second experiment illustrates the project SMaPT (Sustainable Materials and Perception Tool) of the Politecnico di Milano, which developed a new online way of interacting and acquiring knowledge through moodboards of keywords and images to evaluate, according to the principles of CMF design, the level of perception of users at a distance of the aesthetic-expressive properties of sustainable plastics. The third, conducted by professors from the University of Florence using original training approaches, investigates the gamified implementation of Lean mindset processes through BIM applications to increase the quality of the production process and contribute to the achievement of sustainability goals in the construction sector: a didactic simulation using LEGO® as a tool for the application of two workflows, one traditional and one Lean-oriented, demonstrates how appropriate design methodologies combined with today's available digital tools make it possible to control numerous aspects of architectural design, reduce resource waste and design or construction errors, decrease design time and operate in terms of quality management of the final product.

At a time when construction production chains are undergoing a profound ecological and digital transformation to support the competitiveness of a global market and the resilience of the sector to ongoing environmental and socioeconomic challenges, digital tools enable the facilitation of advanced project optimization and management, construction engineering and production, and the maximization of environmental performance. In general, digital can be construed as a technical and cultural innovation that has the potential to promote the development of new and reliable methodological approaches for the interpretation of massive amounts of data that it contributes to making available in order to manage the building process better, but also to simulate/evaluate the performance behaviour and life cycle of the built environment. In addition, the recent development of digital technologies has paved the way for the possibility of transforming facilities for prefabricated building production into

highly integrated, controlled, and economically and environmentally efficient Industry 4.0 systems, in place of more traditional approaches in which centrality is assigned to the construction site, as the privileged place where most of the construction sequences take place. Studies on the topic include the CARES research, conducted by the Department of Architecture of the University of Florence and the company AREA Srl; this study develops a scalable and replicable innovative model of industrial production of corrugated construction elements based on dual product-process digitization through the use of BIM tools, aimed at optimizing material consumption and reducing production waste (Romano et alii, 2022). Further still, the proposition of a workflow for the integration of computer data and data management platforms with environmental impact assessment models such as LCA, in order to support sustainable actions on the life cycle of a particular industrial product, the prefabricated and customized cell for high-tech curtain walls, their real-time verification during the advancement of the production process and increased quality of the final project (Zaffagnini and Morganti, 2022).

The management of the use and maintenance phases of an artefact is also a key aspect in designing sustainable buildings and researching strategies for the efficient management of the built environment in terms of economic resources and materials. Innovative Facility Management processes can be implemented through digital tools, optimizing consumption and resources, as long as they are planned right from the design stages by tapping into the potential of BIM tools and the 'digital twins' populated with the information needed for both the product construction and management phases. However, in practice, the use of BIM tools in management and maintenance operations encounters critical issues due to the many variables that come into play at life cycle stages, the need to update databases and integrate specialized software, and the unavailability of real-time data, all of which is necessary to optimize, and sometimes prolong, the life cycle of a building, component, or material. In order to overcome the aforementioned critical issues, a team of researchers from the University of Trento, the luav of Venice and Tekser Srl developed an integrated, simplified, user-friendly and cost-effective strategy for the creation of CMMS databases based on BIM models, capable of supporting predictive approaches (Dejaco et alii, 2022): the experimental model allowed for timely malfunction intervention in 90% of cases.

The issues addressed by the research and essays and published in this volume demonstrate that the two transitions, ecological and digital, are closely linked and represent 'inseparable challenges' that need to be addressed systematically and according to logics open to interdisciplinarity, capable of transcending disciplinary status to guide and promote a resilient, sustainable and inclusive 'recovery'. In addition, it is widely acknowledged that 'innovation' and 'sustainability' are the two founding instances of this dual transition, one in service of the other to give new function to things and consciously utilize our planet's non-renewable resources. To this end, digital is configured as a tool capable of initiating shared processes that would otherwise be slower to activate, less pervasive and probably less performant; digital innovation can represent the engine of a new development paradigm capable of providing concrete solutions to the energy and environmental crisis based on an evolutionary mechanism marked by experimentation in design processes.

Another element that emerges from the published texts is the need to bring the human-social component back to the centre of the project and urban planning, in a symbiosis between nature and artifice capable of activating constant feedback cycles that allow responding in real-time to the needs of the entire ecosystem, the city and citizens. Innovation and design firm CRA (Carlo Ratti Associati) has been focusing for quite some time on investigating the possible synergies between the natural and the artificial in the built environment and leveraging digital technologies as a multidisciplinary tool for innovating urban space. The CRA firm addressed several themes; among them was that of decarbonization through the Hot Heart project in Helsinki (2021), a huge facility capable of producing 6,000 GWh with seawater heat pumps and converting wind and solar power, while at the same time offering users multifunctional services, recreational activities and peaceful enjoyment of nature. CRA firm's smaller projects demonstrate that 'indivisible challenges' can/should be addressed at different scales of the built environment through experimentation with technological tools that make them active participants in changing the urban ecosystem: the Living Nature Pavilion (Milan, 2018) with its climate-controlled garden and the Sun&Shade installation (Dubai, 2017) featuring mirrors capable of reflecting excessive sunlight and heat are emblematic examples, as well as the larger Jian Mu Tower (Shenzen, 2021), a 218-meter tall multipurpose building that exemplifies the concept of 'farmscraper', in which the artificial intelligence of a 'virtual agronomist' manages the production and food supply of the tower's users (Tucci and Ratti, 2022).

In conclusion, the scientific community must broaden the debate on the new design paradigms imposed by digital manufacturing in order to return a greater centrality in the construction site to whoever envisioned the object and therefore possesses its logic in depth (Pone, 2022). It is necessary to evaluate possible trade-offs between 'capital intensive' digital manufacturing (expensive and created using sophisticated, high-performance machine tools) emblematically exemplified by the 2014 Landesgartenschau Exhibition Hall in Stuttgart and the 2017 Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre, and those which are 'labour intensive', which tend to value manpower and collective labour, as in the case of the Constructive Geometry Pavilion built at the Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto in 2012. Nevertheless, the role of the designer in process management will be crucial, as the designer is entrusted with the responsibility of meeting the challenges of the new millennium, whose path seems to be charted on keywords such as innovation, sustainability, interdisciplinarity, digital culture, bits, artificial intelligence, resilience, adaptivity, circular economy, eco-friendliness, community and social inclusion.

INNOVABILITY
Transizione Digitale

INNOVABILITY
Digital Transition

DATA-DRIVEN LCA PER L'INNOVAZIONE INDUSTRIALE GREEN DELLE FACCIATE CONTINUE CUSTOMIZZATE

DATA-DRIVEN LCA FOR GREEN INDUSTRIAL INNOVATION OF CUSTOM CURTAIN WALLS

Theo Zaffagnini, Luca Morganti

ABSTRACT

L'ottimizzazione e la gestione avanzata del design, dell'ingegnerizzazione e della produzione edilizia al fine di massimizzare le prestazioni ambientali rientrano fra le innovazioni facilitate dagli strumenti della transizione digitale. In questo contesto, il saggio inquadra e propone l'integrazione di peculiari dati informatici nella valutazione del ciclo di vita del prodotto industriale. Vengono qui esposti gli attuali limiti delle pratiche di Life Cycle Assessment nel settore della prefabbricazione di cellule customizzate per facciate continue e come questi possano essere superati da un approccio data-driven integrato con le piattaforme e i software specifici utilizzati dalle aziende. Ciò al fine di stimolare un'innovazione sostenibile e resiliente e un avvicinamento tra la ricerca informazionale con la produzione industriale e i suoi processi organizzativi.

The optimization and advanced management of design, engineering, and building construction, aimed at the maximization of environmental performance, are among the innovations facilitated by the tools of the digital transition. In this context, this study focuses on and proposes the integration of peculiar IT data in the life cycle assessment of industrial products. The present paper also outlines the current limitations of Life Cycle Assessment practices concerning the prefabrication of custom modules for curtain walls and how these limitations can be overcome through a data-driven approach, integrated with specific platforms and software used by companies. The aim is to foster sustainable and resilient innovation, bridging the gap between information research, and industrial production and its organizational processes.

KEYWORDS

facciata continua a cellule prefabbricate, LCA, modello semantico dei dati per LCA, software di gestione industriale, transizione green e circolare

curtain wall with prefabricated modules, LCA, semantic data model for LCA, industrial management software, green and circular transition

Theo Zaffagnini, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture of the University of Ferrara (Italy). He conducts research in the field of Architectural Technology, mainly on the themes of technological and digital innovation of building processes, and sustainability aspects in architectural construction. Mob. + 39 347/36.35.290 | E-mail: theo.zaffagnini@unife.it

Luca Morganti, Architect, is a PhD Candidate in the International Doctorate in Architecture and Urban Planning at the University of Ferrara (Italy), with Focchi SpA as an industrial partner. His research activities focus on the green transition in the industry of prefabricated curtain walls for the promotion of circular and sustainable development. Mob. +39 333/57.78.977 | E-mail: luca.morganti@unife.it



Come venire a patti con la nostra inaspettata, senza precedenti e quasi miracolosa opulenza di dati di cui spesso non sappiamo cosa fare (Carpo, 2017) è parte del ragionamento dominante che sta caratterizzando la transizione digitale contemporanea. La possibilità di sfruttare tali dati per favorire uno sviluppo socialmente, economicamente e soprattutto ecologicamente sostenibile è ormai un tema centrale del dibattito internazionale. Il digitale rappresenta infatti un dispositivo tecnico e culturale che può consentire l'individuazione di nuovi approcci metodologici di interpretazione dei dati per la gestione del processo edilizio (Rigillo, Russo Ermolli and Galluccio, 2021) da un punto di vista costruttivo, normativo e ambientale.

Siamo nell'ambito di quelle rilevanti trasformazioni che stanno orientando la cultura tecnologica della progettazione di questi anni; una confluenza di grandi temi su cui la comunità scientifica, in modo inter-scalare e secondo articolate direzionalità, si sta confrontando: cambiamenti climatici, quarta rivoluzione industriale, sostenibilità e resilienza. Si tratta infatti della visione di uno scenario attuativo capace di considerare e mettere a sistema le recenti trasformazioni avvenute nei processi di progettazione e di produzione, ideato al fine di affrontare quella «[...] incertezza di tipo epistemico, dovuta all'impossibilità di creare modelli della realtà sufficientemente e adeguatamente definiti a causa dell'incompletezza della nostra conoscenza» (Campioli, 2017, p. 30). Una sfida che si fa carico delle note incertezze indotte dal mercato (di settore), dall'organizzazione e gestione della costruzione, dall'adeguatezza del livello di sostenibilità ambientale delle trasformazioni programmate, fino al reale comportamento prestazionale del costruito e alla rispondenza del ciclo di vita previsto (tra le altre).

Un momento non solo di transizione verso approcci operativi più attuali e di convergenza tra innovazioni materiali e immateriali, ma di ricomposizione contestuale del perimetro degli apporti scientifici in questo quadro d'insieme. Sviluppi che, come si potrà apprezzare in seguito, paiono orientati in modo ambivalente sia verso le tecnologie forti (hard) della produzione industriale che verso i processi guida informativi (soft)¹, secondo una classificazione dei primi anni Settanta che mirava in qualche modo a rendere maggiormente riconoscibili gli ambiti di azione, gli apporti culturali e le ricadute pragmaticamente operative per l'industria della nuova compagine scientifica disciplinare della tecnologia che si stava coagulando.

Premesso che il dibattito circa la collocazione prioritaria degli interessi della comunità scientifica tecnologica verso uno di questi due perimetri di azione – hard e soft – sembra ancora aperto (Antonini, 2013), si ritiene interessante approfondire nuovi potenziali ambiti di ricerca, con uno sguardo attento sia alle necessità di nuovi strumenti guida sia alle istanze peculiari dei destinatari di tali azioni di governo del progetto (e/o della produzione).

Nell'attuale scenario generale di transizione digitale (indissociabile dalle istanze di emergenza climatica) ci si prefigge di indagare e proporre un approccio originale basato sull'analisi di dati peculiari e finalizzato a strategie Life Cycle Thinking, obiettivo questo possibile grazie ai nuovi strumenti digitali interoperabili improntati a contemplare un nuovo tipo di esigenze, oltre che a fornire suppor-

to per azioni predittive per il miglioramento di soluzioni sostenibili e resilienti. Nel caso specifico si tratta di un framework fra strumenti informatici industriali mirato all'innovazione tecnologica, all'ottimizzazione e alla gestione avanzata delle risorse e del processo produttivo nel settore delle facciate continue.

Oltre a ciò, questo studio si prefigge di evidenziare scenari di fattibilità dell'approccio presentato, reso possibile dall'integrazione tra software e piattaforme di data management con modelli di valutazione dell'impatto ambientale come il Life Cycle Assessment (LCA), al fine di supportare azioni sostenibili sul ciclo di vita del prodotto industriale. In seguito a questo inquadramento introduttivo si presenterà un'analisi dello stato dell'arte degli ambiti trattati, partendo dalla presentazione del contesto scientifico-produttivo di riferimento e delle relative pratiche di LCA (industriali e sinergiche con tecnici progettisti e specialisti). Ci si propone di analizzarne criticamente gli aspetti salienti, le criticità e i limiti da superare; inoltre, si definiscono gli obiettivi connotanti l'approccio innovativo qui proposto.

A seguire sono brevemente descritti e confrontati criticamente alcuni approcci data-driven di valutazione ambientale già sperimentati in edilizia e vengono anche presentati i modelli e gli strumenti attraverso cui si ritiene che le implicazioni pratiche/funzionali dei data-driven LCA possano essere utili in questo e in altri potenziali contesti del settore delle costruzioni. In conclusione verrà proposta una lettura critica dei vantaggi e delle ricadute degli stessi per l'industria e per la disciplina Tecnologica.

Know-how del LCA delle facciate continue customizzate a cellule prefabbricate

La comunità scientifica che si occupa dell'affinamento del LCA, al pari dell'industria in piena transizione ecologica attraverso i propri dipartimenti di R&D, è alla costante ricerca di affidabili modelli innovativi per affinare, velocizzare, controllare e validare i processi esistenti. In quest'ottica i ragionamenti che seguono si riferiscono allo specifico contesto della progettazione, produzione, installazione e recupero di sistemi a cellule customizzate e prefabbricate per facciate continue ad alto contenuto tecnologico (Figg. 1-11).

Questo ambito, così come altri di prefabbricazione di sistemi e componenti edilizi, beneficia dei noti vantaggi ambientali offerti dalla preparazione e dall'assemblaggio fuori opera in stabilimenti produttivi specializzati e controllati. Tale caratteristica infatti prevede che i sistemi realizzati nell'ambito di questi processi siano mediamente più sostenibili di altri analoghi non prefabbricati, a seconda della distanza fra sito produttivo e cantiere, dei requisiti e delle tempistiche di progetto e delle circostanze in cui verte il mercato dei materiali e delle componenti per costruzioni (Pons, 2014). Tuttavia, la quantificazione e la verifica di questi vantaggi per organismi complessi e customizzati è tuttora oggetto di ricerca e dibattito a causa di una spesso eccessiva approssimazione e di insufficienti benchmark di riferimento.

Politiche internazionali volte allo sviluppo sostenibile e alla mitigazione del global warming stanno portando chi opera in questi mercati a occuparsi maggiormente dell'analisi ambientale dei

propri prodotti. Per quanto siano ancora limitati gli atti che ne costringono l'implementazione, l'Unione Europea sta adottando sempre più riferimenti al Life Cycle Thinking (LCT) e al LCA nelle sue comunicazioni e nelle sue policy (Sala et alii, 2021). Ciò, seppur indice di un pragmatico interesse nell'incentivare uno sviluppo sostenibile, costituisce una sfida rilevante per l'industria delle facciate architettoniche customizzate, in quanto ogni cellula, avendo caratteristiche uniche e non ripetibili, necessita di analisi puntuali ex-novo in mancanza di adeguate Product Category Rules.

La richiesta degli stakeholders (tra cui general contractor e clienti) di verificare target di sostenibilità, come i Science Based Targets (SBTs) o di altri sistemi di valutazione ambientale (del tipo LEED e BREEM), sta rendendo sempre più pressante l'esigenza industriale di dotarsi di una strategia digitale per l'analisi automatizzata e interoperativa dei dati in grado di valutare i propri manufatti, in tempi utili alle dinamiche di mercato e con la massima precisione possibile.

Viste tali articolate premesse, riferibili a questa specifica realtà produttiva, è proprio con la transizione digitale che si prospettano interessanti evoluzioni pratiche per la gestione delle citate criticità dell'impresa. Per ottenere questi risultati si ritiene utile la concezione di un nuovo framework di database che permetta alle varie divisioni aziendali in possesso di dati utili al LCA (uffici qualità, uffici tecnici, etc.) una condivisione in tempo reale con altri utilizzatori di quei dati (uffici gare, project e design manager, etc.), al fine di avere una disponibilità sempre aggiornata nel momento di consultazione del dato. L'obiettivo finale di questo passaggio è la creazione di condizioni ottimali per relazionare automaticamente i dati tra le piattaforme già in uso nell'industria, in particolare tra software di Enterprise Resource Planning (ERP)² e di Product Lifecycle Management (PLM)³, tra piattaforme Common Data Environment (CDE), e altri eventuali peculiari database aziendali specialistici. La finalizzazione di questa sinergia strumentale, consistente in un data-driven LCA, fornirebbe:

- la possibilità di quantificare l'impatto ambientale del prodotto, così come definito dalla norma ISO EN 14040:2006 tramite Life Cycle Impact Assessment (LCIA), e la simultanea valutazione di altri parametri richiesti dal mercato, come la conformità con percentuali minime di materiali riciclati o la reperibilità di Environmental Product Declarations (EPDs) degli elementi che compongono la cellula prefabbricata; l'importanza di questo passaggio risiede nella rilevanza delle informazioni funzionali all'ottenimento di certificazioni ambientali in riferimento alle norme ISO 14021:2016 ed EN 15978:2011 e/o compatibili con altri sistemi di valutazione internazionali;
- il supporto decisionale a scelte strategiche green in fase di progetto, di ingegnerizzazione, di produzione, di pianificazione logistica, di valutazione della catena di fornitura, assemblaggio e infine di disassemblaggio, ciò grazie alla possibilità di valutare preventivamente l'impatto delle varie operazioni alternative per il raggiungimento dell'obiettivo prefissato; considerazioni queste di altrimenti difficile valutazione attraverso i modelli convenzionali di LCA;
- il supporto all'ideazione di strategie (nuove e virtuose) per il fine vita delle facciate per favorirne la transizione e innovazione circolare (Viscuso, 2021).

Il framework operativo proposto permetterebbe inoltre di ri-perimetrare i principali limiti dei metodi in uso per il LCA rilevati sia dalla comunità scientifica che dagli operatori industriali. Fra questi troviamo, ad esempio, l'insufficiente supporto a scenari 'what if', l'attualmente scarsa possibilità di integrazione con modelli BIM e la totale mancanza di informazioni in funzione del tempo per la gestione dell'End of Life (EoL) stage (Fnais et alii, 2022). L'uso dello stesso consentirebbe infatti di valutare diversi scenari operativi in base all'impatto ambientale e alle possibilità di EoL (in fase di progetto), e di aggiornare costantemente la valutazione durante l'avanzamento della commessa per la verifica dei requisiti. Tutto ciò attingendo a dati primari progettuali (dal modello BIM, dai software ERP e PLM) e ambientali, ottenuti dalle misurazioni dirette dell'impatto delle lavorazioni o ricavati dalle specifiche EPD dei materiali impiegati.

L'utilizzo di dati primari per queste analisi rappresenta un aspetto fondamentale per la precisione e la spendibilità del LCA (Silva et alii, 2020) e l'integrazione dell'analisi con un modello BIM, seppur ancora limitata, garantisce una tracciabilità totale delle cellule per la progettazione e l'ideazione dell'EoL (Llatas, Soust-Verdaguer and Passer, 2022). I modelli BIM, inoltre, offrono notevoli possibilità di integrazione con database e sono oggetto di sempre più frequenti studi volti all'ideazione di soluzioni manuali, semiautomatiche, e re-

centemente, anche automatiche di scambio dati (Safari and AzariJafari, 2021).

I risultati di questa analisi potrebbero a consuntivo essere visualizzati da manager e tecnici tramite dashboard generate da software di Business Intelligence (BI) o direttamente dal modello BIM, potenzialmente riconducibile a un Digital Twin della facciata ove sufficientemente sviluppato (caricato su una piattaforma CDE), quando collegato al framework operativo ideato. Un'ulteriore versatilità di questo approccio, a vantaggio dell'utilizzatore finale, risiede nella sua capacità di asservire la realizzazione di dashboard capaci di operare la valutazione contestuale di diverse opzioni costruttive integrando l'analisi di Life Cycle Costing (LCC) con il LCA (Zeng, Chini and Ries, 2020).

Ricognizione comparativa di alcuni modelli data-driven già sperimentati in edilizia

Negli ultimi anni si sono progressivamente diffusi numerosi software per la realizzazione di LCA di prodotti edili, anche sotto forma di plug-in specifici per software BIM. Questi sistemi, tuttavia, risentono ancora in larga parte dei limiti precedentemente descritti e della possibilità di gestire dati primari con uno strumento all-in-one e interoperativo. Un raffronto tra le possibilità offerte dai principali software, stand alone e BIM plug-in offerti dal mercato e il modello proposto è presentato nella Tabella 1.

Recentemente approcci e strumenti data-driven, più sofisticati di quelli presenti sul mercato, iniziano a essere oggetto di ricerche scientifiche multi-scalari del settore edilizio e ambiscono a proporre modelli attuativi sfruttando le potenzialità dei software già diffusi. Tra questi, a seguire, si segnalano alcuni interessanti casi studio e buone pratiche, validati da ricerche e sperimentazioni sul campo, in cui i modelli attuativi adottati offrono spunti coerenti e funzionali per il modello originale che si va qui a proporre.

Un primo esempio riguarda l'ambito di soluzioni manuali e automatizzate per la condivisione dei dati con modelli BIM. Relativamente a questo tipo di approccio è certamente interessante da analizzare lo studio per l'impostazione di un modello di dati per la valutazione automatica BIM-based presentato da Jan Ružicka (et alii, 2022). Questo studio si basa sull'analisi e la verifica dei possibili workflow e prevede l'integrazione dei dati BIM per la valutazione del Complex Building Quality Assessment. Lo schema riassuntivo del workflow di questo approccio è sintetizzato nella Figura 12.

Altro esempio di modelli alternativi è rappresentato da due casi di modelli data-driven per la valutazione delle performance energetiche del costruito. In questo specifico ambito è interessante ai fini del presente studio il lavoro proposto da Jacopo Famiglietti e da un gruppo di ricerca del Politecnico di Milano (Famiglietti et alii, 2022). In que-

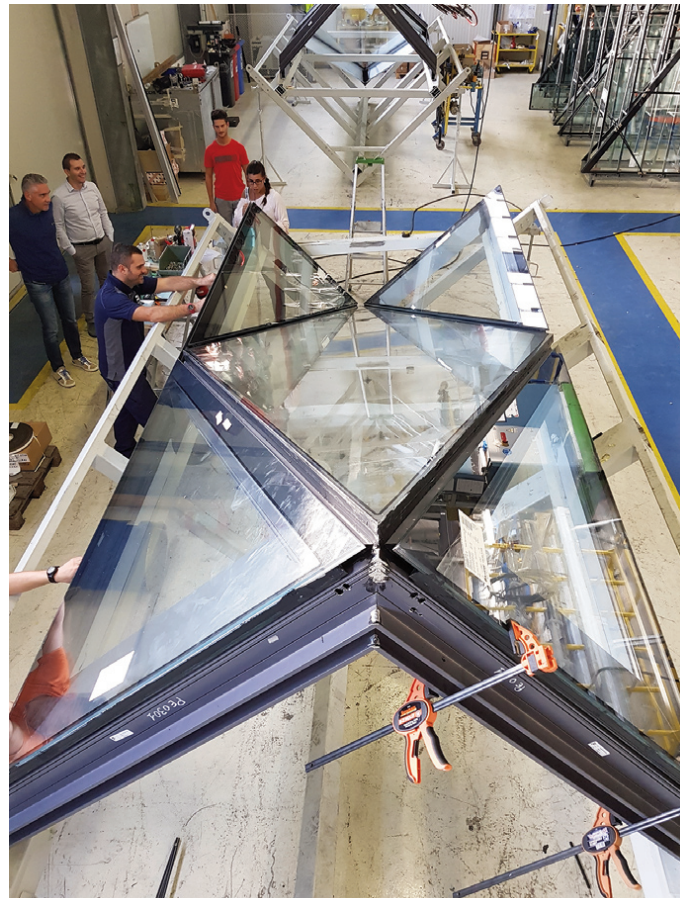


Fig. 1 | In-line production of curtain wall modules (credit: G. Salvatori, 2015).

Fig. 2 | Lean production of curtain wall modules (credit: Focchi SpA, 2017).

sto caso è stato sviluppato in Python un data-driven tool per la valutazione ambientale LCIA della fase d'uso di edifici a scala urbana, scenario per cui i software di valutazione in commercio non sono al momento ottimizzati. Sempre riguardo a questo aspetto, in seguito a una revisione sistematica, Venkatraj e Dixit (2022) hanno evidenziato potenziali soluzioni, direzioni future e opportunità di ricerca per i data-driven Life Cycle Energy Assessment.

È interessante notare come in entrambi i lavori citati il workflow dei dati per la realizzazione di queste valutazioni si suddivide in tre step (Fig. 13): 1) preparazione e collezione dei dati; 2) ricezione dei dati per il LCI come parametri di input e computazione ambientale dei sistemi energetici, in mancanza di metodologie standardizzate; 3) valutazione a livello di edificio, presentazione dei risultati, restituzione della valutazione, rappresentatività temporale ed eventuale import di dati a valle del processo.

Il confronto tra questi workflow attuativi (quello in tre fasi per la valutazione energetica e quello integrato con modelli BIM) con il modello originale proposto (ideato in seguito allo studio delle possibilità offerte dai software aziendali più diffusi e consolidati, e delle necessità delle compagnie produttive) ha portato all'affinamento di un approccio data-driven per questo specifico settore.

Il workflow che di seguito si propone per l'utilizzo di dati primari per il LCA delle cellule di facciata prevede un'innovazione finalizzata al superamento dei limiti dei modelli precedenti, un avanzamento possibile in ragione dell'implementazione delle informazioni contenute nel modello BIM della facciata e nei software PLM e ERP aziendali per la computazione dei dati di progetto e l'utilizzo di database interni per i dati ambientali seguendo tre distinte sezioni attuative (Fig. 14). Un modello informativo così organizzato consente infatti una valutazione efficiente delle diverse strategie progettuali, una loro verifica in real-time durante l'avanzamento del processo produttivo e una maggiore qualità del progetto finale, oltre che favorire l'evoluzione di metodologie LCA colmandone le lacune evidenziate.

Possibili scenari operativi, tra benefici e criticità, per la gestione avanzata dei dati di processo

È opportuno a questo punto entrare nel merito delle modalità con cui questi obiettivi possono essere raggiunti attuando il modello illustrato dalle compagnie produttrici di facciate architettoniche prefabbricate customizzate. Il modello innovativo proposto in questo lavoro si fonda sull'applicazione seriale dei seguenti metodi (Fig. 15): 1) l'indagine delle informazioni necessarie per rispondere al mercato e ambire al raggiungimento dei Science-Based Targets (SBTs); 2) la definizione dei possibili flow chart per il Life Cycle Inventory (LCI) delle singole operazioni unitarie che compongono i processi produttivi oggetto di studio, e dei dati ambientali e di progetto necessari per il LCA; 3) la scomposizione e analisi delle commesse, allo scopo di identificare quali comparti aziendali gestiscono i dati utili al LCA (e altri dati richiesti) e quali richiedono quei dati; 4) la definizione del framework operativo dei dati utilizzando le informazioni contenute nei software gestionali in uso, secondo i requisiti e le informazioni analizzate (e valutazione di necessarie integrazioni); 5) l'at-

tuazione e l'organizzazione informatica dell'input e dell'output dei dati predisponendo le modalità di condivisione; 6) la messa in funzione del sistema di interazione e condivisione automatica dei dati.

Si evince come la definizione dei dati e la loro lavorabilità risulti essere la parte centrale di questi metodi. Per questo il primo passaggio prevede la raccolta dei target analitici necessari per analizzare il prodotto in base agli obiettivi e allo scopo di progetto (ad esempio categorie di impatto del LCIA, requisiti dei Rating System più diffusi, certificazioni richieste dai clienti): gerarchizzare questi parametri contribuisce alla valutazione di road map sostenibili a breve e a lungo termine. Successivamente devono essere individuati i punti in cui i dati di analisi sono reperibili direttamente da software e database aziendali (primari), o in alternativa dalla letteratura e da banche dati (dati secondari), o come definirli sulla base di stime e valori medi (dati terziari).

La possibilità di estrarre dati, dai gestionali ERP, oltre che da software BIM, porterebbe a risolvere in buona parte i limiti della pratica di LCA dovuti alla complessità dei modelli digitali delle facciate. Qui è tuttavia necessaria la previsione di una fase attuativa in cui definire l'unità funzionale ideale per confrontare le operazioni unitarie e gli elementi costruttivi con i parametri di conversione nel loro impatto in riferimento al LCIA (i dati dovranno necessariamente essere normalizzati in base alle unità funzionali individuate). A conclusione del processo, seguirà la fase attuativa in cui tecnici informatici possono rendere operativo il framework ideato applicando i metodi precedentemente descritti. Il modello adottato sarà così verificabile e iterativo grazie all'affinamento ottenuto dai feedback degli operatori.

I limiti di questo approccio sono soprattutto di natura tecnica. Fra questi troviamo la ragionevole necessità di acquisizione di software di BI o di CDE (qualora l'azienda non ne sia già fornita), l'imprescindibile competenza inter-disciplinare del tecnico o del team incaricato di ideare il framework attuativo (rispetto all'organizzazione aziendale, a tematiche di valutazione dell'impatto ambientale e a modelli BIM), e la necessaria programmazione informatica del workflow di dati da parte di Ingegneri informatici, strutturando e organizzando i dati secondo il modello semantico teorizzato (organizzando le informazioni e le loro relazioni). Per una corretta esecuzione di questa operazione è inoltre fondamentale una complessa cooperazione tra tutte queste figure e i vari dipartimenti dell'impresa. Per gli operatori finali, invece, non saranno necessarie particolari conoscenze informatiche aggiuntive, se non per la consultazione dei dati nelle dashboard tipicamente user-friendly della BI.

Volendo infine accennare alle ricadute applicative del modello messo a punto e proposto, pare utile a titolo esemplificativo descrivere una sua ipotetica attuazione. Ciò ipotizzandone l'utilizzo per l'analisi dell'impatto ambientale di una cellula customizzata durante l'avanzamento di una commessa tipica, ovvero dalla presa in carico del lavoro all'installazione in cantiere. Conclusa la fase di gara, nelle prime fasi di project management, i requisiti ambientali da perseguire vengono immessi nel framework, attraverso il software di BI, fungendo questi da benchmark per l'intera durata



Fig. 3 | Special packaging of a curtain wall module (credit: Focchi SpA, 2017).

Fig. 4 | Air, wind, and rain resistance test of a custom curtain wall system (credit: Focchi SpA, 2017).

del processo. Nella fase di studio di sistema, in cui viene definita la tecnologia della cellula tipo, sarà possibile valutare le diverse categorie di impatto di varie alternative progettuali sulla base dei dati ambientali primari raccolti direttamente da altri dipartimenti aziendali.

Una volta definite le specifiche tecnologiche, tutti i dati progettuali sono automaticamente integrati nel framework di valutazione in quanto i software già utilizzati ne sono inclusi e non prevedono ulteriori piattaforme entro cui caricare manualmente i dati interessati al LCA. Lo stesso varrebbe nella fase di sviluppo costruttivo, momento in cui da prassi, uno o più uffici tecnici definiscono i dettagli esecutivi per tutta la facciata e il piano di produzione. In questo scenario i dati ambientali deriverebbero invece da archivi ideati ad hoc e condivisi con gli operatori dei comparti dell'industria a vario titolo interessati.

Ulteriori vantaggi del metodo qui proposto risiedono nella possibilità da parte dell'azienda di poter rivalutare in ogni momento scelte prese anche precedentemente in risposta ad eventuali richieste di affinamento pervenute dagli stakeholders e di implementare la possibilità di valutare in tempo reale l'ecologia di nuovi prodotti, sistemi, materiali o servizi in fase di R&D per futuri virtuosi brevetti. Oltre a ciò permetterebbe di ampliare la

portata e la precisione del LCA anche alle fasi di manufacturing e utilizzo grazie a DT degli stabilimenti produttivi e dei sistemi di facciata installati opportunamente sensorizzati.

Conclusioni e sviluppi futuri | Ragionando di innovability[®], termine che rimanda a una innovazione orientata alla ricerca della massima sostenibilità dei processi gestionali e produttivi a servizio dei diversi stakeholders e dell'industria in particolare, non si può non tornare con la memoria ai contenuti di un libro di uno tra i più fini studiosi dell'innovazione delle tecnologie per l'architettura, ovvero Nicola Sinopoli (2002) con il suo *La Tecnologia Invisibile*. L'immaterialità tecnologica – e nello specifico quella introdotta dalla transizione digitale – spesso tende ad essere sfuggente ad un immediato riconoscimento, arricchendo ulteriormente l'elenco di quei saperi meno visibili e misurabili nella produzione dell'architettura. Questo contributo si addentra e mette a sistema una molteplicità di criticità e di limiti da superare in un particolarissimo ambito della produzione edilizia, grazie all'apporto delle nuove tecnologie digitali a servizio di un futuro più responsabile e rispettoso dell'ambiente e delle prossime generazioni.

L'approccio metodologico interdisciplinare qui presentato, ottenuto a seguito di una mediazione critica tra alcune delle più interessanti proposte di natura teorico-sperimentale e consolidati

know-how aziendali produttivi, si pensa possa giovare sia all'innovazione sostenibile di prodotto che di processo.

Ciò di fatto seguendo l'auspicata traiettoria di riavvicinamento della cultura tecnologica nazionale verso l'hard e verso l'industria rispetto ai «[...] troppi soft di cui la disciplina si è occupata in questi anni» proposta da Sinopoli (cit. in Antonini, 2013, p. 46), con la prospettiva che queste piattaforme per database, una volta sviluppate e testate secondo il modello teorico proposto, possano anche essere ad accesso aperto per la condivisione dei dati al di fuori dello specifico contesto produttivo a cui qui si riferiscono, a beneficio di successive innovazioni di settore in linea e funzionali alle tendenze di un'industria manifatturiera, più intelligente e competitiva. In quest'ottica la smartness industriale richiede appunto la disponibilità o il potenziamento di strumenti digitali di dialogo interoperabili ritenuti fondamentali per un incremento di imprenditorialità e competitività, per un corretto impiego delle risorse, per la consapevolezza del proprio valore nazionale e internazionale e per nuove competenze predittive su aspetti peculiari di produzione in ragione del LCA.

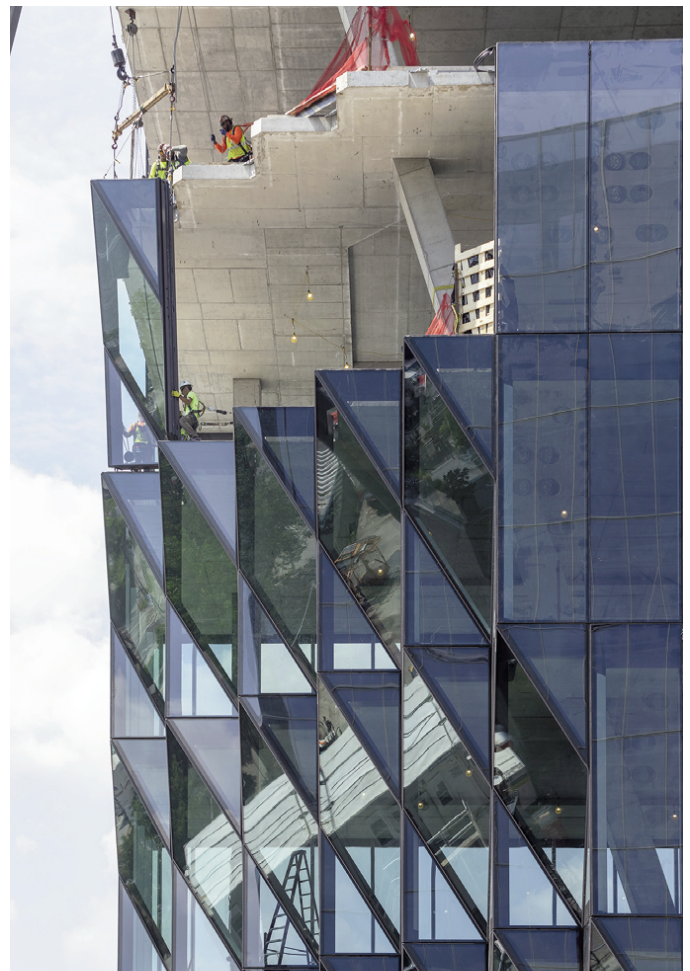
Dealing with «[...] our unprecedented, unexpected, and almost miraculous data opulence, [which]

often we do not know what to do with» (Carpo, 2017, p. 9) is part of the prevailing argument that is characterising the contemporary digital transition. The possibility to employ such data to foster socially, economically and, above all, environmentally sustainable development is now a key theme in the international debate. Indeed, digital represents a technical and cultural device, which can lead to the identification of new methodological approaches for the interpretation of building management-related data (Rigillo, Russo Ermolli and Galluccio, 2021) from a construction, regulatory, and environmental perspective.

The scope is that of the relevant transformations which are orienting the technological culture of design in recent years; a convergence of major themes that form the object of debate for the scientific community, in an inter-scalar manner and through articulate directions: climate change, the fourth industrial revolution, sustainability, and resilience. It is the vision of an implementation scenario, capable of considering and systemising the recent transformations that have occurred in design and production processes. Indeed, digitalism originates to deal with the «[...] epistemic uncertainty, the result of the impossibility of creating sufficiently detailed models of reality due to incomplete knowledge» (Campioli, 2017, p. 31). This challenge takes on the well-known uncertainties induced by the market (sector), the organization



Fig. 5, 6 | Installation of the module of a 3D spatial system (diamond-like façade) in insulated double glass (credits: Focchi SpA, 2018).



Next page

Fig. 7 | Gang Architects Studio, 40 Tenth Avenue Solar Cave Tower (targeting LEED Gold), New York, NY (credit: T. Schenk, 2019).

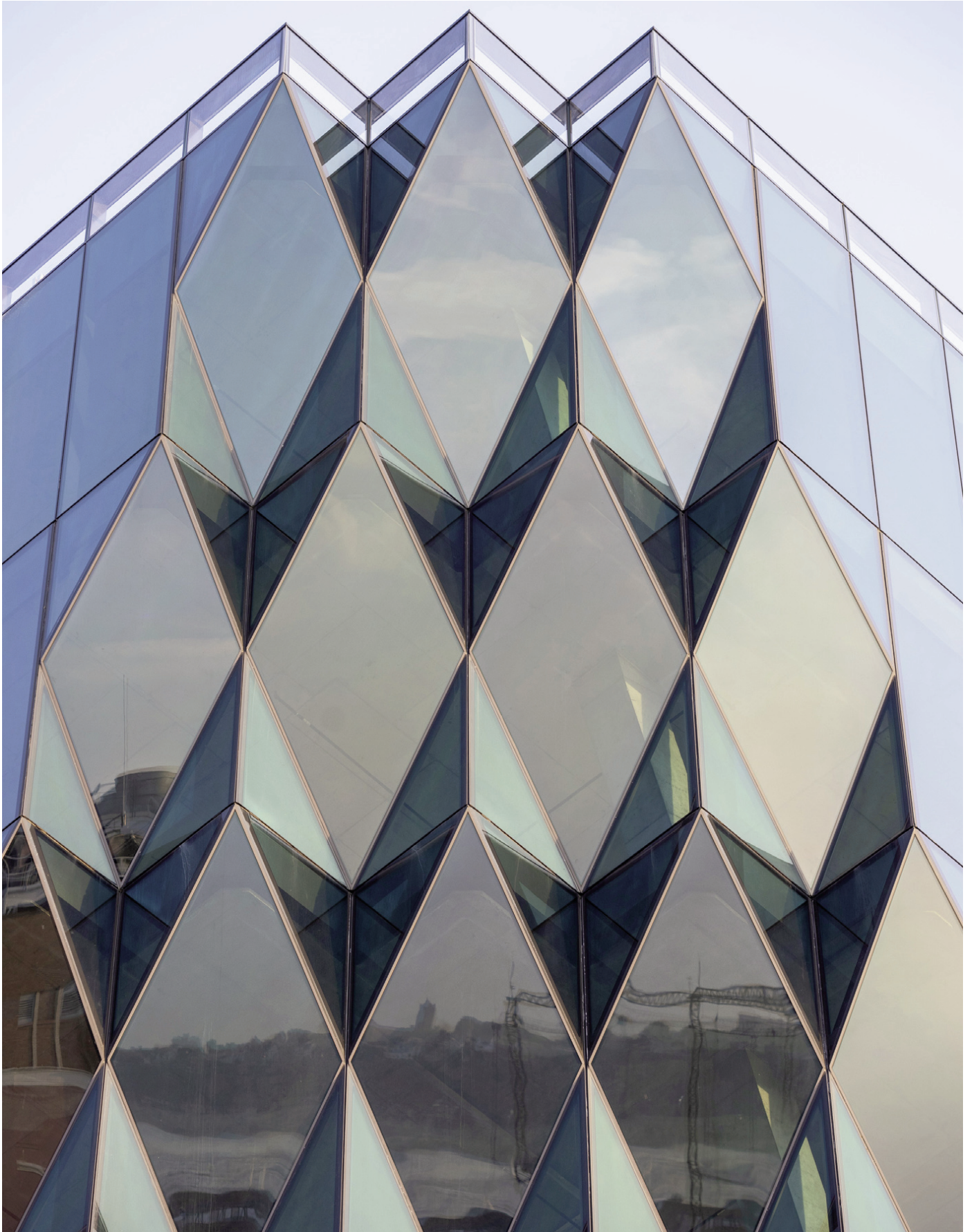




Fig. 8 | Installation of the first module of a structural bonding unitized system (credit: Focchi SpA, 2019).

Fig. 9 | 100 Liverpool Street (targeting BREEAM Excellent) in London, designed by Hopkins Architects (credit: J. Hobhouse Photographer, 2021).

Fig. 10 | Installation of a custom stick-system curtain wall with shaped internal aluminium mullion/fins (credit: Focchi SpA, 2022).

Next page

Fig. 11 | Paddington Square in London, designed by Renzo Piano Building Workshop + Adamson Associates (credit: Focchi SpA, 2022).

and management of construction processes, the adequacy of the level of environmental sustainability of programmed transformations, up to the actual performance behaviour of the built environment, and the compliance with the expected life cycle (among others).

The current moment is not only a transition toward more updated operational approaches, which represent a convergence between material and immaterial innovations; it stands as a contextual reconsideration of the scope of scientific contributions within this framework. As will be further detailed below, the present developments seem to be ambivalently oriented both toward the 'strong' (hard) technologies of industrial production as well as toward guiding information (soft) processes¹. This according to an interpretation of this theme based on a classification dating back to the early '70s, which somewhat aimed to increase recognizability of action scopes, cultural contributions, and operational repercussions for the industry of the new scientific disciplinary technology area, in a 'clotting' phase at that time.

Given that the debate on the prioritized placement of the interests of the scientific-technological community toward one of these two scopes – hard and soft – seems to be still open (Antonini, 2013), it is worth exploring new potential research areas, with careful regard both toward the need for new guiding tools and the specific requests of

the recipients of those design (and/or production) management actions.

In the current general scenario of digital transition (which cannot be separated from the demands of the climatic emergency), the purpose of this study is to investigate and propose an original approach based on the analysis of peculiar data and aimed at Life Cycle Thinking strategies: this goal is possible thanks to the new interoperable digital tools, geared to this new type of demands and able to provide support to predictive actions for the enhancement of sustainable and resilient solutions. Specifically, this approach is a framework that combines industrial IT tools for technological innovation, optimization, and advanced management of resources and production processes in the sector of curtain walls.

Moreover, the study aims to highlight feasible scenarios for the presented approach, made possible by the integration between data management software and platforms with environmental impact assessment models such as the Life Cycle Assessment (LCA), to support sustainable industrial product life cycle actions.

This introductory framing is followed by an analysis of the state of the art regarding the discussed themes, starting from the presentation of the scientific-productive context of reference and related LCA practices (industrial, and synergic with technical designers and specialists). The aim is to critically analyse the key aspects, critical is-

suues, and limitations to be overcome, in addition to defining the objectives that characterize the proposed innovative approach.

This is further followed by a brief description and critical comparison of specific data-driven approaches to environmental assessment, which are already being tested in the building sector, accompanied by the presentation of the models and tools through the practical-functional implications of data-driven LCA, which are believed to be useful in this and other potential contexts of the construction industry. A critical interpretation of their advantages and effects in the industry and the sector of Architectural Technology is proposed in conclusion.

LCA know-how for custom curtain prefabricated modular curtain walls

The scientific community involved in the perfecting of LCA, just like the industry, which is in the middle of the ecological transition through its R&D departments, is constantly seeking reliable innovative models to refine, speed up, check, and validate existing processes. In this context, the considerations which follow relate to the specific context of design, production, installation, and maintenance of high-tech custom prefabricated modules for curtain walls (Figg. 1-11).

This context – similarly to other cases of prefabrication of building systems and components – benefits from well-known environmental advan-

tages offered by off-site preparation and assembly in specialized and controlled manufacturing facilities. This characteristic suggests that systems realized within these processes are on average more sustainable than the equivalent non-prefabricated ones, depending on the distance between the production and the construction sites, the project requirements and timelines, as well as the circumstances pertaining to the market of construction materials and components (Pons, 2014). However, the quantification and verification of these advantages for complex and custom systems is still the subject of extensive research and debate, due to often excessive approximation and insufficient reference benchmarks.

The international policies for sustainable development and global warming mitigation are leading market operators to become more concerned with the environmental analysis of their products. Although legislation enforcing implementation is still currently limited, the European Union is increasingly adopting references to Life Cycle Thinking (LCT) and LCA in its communication and policies (Sala et alii, 2021). Despite showing pragmatic interest in incentivizing sustainable development, this represents a significant challenge for the industry of custom curtain walls, as each module, due to its unique and unrepeatable characteristics, requires punctual ex-novo analyses in absence of adequate Product Category Rules.

Stakeholders' request (among them, general contractors and clients) to verify sustainability tar-

gets, such as Science-Based Targets (SBTs) or other environmental assessment methods (like LEED and BREEAM), gives greater urgency to the industrial need for a digital strategy for automated and interoperable data analysis to evaluate buildings, in time with market dynamics and with the highest possible accuracy.

Considering these articulate premises, related to this specific productive sector, the digital transition indeed promises interesting practical evolutions for the management of the above-mentioned business criticalities. The conception of a new database framework could be useful to achieve these results, allowing, for each department with LCA data availability (quality departments, technical departments, etc.), real-time sharing with other users of those data (tender, project management, and design manager, etc.), thus achieving continuous updated availability at the moment of data consultation. The final goal of this step is the creation of optimal conditions to automatically relate the data between the currently used platforms, specifically between Enterprise Resource Planning (ERP)² and Product Lifecycle Management (PLM)³ software tools, between Common Data Environment (CDE) platforms and other specialized business databases, when present. The finalization of this instrumental synergy, constituting a data-driven LCA, would provide several benefits:

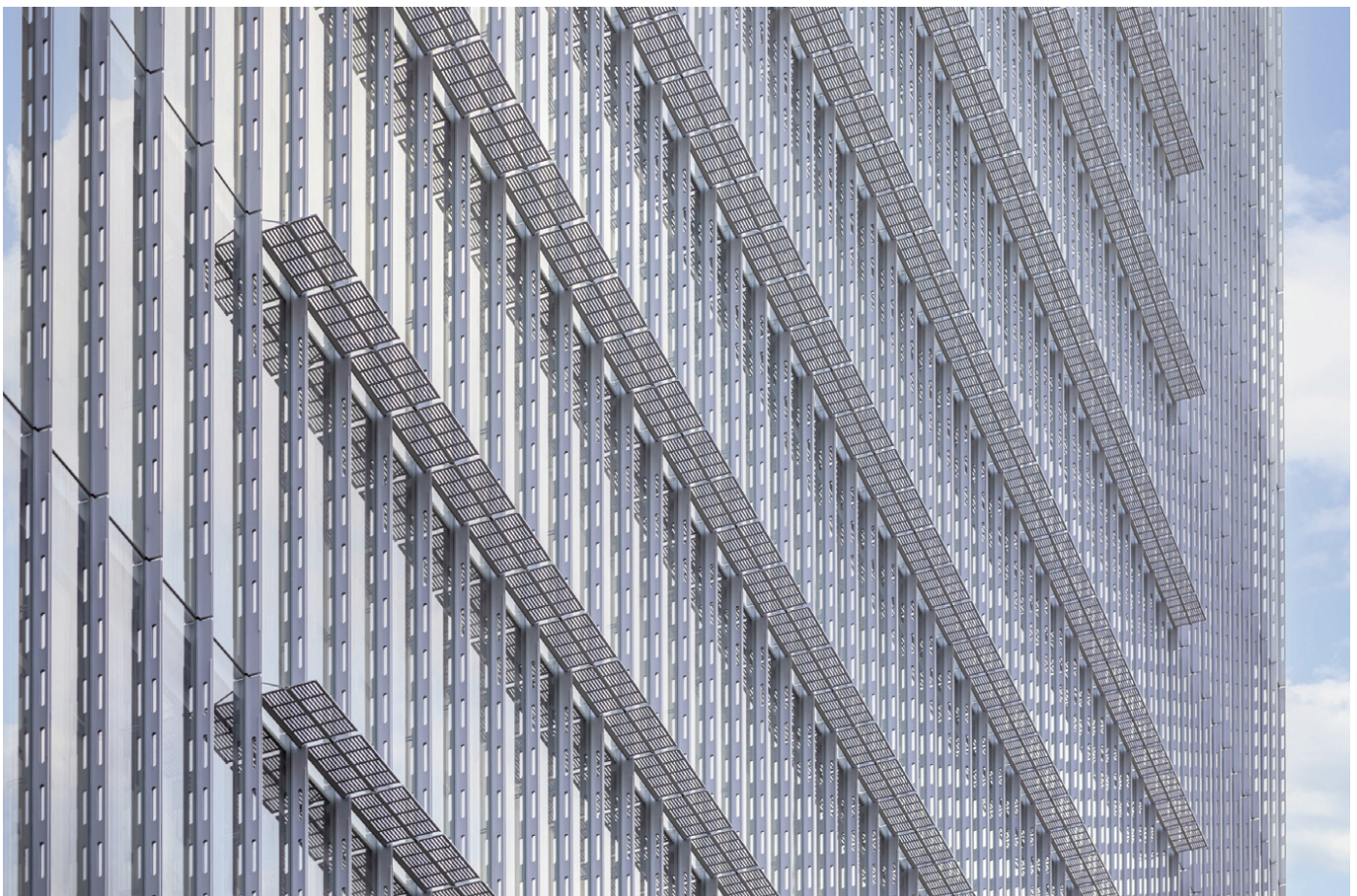
– the possibility to quantify the environmental impact of the product, through the methodology of

Life Cycle Impact Assessment (LCIA) as defined by the ISO EN 14040:2006 code; the simultaneous evaluation of other parameters required by the market, such as compliance with minimum percentages of recycled materials or the availability of Environmental Product Declarations (EPDs) for the constitutive elements of prefabricated modules; the importance of this step is due to the relevance of data functional for obtaining environmental certifications, with reference to ISO 14021:2015 and EN 15978:2011 codes and/or in compatibility with other international assessment systems;

– decision support to green strategic choices in design, engineering, production, logistic planning, supply chain evaluation, assembly, and finally disassembly, due to the possibility of preventively evaluating the impact of the various alternative operations for the achievement of the desired goal; considerations that would be otherwise difficult to assess through conventional LCA models;

– support for the ideation of new and virtuous strategies for the end life of curtain walls, to favour their circular transition and innovation (Viscuso, 2021).

The proposed operational framework would also allow for the re-definition of the main limits of the currently used LCA method, as noted by both the scientific community and industrial operators. These include, for example, the insufficient support for 'what if' scenarios, the currently scarce possibility of integration with BIM models, and the



LCA Software	Users	Studied Objects	Project data import (software)	Environmental data import (database)	EoF options	Standard compliance	All-in-one platform
Possibilities of stand alone software	Designers, facility managers, and environmental managers	Single Building, products, corporations, and infrastructures	BIM, Structural-BIM, DT, Building Performance Simulator, CDE	Software-included database, EPD platforms, online databases (e.g., Ecoinvent)	Compare design options, Optimize carbon, cost, circularity throughout the design process	EN and ISO standards depending on the geographic areas, Building Rating Systems (e.g., LEED)	
Possibilities of BIM plug-in software	Designers, technicians, and BIM managers	Single building, multiple buildings or a comparative analysis	BIM	Custom designed LCA database, Software-included database	ND	EN and ISO standards depending on the geographic areas	✓
Possibilities of the proposed custom data-driven LCA framework	All corporate offices that need the data	Company products, corporations	ERP, PLM, BIM, Structural-BIM, DT, Building Performance Simulator, CDE	EPD of suppliers, Factory DT and databases, EPD platforms, online databases (e.g., Ecoinvent)	Achieve a product passport, Compare design options, Optimize carbon, cost, circularity throughout the design process	Customizable by project manager and tender office, EN and ISO standards, Rating Label Systems	✓

Tab. 1 | Possibilities summary of the software used for LCA (credit: the Authors, 2022).

total lack of time-dependent data for End of Life (EoL) stage management (Fnais et alii, 2022). In fact, the use of the proposed framework would make it possible to assess various operational scenarios based on the environmental impact and EoL possibilities (at the design phase) and to constantly update the evaluation during job progress to verify requirements. This is performed by drawing from primary design data (from the BIM model, ERP and PLM software) and environmental data, obtained from the direct measurement of the processing impact, or from the EPD specifications of the employed materials.

The use of primary data for this analysis is a key factor for the accuracy and the expendability of LCA (Silva et alii, 2020); the integration with a BIM model, although still limited, provides total traceability of the modules for the design and conception of the EoL (Llatas, Soust-Verdaguer and Passer, 2022). Moreover, BIM models offer significant possibilities for integration with databases and are being increasingly studied in relation to the ideation of manual, semi-automatic, and – recently – even automatic data exchange solutions (Safari and AzariJafari, 2021).

In conclusion, the results of this analysis could be viewed by managers and technicians through dashboards, generated by Business Intelligence (BI) software or directly from the BIM model – which could stand as a Digital Twin of the façade if sufficiently developed (uploaded to a CDE platform) – in connection with the envisaged operational framework. This approach is also made more versatile – as a benefit for the final user – by its capacity to serve for the realization of dashboards that can perform the contextual evaluation of several construction options, integrating the Life Cycle Costing (LCC) analysis with the LCA (Zeng, Chini and Ries, 2020).

Comparative analysis of some data-driven models tested in the building sector | In recent years, several software programs for the LCA of building products, including in the form of specific plug-ins for BIM platforms, have become progressively popular. However, these systems still widely suffer from the abovementioned limitations and the possibility to manage primary data with an all-in-one, interoperative tool. Table 1 reports a comparison between the possibilities offered by the main software, stand-alone tools, and BIM plug-ins on the market and the proposed model.

Recently, data-driven approaches and tools, more sophisticated than those on the market, are increasingly becoming the subject of multi-scalar scientific research in the building sector, aspiring to propose implementation models by leveraging the potential of already popular software. Among these are some interesting case studies and good practices, validated by research activities and field experimentations. The implementation models adopted in these experiences provide consistent and functional insights for the original model proposed here.

The first example is related to manual and automatized solutions for data sharing with BIM models. Concerning this typology of approach, it is certainly interesting to analyse the study on the configuration of a data model for automatic BIM-based evaluation by Jan Ružicka (et alii, 2022). This study is based on the analysis and verification of the possible workflows and includes the integration of BIM data for Complex Building Quality Assessment, as summarized in Figure 12.

Further examples of alternative models are represented by two cases of data-driven models for the assessment of the energy performance of existing buildings. In this specific area, the research conducted by Jacopo Famiglietti and a

research group at the Politecnico di Milano (Famiglietti et alii, 2022) is of interest. The study involved the development in Python of a data-driven LCIA tool at the urban scale for the evaluation of the energy performance of buildings, a scenario for which commercial assessment software is not currently optimized. Concerning the same aspect, following a systematic literature review, Venkatraj and Dixit (2022) highlighted potential solutions, future directions, and research opportunities for data-driven Life Cycle Energy Assessments.

Interestingly, in both of the aforementioned studies, the data workflow for these assessments is divided into three steps (Fig. 13): 1) data preparation and collection; 2) reception of LCI data as input parameters for the environmental analysis of energy systems, in absence of standardized methodologies; 3) building-scale evaluation, presentation of results, assessment, temporal representativeness and possible data import downstream of the process.

The comparison between these implementation workflows (the three-phase workflow for energy assessment and the integrated workflow with BIM models) with the proposed original model (conceived after studying the possibilities offered by the most widespread and established business software, and the needs of the production sector) has led to fine-tuning a data-driven approach for this specific sector.

The workflow proposed below for the use of primary data for the LCA of curtain wall modules features an innovation aimed at overcoming the limitations of previous models: an advancement which is possible due to the implementation of the data from the BIM model of the curtain wall and PLM and ERP business software for the analysis of design data, and the use of internal databases

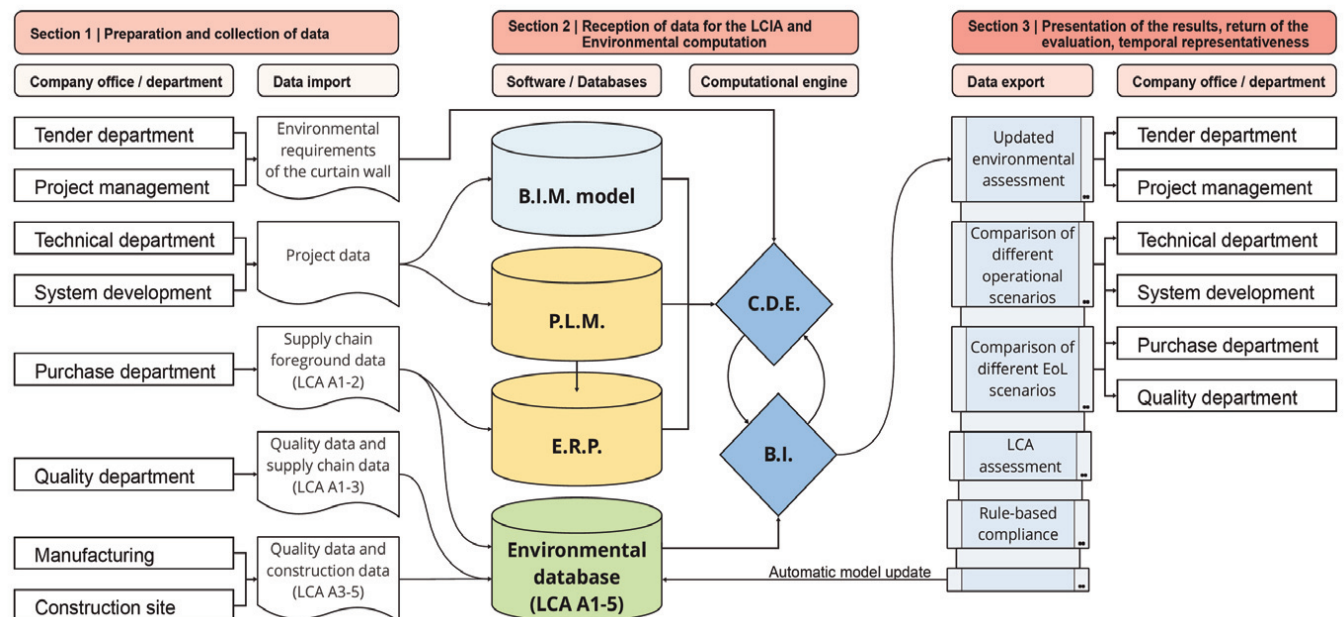
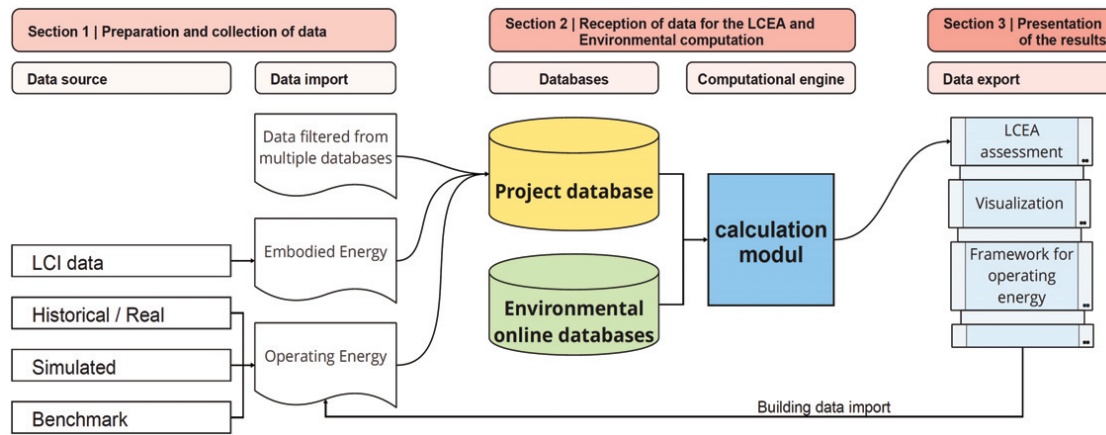
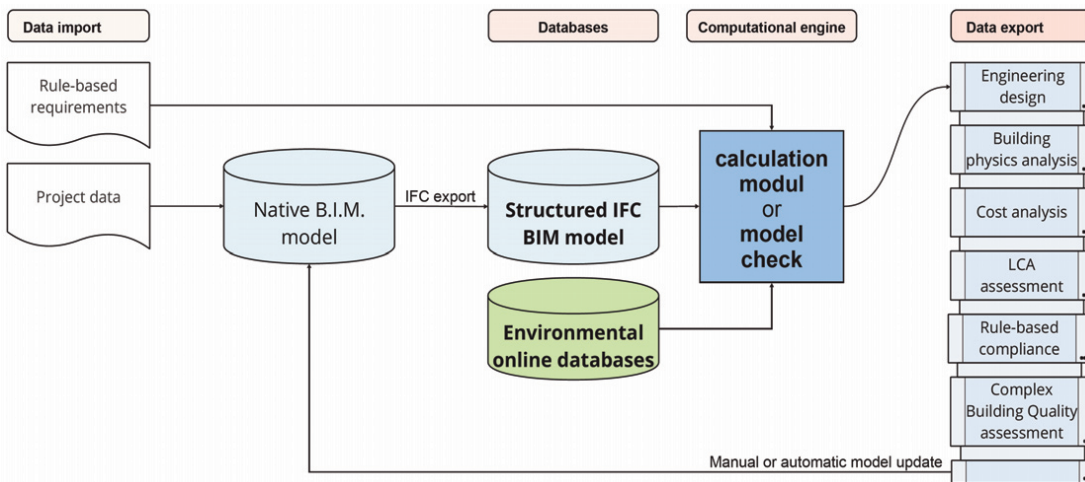


Fig. 12 | Highly structured IFC data model in a completely automatic workflow (source: Ružicka et alii, 2022).

Fig. 13 | Workflow for data-driven life cycle energy assessment of buildings, a combination of the models by Famiglietti et alii (2022), and Venkatraj and Dixit (2022).

Fig. 14 | Workflow for data-driven automatic LCA of custom modules for curtain walls, integrated with a BIM model and ERP and PLM software (credit: the Authors, 2022).

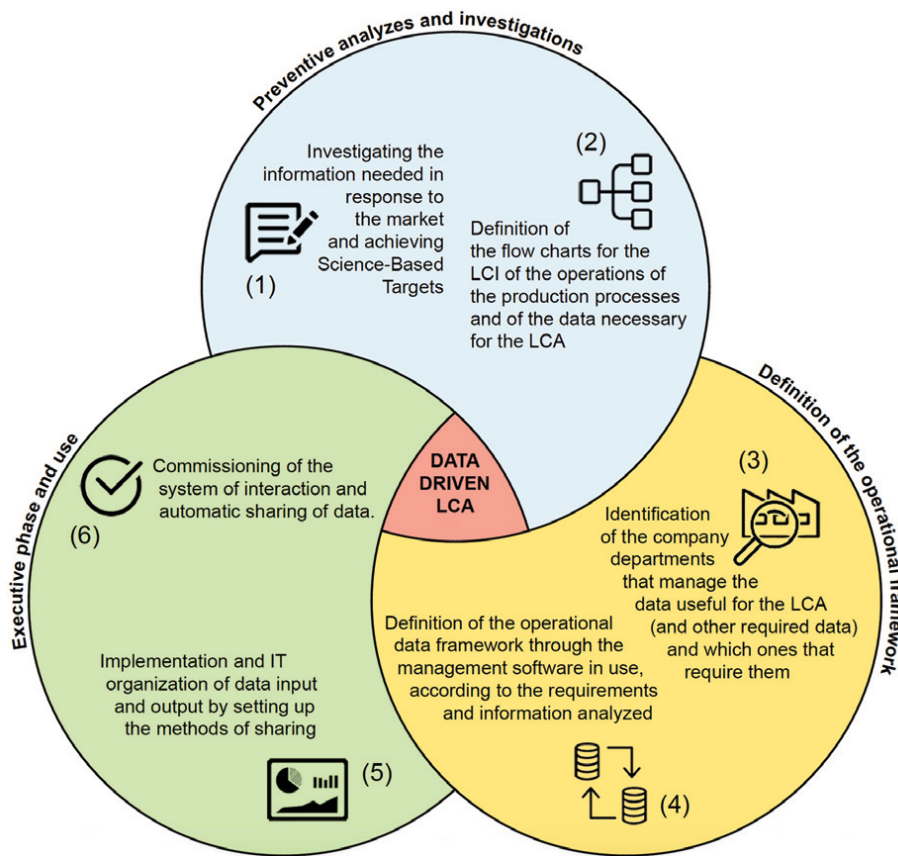


Fig. 15 | Consequential methods for the implementation of the proposed innovative model (credit: the Authors, 2022).

for environmental data, divided into three different implementation sections (Fig. 14). This organization of the information model allows for efficient assessment of the various design strategies, their real-time verification during the advancement of the productive process, and higher quality of the final product, in addition to favouring the evolution of LCA methodologies by overcoming the highlighted shortcomings.

Possible operational scenarios, with benefits and criticalities, for the advanced management of process data | At this point, it seems appropriate to discuss how these goals can be achieved by implementing the model illustrated by the companies producing custom prefabricated curtain walls.

The innovative model proposed in this paper is based on the serial application of the following methods (Fig. 15): 1) the investigation of the required data to fulfil the market need for the achievement of Science-Based Targets (SBTs); 2) the definition of the possible flowcharts for the Life Cycle Inventory (LCI) of the single operations comprising the examined productive processes, and of the environmental and design data required for LCA; 3) the breakdown and analysis of commissions, to identify the business departments that manage the data needed for LCA (and other required data), and the departments that need the data; 4) the definition of the operational data framework by using the information contained in the in-use management software, ac-

ording to the analysed requirements and information (as well as the evaluation of necessary integrations); 5) the implementation and IT organization of data input and output, establishing sharing modalities; 6) the implementation of the system for automatic data interaction and sharing.

Data definition and processability represent the core of these methods. For this reason, the first step is the collection of the analytical targets needed to analyse products according to the design goals and purpose (e.g., LCIA impact categories, requirements of the most widespread Rating Systems, and certifications requested by the clients). The hierarchization of these parameters contributes to the evaluation of short-term and long-term roadmaps. Subsequently, it is necessary to identify the items for which input data can be directly obtained from business software and business databases (primary data), or alternatively from literature and databases (secondary data), or how to define them based on estimations and average values (tertiary data).

The possibility of extracting data from ERP management platforms, in addition to BIM software, could solve a significant amount of the limits of LCA practices, caused by the complexity of digital curtain wall models. However, this requires the introduction of an implementation phase for the definition of the ideal functional units, to compare unit operations and building elements with the conversion parameters in their impact with reference to the LCIA (the data will have to be normalized according to the identified functional

units). The process shall be followed by the implementation phase, in which IT technicians can operationalize the designed framework by applying the previously described methods. The adopted model will therefore be verifiable and iterative, as a result of the improvement obtained through operator feedback.

The limits of this approach are mostly technical. These include the reasonable need to acquire BI or CDE software (if the company does not already employ such software), the essential interdisciplinary skills of the technicians or the team responsible for developing the implementation framework (concerning business organization, environmental impact assessment, and BIM models), and the need for IT programming of the data workflow. IT engineers must perform the latter by structuring and organizing data according to the theorized semantic model (organizing the data and the consequent relationships). The successful execution of this operation also requires complex cooperation between all these roles and all business departments. Instead, end-operators will not require significant additional IT skills, other than for consulting data in the typically user-friendly BI dashboards.

Finally, concerning the operational consequences of the developed and proposed model, it is worth describing its hypothesized implementation, in relation to its use for the environmental impact assessment of a custom module during the advancement of a typical commission, that is from the job assignment to its on-site installation. Following the tender phase, in the initial project management phases, the target environmental requirements are introduced in the framework through the BI software, serving as benchmarks for the whole duration of the process. In the system analysis phase, when the technology of the typical module is defined, it shall be possible to evaluate the different impact categories of various design alternatives, based on the primary environmental data directly collected from other business departments.

After the definition of technological specifications, all design data are automatically integrated into the evaluation framework, as the utilised software is included and no additional platforms to manually upload the data needed for LCA are provided. The same applies in the construction development phase, in which one or more technical departments provide the execution data for the whole curtain wall and the production plan. In this scenario, environmental data would derive from archives developed ad-hoc and shared with the operators of the various business departments who require them for different purposes.

Further advantages of the proposed method are represented by the possibility of the company to re-evaluate previous choices at any time, as a response to improvement requests on behalf of the stakeholders, and to assess in real-time the ecological characteristics of new products, systems, materials, or services during the R&D phase, for future virtuous patents. Moreover, this would extend the scope and accuracy of LCA to the manufacturing and utilization phases as well, thanks to the DT of the production facilities and the installation of curtain wall systems suitably equipped with sensors.

Conclusions and future developments | When talking about innovability[®] – a term that refers to innovation-oriented toward the maximum sustainability of management and production processes for the various stakeholders and, in particular, for the industry – it is impossible to avoid recalling the contents of a book by one of the finest scholars of innovation in architectural technology, that is Nicola Sinopoli (2002)'s *La Tecnologia Invisibile* (The Invisible Technology). Technological immateriality – specifically, the one introduced by the digital transition – often tends to escape immediate recognition, further enriching the list of those kinds of knowledge in architectural production which are less visible and measurable. This contribution delves into and systematizes a high number of criticalities and limits to be overcome, in a very specific area of building production,

thanks to the contribution of new digital technologies, to achieve a more responsible and environmentally friendly future for the next generations.

The hereby presented interdisciplinary methodological approach derives from a critical mediation between some of the most interesting theoretical-experimental proposals and consolidated know-how in business production, contributing to the sustainable innovation of products and processes.

This follows the desired trajectory of Italian technological culture toward hard systems and industry, rather than the «[...] too many 'soft' the discipline has dealt with in the last years», proposed by Sinopoli (cit. in Antonini, 2013, p. 46). Hopefully, following development and testing according to the proposed theoretical model, these database platforms could also become open-access for data sharing outside the specific manu-

facturing context to which they refer here, for the benefit of subsequent industry innovations in line with and functional to the trends of a smarter, more competitive manufacturing industry. In this perspective, industrial smartness requires the availability or the improvement of interoperable digital dialogue tools, fundamental for the increase of entrepreneurship and competitiveness, for the correct employment of resources and the awareness of national and international value, to achieve new predictive skills regarding peculiar production aspects based on LCA.

Acknowledgements

The contribution is the result of the joint reflections of the authors, who declare no conflict of interest. The authors thank A. Pracucci (Innovation Manager in Focchi SpA), E. Tonelli (Environmental Manager), M. Cicognani (Senior Software Engineer and CAD-BIM Manager) and Focchi SpA for the kind concession of certain pictures.

Notes

1) Ciribini (1971) borrows the technical and terminological distinctions of IT systems between hardware and software and distinguishes between hard (or strong) technology and soft (or weak) technology. The former is meant as the one focusing on executive operations, from technological transformations to real production processes, while the latter consists of all the information operations (or information processes) related to the guide, control, and management of the building process.

2) ERP software tools are typically defined as 'business management software'; they can be local-based or cloud-based, and allow an updated vision of the core business of a company, by integrating common databases and tracing data related to costs, raw materials, production capacity, orders, purchases, or payments.

3) PLM, which is part of the typical modules of an ERP, supports the life cycle planning and optimization of industrial products from the start of the process, through the design, production, and planning of material resources.

4) The term innovability[®] is a trademark of Enel SpA. All rights reserved to Enel SpA.

References

Antonini, E. (2013), "La memoria del futuro – Tavola rotonda su Giuseppe Ciribini | Memory of the future – Round table discussion about Giuseppe Ciribini", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 6, pp. 43-47. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-13454 [Accessed 07 September 2022].

Campoli, A. (2017), "Il carattere della cultura tecnologica e la responsabilità del progetto | The character of technological culture and the responsibility of design", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 13, pp. 27-32. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-21129 [Accessed 07 September 2022].

Carpo, M. (2017), *The Second Digital Turn – Design Beyond Intelligence*, The MIT Press, Cambridge (MA). [Online] Available at: mitpress.mit.edu/books/second-digital-turn [Accessed 07 September 2022].

Ciribini, G. (1971), "Una nuova tecnologia per l'ambiente costruito", in Ente Autonomo Fiere di Bologna and Associazione Italiana Prefabbricazione per l'edilizia industrializzata, *Un pianeta da abitare – Requisiti e prestazioni per l'ambiente costruito*, Ente Fiere di Bologna, Bologna, IT. [Online] Available at: ibs.it/pianeta-da-abitare-requisiti-prestazioni-libri-vintage-vari/e/2560038137232 [Accessed 07 September 2022].

Famiglietti, J., Amini Toosi, H., Dénarié, A. and Motta, M. (2022), "Developing a new data-driven LCA tool at the urban scale – The case of the energy performance of the building sector", in *Energy Conversion and Management*, vol. 256, 115389, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115389 [Accessed 07 September 2022].

Fnais, A., Rezgui, Y., Petri, I., Beach, T., Yeung, J., Ghotoghi, A. and Kubicki, S. (2022), "The application of life cycle assessment in buildings – Challenges, and directions for future research", in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 27, pp. 627-654. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-022-02058-5 [Accessed 07 September 2022].

Llata, C., Soust-Verdaguer, B. and Passer, A. (2020), "Implementing life cycle sustainability assessment during design stages in building information modelling – From systematic literature review to a methodological approach", in *Building and Environment*, vol. 182, 107164, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107164 [Accessed 07 September 2022].

Pons, O. (2014), "18 – Assessing the sustainability of prefabricated buildings", in Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J. and de Magalhães, A. (eds), *Eco-efficient Construction and Building Materials – Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, Woodhead Publishing, Philadelphia (PA), pp. 434-456. [Online] Available at: doi.org/10.1533/9780857097729.3.434 [Accessed 07 September 2022].

Rigillo, M., Russo Ermolli, S. and Galluccio, G. (2021), "Processi digitali di conformità normativa – La rigenerazione urbana della ex-Corradini a Napoli | Digital Rule-Based compliance processes – The urban regeneration of ex-Corradini, Naples (IT)", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 120-131. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10102021 [Accessed 07 September 2022].

Růžička, J., Veselka, J., Rudovský, Z., Vitásek, S. and Hájek, P. (2022), "BIM and Automation in Complex Building Assessment", in *Sustainability*, vol. 14, issue 4, 2237, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14042237 [Accessed 07 September 2022].

Safari, K. and AzariJafari, H. (2021), "Challenges and

opportunities for integrating BIM and LCA – Methodological choices and framework development", in *Sustainable Cities and Society*, vol. 67, 102728, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2021.102728 [Accessed 07 September 2022].

Sala, S., Amadei, A. M., Beylot, A. and Ardente, F. (2021), "The evolution of life cycle assessment in European policies over three decades", in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 26, pp. 2295-2314. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-021-01893-2 [Accessed 07 September 2022].

Silva, F. B., Reis, D. C., Mack-Vergara, Y. L., Pessoto, L., Feng, H., Pacca, S. A., Lasvaux, S., Habert, G. and John, V. M. (2020), "Primary data priorities for the life cycle inventory of construction products – Focus on foreground processes", in *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 25, issue 6, pp. 980-997. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11367-020-01762-4 [Accessed 07 September 2022].

Sinopoli, N. (2002), *La tecnologia invisibile – Il processo di produzione dell'architettura e le sue regole*, FrancoAngeli, Milano.

Venkattraj, V. and Dixit, M. K. (2022), "Challenges in implementing data-driven approaches for building life cycle energy assessment – A review", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 160, 112327, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2022.112327 [Accessed 07 September 2022].

Viscuso, S. (2021), "Coding the circularity – Programmare il disassemblaggio e il riutilizzo dei componenti edili | Coding the circularity – Design for the disassembly and reuse of building components", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 22, pp. 271-278. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-10620 [Accessed 07 September 2022].

Zeng, R., Chini, A. and Ries, R. (2020), "Innovative design for sustainability – Integrating embodied impacts and costs during the early design phase", in *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, issue 3. [Online] Available at: doi.org/10.1108/ECAM-09-2019-0491 [Accessed 07 September 2022].