

TECHNE

Journal of Technology for Architecture and Environment

25 | 2023

RUOLI ABILITANTI DELLA TECNOLOGIA

enabling roles of technology

Poste Italiane spa - Tassa pagata - Piegò di libro
Aut.n. 072/DCB/FI/VF del 31.03.2005

on line ISSN 2239-0243




FIRENZE
UNIVERSITY
PRESS

SIT_{dA}

TECHNE

Journal of Technology for Architecture and Environment

Issue 25
Year 13

Direttore/Director
Mario Losasso

Comitato Scientifico/Scientific Committee
Gabriella Caterina, Gianfranco Dioguardi, Paolo Felli, Luigi Ferrara,
Cristina Forlani, Rosario Giuffrè, Franz Graf, Helen Lochhead,
Maria Teresa Lucarelli, Lorenzo Matteoli, Gabriella Peretti, Edo Ronchi,
Fabrizio Schiaffonati, Paolo Tombesi, Maria Chiara Torricelli

Direttore Editoriale/Editor in Chief
Elena Mussinelli

Comitato Editoriale/Editorial Board Members
Filippo Angelucci, Valeria D'Ambrosio, Pietromaria Davoli,
Tiziana Ferrante, Paola Gallo, Francesca Giglio, Massimo Lauria

Assistenti Editoriali/Assistant Editors
Alessandro Claudi De Saint Mihiel, Valentina Puglisi, Antonella Violano,
Francesca Thiébat

Segreteria di Redazione/Editorial Staff
Francesca Anania, Nazly Atta, Giovanni Castaldo, Maria Fabrizia Clemente,
Serena Giorgi, Giuseppe Mangano, Giulia Vignati

Progetto grafico/Graphic Design
Veronica Dal Buono

Progettazione grafica esecutiva/Executive Graphic Design
Giulia Pellegrini

Editorial Office
c/o SITdA onlus,
Via Toledo 402, 80134 Napoli
Email: redazionetechne@sitda.net

Issues per year: 2

Publisher
FUP (Firenze University Press)
Phone: (0039) 055 2743051
Email: journals@fupress.com

Journal of SITdA (Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura)

REVISORI / REFEREES

Per le attività svolte nel 2021-2022 relative al Double-Blind Peer Review process, si ringraziano i seguenti Revisori:

As concern the Double-Blind Peer Review process done in 2021-2022, we would thanks the following Referees:

2021

Davide Allegri, Filippo Angelucci, Erminia Attaianese, Serena Baiani, Adolfo Baratta, Antonio Basti, Oscar Bellini, Stefano Bellintani, Mariangela Bellomo, Roberto Bolici, Maddalena Buffoli, Laura Calcagnini, Filippo Calcerano, Marta Calzolari, Andrea Campioli, Corrado Carbonaro, Francesca Castagneto, Cristiana Cellucci, Andrea Ciaramella, Paolo Civiero, Carola Clemente, Luigi Cocchiarella, Christina Conti, Alessandra Cucurnia, Valeria D'Ambrosio, Domenico D'Olimpo, Roberto Di Giulio, Antonella Falotico, Daniele Fanzini, Massimo Ferrari, Rossella Franchino, Matteo Gambaro, Jacopo Gaspari, Maria Luisa Germanà, Andrea Giachetta, Elisabetta Ginelli, Francesca Giofrè, Mattia Leone, Danila Longo, Adriano Magliocco, Laura Malighetti, Martino Milardi, Antonello Monsu' Scolaro, Elena Piera Montacchini, Marzia Morena, Ingrid Paoletti, Spartaco Paris, Angela Pavesi, Claudio Piferi, Paola Pleba, Donatella Radogna, Raffaella Riva, Rosa Romano, Massimo Rossetti, Sergio Russo Ermolli, Fabrizio Schiaffonati, Simone Secchi, Cesare Sposito, Cinzia Talamo, Andrea Tartaglia, Valeria Tatano, Benedetta Terenzi, Enza Tersigni, Fabrizio Tucci, Renata Valente, Maria Pilar Vettori, Antonella Violano, Alessandra Zanelli.

2022

Davide Allegri, Vitangelo Ardito, Paola Ascione, Erminia Attaniese, Adolfo Baratta, Antonio Basti, Oscar Bellini, Stefano Bellintani, Mariangela Bellomo, Roberto Bolici, Maddalena Buffoli, Laura Calcagnini, Marta Calzolari, Andrea Campioli, Eliana Cangelli, Corrado Carbonaro, Francesca Castagneto, Cristiana Cellucci, Andrea Ciaramella, Paolo Civiero, Carola Clemente, Christina Conti, Alessandra Cucurnia, Domenico D'olimpio, Alberto De Capua, Federico De Matteis, Pasquale De Toro, Roberto Di Giulio, Daniele Fanzini, Rossella Franchino, Matteo Gambaro, Jacopo Gaspari, Maria Luisa Germanà, Andrea Giachetta, Mattia Leone, Nora Lombardini, Danila Longo, Maria Teresa Lucarelli, Adriano Magliocco, Paola Marrone, Antonio Mazzeri, Martino Milardi, Antonello Monsu' Scolaro, Elena Piera Montacchini, Indrid Paoletti, Spartaco Paris, Francesco Pastura, Angela Pavesi, Donatella Radogna, Manuela Raitano, Raffaella Riva, Massimo Rossetti, Monica Rossi-Schwarzenbeck, Fabrizio Schiaffonati, Andrea Sciascia, Cesare Sposito, Enza Tersigni, Corrado Trombetta, Fabrizio Tucci, Renata Valente, Maria Pilar Vettori, Alessandra Zanelli.

SIT_dA

Società Italiana della Tecnologia
dell'Architettura



RUOLI ABILITANTI DELLA TECNOLOGIA ENABLING ROLES OF TECHNOLOGY

INTRODUZIONE AL TEMA *INTRODUCTION TO THE ISSUE*

- 7 | **Evoluzione e ruolo delle tecnologie**
Development and role of technologies
Mario Losasso, Presidente SITdA

EDITORIALE *EDITORIAL*

- 11 | **Tecnologie abilitanti e qualità del progetto**
Enabling technologies and project quality
Elena Mussinelli

DOSSIER a cura di/*edited by* Filippo Angelucci e Pietromaria Davoli

- 16 | **Declinazioni e dimensioni abilitanti della Tecnologia in architettura: un dibattito complesso**
Enabling variations and dimensions of Technology in architecture: a complex debate
Filippo Angelucci, Pietromaria Davoli
- 23 | **Intervista a Nicola Emery**
Interview with Nicola Emery
Nicola Emery, Filippo Angelucci, Pietromaria Davoli
- 29 | **L'animale interdisciplinare**
The interdisciplinary animal
Maurizio Ferraris
- 38 | **Tecnologia come discorso sul metodo e sul progetto**
Technology as a discourse on method and on design
Paolo Tombesi

REPORTAGE a cura di/*edited by* Francesca Thiébat

- 48 | **Habitat intelligenti e auto-sufficienti: il ruolo della Tecnologia per il futuro dell'architettura**
Intelligent, self-sufficient habitats: the role of Technology for the future of architecture
Francesca Thiébat

CONTRIBUTI *CONTRIBUTIONS*

SAGGI E PUNTI DI VISTA *ESSAYS AND VIEWPOINTS*

- 55 | **Linee evolutive nell'uso dell'intelligenza artificiale a supporto della progettazione architettonica**
Evolutionary trends in the use of artificial intelligence in support of architectural design
Gian Luca Brunetti
- 61 | **Tecnologie, processi e strumenti tra innovazione e qualità progettuale**
Technologies, processes and tools between innovation and design quality
Andrea Tartaglia
- 68 | **Supporto o automazione nelle decisioni: il ruolo dell'intelligenza artificiale per il progetto**
Support or automation in decision-making: the role of artificial intelligence for the project
Tiziana Ferrante, Federica Romagnoli
- 78 | **Urban Digital Twin e pianificazione urbana per la città sostenibile**
Urban Digital Twin and urban planning for sustainable cities
Alessandra Barresi
- 84 | **Cittadinanza energetica. Strumenti e tecnologie per abilitare la transizione nei distretti**
Energy citizenship. Tools and technologies to enable transition in districts
Danila Longo, Saveria Olga Murielle Boulanger, Martina Massari, Giulia Turci
- 93 | **Design by data. Dalle interfacce alle architetture responsive**
Design by data. From interfaces to responsive architectures
Attilio Nebuloni, Giorgio Buratti

RICERCA E SPERIMENTAZIONE *RESEARCH AND EXPERIMENTATION*

- 101 | **Tecnologie e spazi di prossimità: strumenti per scelte consapevoli nella transizione ecologica**
Technologies and proximity spaces: tools for conscious choices in ecological transition
Paola Marrone, Ilaria Montella, Federico Fiume
- 116 | **Il modello Coast-RiskBySea per il supporto decisionale al progetto climate proof**
The Coast-RiskBySea model for climate proof decision-making support
Maria Fabrizia Clemente
- 124 | **Dal CFD al GIS: una metodologia per l'implementazione di database georeferenziati sul microclima urbano**
From CFD to GIS: a methodology to implement urban microclimate georeferenced databases
Matteo Trane, Guglielmo Ricciardi, Mattia Scalas, Marta Ellena
- 134 | **Piattaforma di simulazione energetica a supporto della progettazione/gestione degli edifici**
Energy simulation platform supporting building design and management
Giacomo Chiesa, Francesca Fasano, Paolo Grasso
- 143 | **Tecnologie abilitanti per supportare la transizione energetica nell'ambito dell'edilizia sociale**
Enabling technologies to support energy transition in social housing
Jacopo Gaspari, Ernesto Antonini, Lia Marchi
- 153 | **Tecnologie capacitanti per ambienti adattivi: il caso studio Living Hub**
Capacitating technologies for adaptive environments: the Living Hub case study
Niccolò Casiddu, Claudia Porfirione, Annapaola Vacanti
- 162 | **Il progetto 4CH e le tecnologie abilitanti nella salvaguardia del Patrimonio Culturale**
The 4CH project and enabling technologies for safeguarding the Cultural Heritage
Andrea Boeri, Serena Orlandi, Rossella Roversi, Beatrice Turillazzi
- 173 | **Rome Local Climate Zone (RLCZ): strumento di supporto decisionale per la città storica**
Rome Local Climate Zone (RLCZ): decision-making support tool for the historical city
Gaia Turchetti
- 182 | **La tecnologia come interfaccia abilitante negli spazi di transizione per lo smart Heritage**
Technology as enabling interface within transition spaces for the smart Heritage
Marta Calzolari, Valentina Frighi, Valentina Modugno
- 192 | **Dar forma a spazi pubblici accessibili per le persone con limitazioni visive. L'esperienza di ricerca BUDD-e**
Shaping accessible public spaces for visually impaired people. The BUDD-e research experience
Andrea Rebecchi, Marcello Farina, Giuseppe Andreoni, Stefano Capolongo, Matteo Corno, Paolo Perego, Emanuele Lettieri
- 204 | **Abilitare una esperienza aumentata dell'edificio con il coinvolgimento degli utenti**
Enabling an augmented building experience by encouraging user engagement
Antonella Trombadore, Debora Giorgi, Gisella Calcagno, Giacomo Pierucci
- 214 | **Tecnologie abilitanti per l'economia circolare nel settore edilizio**
Enabling technologies for circular economy in the construction sector
Monica Lavagna, Serena Giorgi, Daniela Pimponi, Andrea Porcari
- 225 | **Un nuovo strumento di informazione come tecnologia abilitante: applicazione e simulazione**
A new information tool as an enabling technology: application and simulation
Francesca Ciampa, Caterina Claudia Musarella
- 233 | **Stampa 3D robotizzata: valorizzazione di processi progettuali e costruttivi a Detroit**
Enhancing the workforce in construction: robotic concrete printing in Detroit
Sara Codarin
- 243 | **L'Internet of Things per la transizione circolare nel settore delle facciate**
The Internet of Things for circular transition in the façade sector
Matteo Giovanardi, Thaleia Konstantinou, Riccardo Pollo, Tillmann Klein
- 252 | **Sfruttare l'intelligenza naturale del legno per migliorare la ventilazione passiva degli edifici**
Harnessing the natural intelligence of wood to improve passive ventilation in buildings
Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Giulia Pelliccia, David Correa

DIALOGO *DIALOGUE* a cura di/*edited* by Antonella Violano

- 260 | Nuove frontiere digitali per il progetto: un processo propositivo/interattivo
New digital frontiers for design: a proactive/interactive process
Anna Maria Giovenale/Pietro Montani

266 | RECENSIONI *REVIEWS* a cura di/*edited* by Francesca Giglio

- 268 | Sergio Russo Ermolli, *The Digital Culture of Architecture. Note sul cambiamento cognitivo e tecnico tra continuità e rottura*
Serena Baiani
- 270 | Consuelo Nava, *Ipersostenibilità e tecnologie abilitanti. Teoria, metodo e progetto*
Federica Ottone
- 272 | Neil Leach, *Architecture in the Age of Artificial Intelligence. An Introduction to AI for Architects*
Marina Rigillo

INNOVAZIONE E SVILUPPO INDUSTRIALE *INNOVATION AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT*

a cura di/*edited* by Alessandro Claudi de Saint Mihiel

- 274 | Efficienza energetica e soluzioni tecniche di involucro massive
Energy efficiency and massive envelope solutions
Alessandro Claudi de Saint Mihiel

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

Dipartimento Architettura Ingegneria delle costruzioni Ambiente costruito, Politecnico di Milano, Italia

andrea.tartaglia@polimi.it

Abstract. La crescente performatività degli strumenti di IT per il progetto permettono di delegare intere fasi del processo ideativo e decisionale, con una diffusione di modelli algoritmici, riferibili alla categoria dell'intelligenza artificiale, in grado di automatizzare segmenti importanti, se non l'intero processo di produzione del progetto. La velocità di evoluzione di tali sistemi ci colloca in una continua fase di transizione in cui è necessario riflettere sulla direzione da assumere rispetto alle molteplici opportunità di carattere tecnico e informatico. Il testo analizza i nuovi armamentari strumentali e tecnici riflettendo sui limiti e le opportunità anche rispetto allo specifico disciplinare della Tecnologia dell'Architettura e sull'esigenza di riconsiderare il senso stesso del loro uso.

Parole chiave: Generative design; Tecnologia appropriata; Cultura del progetto; Processo progettuale; Progetto necessario.

Lo scenario di riferimento Nell'ultimo decennio si è assistito a un progressivo e accelerato sviluppo di metodi e strumenti IT (*Information Technology*) per il progetto e la valutazione delle performance degli interventi edilizi e urbani. Apparati pensati per essere "di supporto", ma anche quasi alternativi al processo progettuale e, talvolta, del tutto surrogatori. La crescente performatività di tali strumenti consente di "delegare" intere fasi del processo ideativo e decisionale, con una pervasiva diffusione di modelli algoritmici riferibili alla categoria dell'intelligenza artificiale, in grado di automatizzare segmenti importanti, se non l'intero processo di produzione del progetto.

Tuttavia, pur essendo la diffusione dei sistemi digitali nel così detto settore AEC (*Architecture, Engineering & Construction*) in atto da diversi decenni, anche a causa della velocità di evoluzione di tali sistemi, ancora oggi ci troviamo in una fase di transizione in cui è necessario continuare a riflettere sulla direzione

da assumere rispetto alle molteplici opportunità di carattere tecnico e informatico (Sheil *et al.*, 2020) che spesso sembrano essere fine invece che strumento.

Nel contesto attuale infatti le politiche comunitarie e la ricerca spesso individuano, anche nel settore del progetto e delle costruzioni, nelle così dette "tecnologie abilitanti fondamentali" una strada prioritaria su cui concentrare le risorse facendole percepire quasi come una panacea in grado di risolvere i "mali della contemporaneità" (Wessendorf *et al.*, 2021; Parisi *et al.*, 2020; Manzoor *et al.*, 2021; Craveiro *et al.*, 2019).

Uno scenario stimolante, che getta però non poche ombre sulla natura del progetto di architettura. Dal punto di vista metodologico, la riflessione non può esimersi da approfondimenti su come queste innovazioni aprano a «inedite e innumerevoli opportunità di pensiero» (Perriccioli, 2020), ma anche sugli impatti di un impiego acritico di questi strumenti che già ha prodotto esiti progettuali discutibili, proprio per il limite di un approccio specialistico e deterministico che riducono la ricerca progettuale a mero gesto tecnico, ancorché formalmente enfatizzato. Pur ritenendo fondata una evoluzione in chiave generativa del metodo progettuale e degli strumenti a suo supporto, non ci si può esimere dal riflettere sul significato profondo dei processi cognitivi, percettivi, deduttivi, induttivi e abduktivivi che contraddistinguono lo sviluppo della conoscenza, la capacità inventiva e il saper fare in rapporto al progetto, così da distinguere tra fine, metodo e strumento, riconducendo quest'ultimo alla corretta dimensione di supporto per una più complessa dimensione olistica del progetto.

Technologies, processes and tools between innovation and design quality

Abstract. The growing performance of IT tools for the project allows to delegate entire phases of the conceptual and decision-making process thanks to the diffusion of algorithmic models referable to the category of artificial intelligence capable of automating important segments, if not the entire process of project production. The speed of evolution of these systems places us in a continuous transition phase in which it is necessary to reflect on the direction to be taken with respect to the many technical and IT opportunities. The text analyses the new instrumental and technical tools, reflecting on the limits and opportunities also with respect to the specific discipline of Architectural Technology, and on the need to reconsider the real meaning of their use.

Keywords: Generative design; Appropriate technology; Design culture; Design process; Necessary design.

The reference scenario

The last decade has witnessed a progressive and accelerated development of IT (Information Technology) methods and tools for the design and performance evaluation of building and urban interventions. Devices designed to be supportive, but also almost alternative to the design process and, sometimes, completely substitutes. The growing performance of these tools makes it possible to "delegate" entire phases of the conceptual and decision-making process with a pervasive diffusion of algorithmic models, referable to the category of artificial intelligence, capable of automating important segments, if not the entire production process of the project.

However, although the diffusion of digital systems in the so-called AEC (Architecture, Engineering & Construction) sector has been underway

for several decades, also due to the speed of evolution of these systems, we are still in a transition phase in which it is necessary to continue reflecting on the direction to take with respect to the many technical and IT opportunities (Sheil *et al.*, 2020), which often seem to be the goal rather than the tool.

In the current context, in fact, Community policies and research often identify, even in the design and construction sector, in the so-called "key enabling technologies", a priority path on which to concentrate resources, making them perceived almost as a panacea capable of resolving the "evils of contemporaneity" (Wessendorf *et al.*, 2021; Parisi *et al.*, 2020; Manzoor *et al.*, 2021; Craveiro *et al.*, 2019).

A stimulating scenario, which, however, casts quite a few shadows on the nature of the architectural project. From a methodological point of view, the

La transizione digitale: limiti e prospettive in continua evoluzione

Inizialmente le tecnologie digitali sono state assunte come alternativa strumentale alle tecniche tradizionali per la rappresentazione e formalizzazione delle informazioni con indubbi vantaggi in termini di tempi del processo progettuale, facilità di condivisione, semplificazione nella produzione (si pensi, ad esempio, ai sistemi CAD/CAM) e, non ultimo, di gestione anche rispetto alla fase costruttiva, all'utilizzo e alle successive attività manutentive. Ma da subito erano evidenti gli impatti che tali strumentazioni potevano avere non solo in termini di processi ma anche rispetto all'essenza stessa del progetto nei suoi contenuti creativi e culturali (Bertoldini *et al.*, 1993). Rapidamente si è evidenziata la possibilità di coordinare le molteplici informazioni relative ad un territorio o a un progetto fino alla produzione di veri modelli digitali che promettono di replicare molto fedelmente la realtà e di anticipare gli esiti delle sue trasformazioni (Miettinen and Paavola, 2014).

In tal senso, tuttavia, esistono ancora significativi limiti. Emblematica è la netta dicotomia rispetto alle scale di intervento. La scala territoriale lavora su piattaforme GIS (*Geographic Information System*) mentre per gli edifici si adotta una strumentazione BIM (*Building Information Modeling*). Si tratta di due 'mondi' che interagiscono con grande difficoltà (Guyo *et al.*, 2021) anche se è ben noto, in particolare con riferimento al progetto tecnologico ambientale, come la transcalarità sia imprescindibile per il corretto governo degli esiti degli interventi. Anzi, le sperimentazioni più avanzate richiedono «continue operazioni di *downscaling* e *upscaling* e con mirati processi di feedback, tanto spinti che in alcuni casi si è arrivati all'ipotesi

Inizialmente le tecnologie digitali sono state assunte come alternativa strumentale alle tecniche tradizionali per la rappresentazione e formalizzazione delle informazioni con indubbi vantaggi in termini di tempi del processo progettuale, facilità di condivisione, semplificazione nella produzione (si pensi, ad esempio, ai sistemi CAD/CAM) e, non ultimo, di gestione anche rispetto alla fase costruttiva, all'utilizzo e alle successive attività manutentive. Ma da subito erano evidenti gli impatti che tali strumentazioni potevano avere non solo in termini di processi ma anche rispetto all'essenza stessa del progetto nei suoi contenuti creativi e culturali (Bertoldini *et al.*, 1993). Rapidamente si è evidenziata la possibilità di coordinare le molteplici informazioni relative ad un territorio o a un progetto fino alla produzione di veri modelli digitali che promettono di replicare molto fedelmente la realtà e di anticipare gli esiti delle sue trasformazioni (Miettinen and Paavola, 2014).

In tal senso, tuttavia, esistono ancora significativi limiti. Emblematica è la netta dicotomia rispetto alle scale di intervento. La scala territoriale lavora su piattaforme GIS (*Geographic Information System*) mentre per gli edifici si adotta una strumentazione BIM (*Building Information Modeling*). Si tratta di due 'mondi' che interagiscono con grande difficoltà (Guyo *et al.*, 2021) anche se è ben noto, in particolare con riferimento al progetto tecnologico ambientale, come la transcalarità sia imprescindibile per il corretto governo degli esiti degli interventi. Anzi, le sperimentazioni più avanzate richiedono «continue operazioni di *downscaling* e *upscaling* e con mirati processi di feedback, tanto spinti che in alcuni casi si è arrivati all'ipotesi

di poter parlare di a-scalarità» (Bologna *et al.*, 2021). L'esigenza di multiscalarità nell'applicazione degli strumenti digitali di gestione dei dati in un contesto di modellazione, ma anche computazionale, è ancora più evidente se consideriamo la spinta alla diffusione delle così dette *nature-based solutions* (NBS) (Mussinelli *et al.*, 2018). Soluzioni che raggiungono la loro massima efficacia quando vengono organizzate in sistemi articolati a rete definiti come *Green and Blue Infrastructure* (GBI). Una linea di ricerca che apre a nuove opportunità, quali, utilizzando una definizione di Davide Cerati, il *Nature-based Information Modelling* (NIM), per orientare un uso efficace delle NBS negli interventi di rigenerazione urbana. Infatti, partendo dell'impiego coordinato di strumenti di modellazione e simulazione delle prestazioni ambientali a scala territoriale, urbana e puntuale/edilizia è possibile definire – anche attraverso indicatori – criticità, obiettivi di progetto e opzioni morfologiche e tecnologiche (Cerati, 2019).

Indubbiamente le tecnologie digitali hanno anche permesso al progetto, che in origine era un'attività in sequenza di approfondimenti sia specialistici che di scala, di dare concretezza ad un approccio integrato delle diverse competenze (Del Nord, 2013) che, grazie anche ad appositi software, riescono efficacemente ad operare in parallelo all'interno del progetto. Ma se questi strumenti hanno ridotto l'importanza della scala dimensionale nella progettazione, in quanto la scala assume significato solo nel caso si voglia procedere ad una stampa, hanno normalmente mantenuto la sequenzialità nello sviluppo progressivo nella definizione dei contenuti progettuali. Ci si riferisce all'organizzazione delle informazioni nel BIM secondo i così detti LOD (*Level of Definition/Development*) che oggi trovano forse un

reflection cannot avoid exploring how these innovations open up to «unprecedented and innumerable thinking opportunities» (Perriccioli, 2020), but also the impacts of an uncritical use of these tools that has already produced questionable design outcomes, precisely due to the limitation of a specialist and deterministic approach, which reduces design research to a mere technical gesture, even if formally emphasised. While deeming founded an evolution in a generative key of the design method and tools, it is necessary to reflect on the profound meaning of the cognitive, perceptive, deductive, inductive and abductive processes that distinguish the development of knowledge, the inventive capacity and the know-how in relation to the project. This is to distinguish between purpose, method and tool, bringing the latter back to the correct dimension of support for a more complex holistic dimension of the project.

The digital transition: constantly evolving limits and perspectives
Digital technologies were initially taken on as an instrumental alternative to traditional techniques for representing and formalising information with undoubted advantages in terms of design process times, easy sharing, simplified production (think, for example, of CAD/CAM systems), and also in management with respect to the construction phase, use and subsequent maintenance activities. But the potential impacts were immediately evident, not only in terms of processes but also with respect to the very essence of the project in a creative and cultural sense (Bertoldini *et al.*, 1993). The possibility of coordinating the multiple pieces of information relating to a territory or

to a project was quickly highlighted, up to the production of actual digital models that promise to replicate reality very faithfully and to anticipate the results of its transformations (Miettinen and Paavola, 2014). However, there are still significant limitations. In this sense, the clear dichotomy with respect to the scales of intervention is emblematic. The territorial scale works on GIS (*Geographic Information System*) platforms, while BIM (*Building Information Modeling*) instrumentation is adopted for the buildings. These are two 'worlds' that interact with great difficulty (Guyo *et al.*, 2021), even if it is well known, in particular with reference to the environmental technological project, that transcalarity is essential for the correct control of the outcomes of the interventions. Indeed, the most advanced experimentations require «continuous downscaling and upscaling operations, and processes of targeted feedback so incisive that, in some cases, it has become possible to speak of a theoretical a-scalarità» (Bologna *et al.*, 2021). The need for multiscalarità in the application of digital data management tools in a modelling context, but also a computational one, is even more evident if we consider the tendency to disseminate the so-called nature-based solutions (NBS) (Mussinelli *et al.*, 2018). Solutions that reach their maximum effectiveness in networked systems defined as *Green and Blue Infrastructure* (GBI). A line of research that opens up to new opportunities, such as, using a definition by Davide Cerati, *Nature-based Information Modelling* (NIM), to guide an effective use of NBS in urban regeneration interventions. In fact, starting from the coordinated use of modelling and simulation tools

significato più attuale nei LOIN (*Level of Information Need*) introdotti dalla norma ISO 19650-1. Tuttavia, non è irrealistico pensare che anche questa sequenzialità possa essere superata rendendo obsolete definizioni e avanzamenti sequenziali del processo progettuale tradizionale. Si stanno sviluppando strumenti che, sulla base di processi automatizzati supportati da librerie informative dei principali prodotti e sistemi edilizi pure automatizzati, permettono di introdurre già nella fase preliminare contenuti di dettaglio e verifiche degli esiti tradizionalmente demandate ai successivi livelli di progettazione. Inoltre, gli stessi strumenti permettono di aggiornare e riadeguare “automaticamente” i contenuti e le soluzioni tecniche di dettaglio esecutivo anche a seguito di modifiche significative nelle impostazioni e nei requisiti progettuali in passato possibili solo in fase preliminare o di fattibilità. Tale possibilità permette, quindi, di annullare la tradizionale sequenzialità di preliminare, definitivo ed esecutivo, trasformando il progetto in un percorso a spirale in cui la valutazione di soluzioni aggregative e volumetriche si può alternare alla verifica di alternative impiantistiche, materiche, distributive e tecnologico costruttive. Non solo la sequenzialità scalare, ma anche quella informativa, potrebbero rapidamente perdere di significato all’interno del processo progettuale.

Inoltre, l’approccio computazionale, su cui oggi si sta concentrando l’attenzione nel percorso di digitalizzazione del settore AEC, permette di invertire la tradizionale sequenza “form-impatti” facendo sì che i dati di partenza, nonché quelli attesi di impatto, permettano, attraverso un’apposita programmazione, di generare la “forma” finale. Si tratta delle versioni più avanzate di modellizzazione progettuale in cui non semplice-

mente vengono verificate le performance dell’ipotesi ma sono le performance richieste che generano attraverso algoritmi la soluzione finale. Soluzioni generative che attraverso forme di AI (*Artificial Intelligence*) si presume potranno forse assumere le caratteristiche di un “progetto auto-generativo” che in modo automatico, grazie alle opportunità legate da un lato al machine e deep learning e dall’altro ai big data, potrà migliorare, se non addirittura predisporre, la soluzione finale.

La cultura del progetto e il “pensiero” digitale

Ragionare sul progetto e i suoi strumenti significa confrontarsi con due questioni aperte. La prima relativa al ruolo dell’architetto all’interno di un modello tecnocratico di gestione delle trasformazioni dell’ambiente (Ostwald, 2010; Biraghi, 2019) e di costruzione degli scenari evolutivi della società di riferimento. La seconda, strettamente correlata, riguarda il concetto stesso di qualità dei manufatti ma anche dei sistemi urbani e territoriali (Schiaffonati, 2022), la cui essenza non può semplicemente essere scomposta nelle diverse componenti specialistiche.

Certamente gli strumenti generativi liberano il progettista, almeno apparentemente, dall’esigenza di un confronto serrato con i caratteri dei luoghi; un confronto spesso demandato a nuove figure tecniche specializzate nell’uso di tali strumenti. Ma il rischio è di sottostimare il ruolo delle valenze culturali del progetto, mai completamente riducibili entro modelli automatizzati. I nuovi livelli di complessità e le nuove sfide – non solo di carattere energetico e climatico, ma anche sociale ed ecologico – che caratterizzano lo scenario operativo contemporaneo richiedono, invece, più alti livelli di consapevolezza degli opera-

of environmental performance on a territorial, urban and punctual/building scale, it is possible to define – also through indicators – criticalities, project objectives and morphological and techno-typological options (Cerati, 2019).

Digital technologies have undoubtedly allowed the project, which originally was a sequence of in-depth acts both on a specialist level and on a scale one, to give concrete form to an integrated approach of the various skills (Del Nord, 2013) which, thanks also to specific software, are able to operate in parallel within the project. However, if these tools have reduced the importance of the dimensional scale in the design, since the scale takes on meaning only in print, they have normally maintained the sequence of progressive development when defining the design contents. We refer to

the organisation of information in BIM according to the so-called LOD (Level of Definition/Development), which, today, perhaps finds a more current meaning in the LOIN (Level of Information Need) introduced by the ISO 19650-1 standard. However, it is not unrealistic to think that even this sequentiality can be overcome by making definitions and sequential advances of the traditional design process obsolete. New tools are being developed which, thanks to automated processes supported by information libraries of the main products and building systems, which are also automated, make it possible to introduce detailed contents and to check the results already in the preliminary phase. Furthermore, the same tools allow to “automatically” update and readjust the contents and technical solutions of executive detail even following signifi-

cant changes in the settings and design requirements. In the past, this could only be done in the preliminary or feasibility phase. This possibility, therefore, allows to cancel the traditional sequentiality of preliminary, definitive and detailed design, transforming the project into a spiral path in which the evaluation of aggregative and volumetric solutions can be alternated with the verification of plant, material, distribution and construction technological alternatives. Not only the scalar sequence, but also the informational one, could quickly lose its meaning within the design process. Furthermore, the computational approach makes it possible to reverse the traditional “form-impact” sequence by ensuring that the starting data, as well as the expected impact data, allow to generate the final “shape” through special programming. These are the most advanced versions

of design modelling in which the performance of the hypothesis is not merely verified, but it is the required performance that generates the final solution through algorithms. Generative solutions that through forms of AI (artificial intelligence) will perhaps be able to assume the characteristics of a “self-generative project” that will automatically be able to improve, if not prepare, the final solution thanks to the opportunities linked to machine and deep learning on the one hand, and to big data on the other.

The culture of design and digital “thinking”

Thinking about the project and its tools means dealing with two open questions. The first related to the role of the architect within a technocratic model for managing environmental transformations (Ostwald, 2010;

tori del processo (Magarò, 2021), per non deprimere la capacità predittiva e prefigurativa del progetto alla mera identificazione di parametri prioritari su cui declinare ingegneristicamente soluzioni tecniche preconfezionate.

Un progetto “esclusivamente” generativo basato sulla AI rappresenta un importante ambito di ricerca da approfondire in tutti i suoi risvolti. In architettura è spesso successo che la ricerca, pur distaccandosi da obiettivi imprescindibili nel progetto di architettura, come la qualità della vita e dell’ambiente costruito, abbia sviluppato interessanti riflessioni che poi, ricondotte all’interno del contesto operativo diffuso, hanno significato un avanzamento del sapere architettonico e un importante arricchimento dell’armamentario dei progettisti. Pensiamo al significato delle “architetture interrotte” e dell’“architettura disegnata” (Branzi, 1976) o agli studi sviluppati da Greg Lynn partendo dai *Binary Large Object* in cui il tema della costruibilità spesso non entrava nei ragionamenti formali (Tartaglia, 2021). Allo stesso modo potremmo anche riflettere su come nel recente passato ragionamenti di carattere filosofico e sociologico, ed estranei ad una visione algoritmica, siano poi diventati riferimenti centrali nel dare senso a scelte progettuali in discontinuità con la tradizione. Basti pensare a quanti architetti hanno supportato le proprie proposte progettuali appoggiandosi esplicitamente alle riflessioni teoriche di Jacques Derrida. Ma anche matematica e geometria hanno, talvolta, rappresentato una strada da seguire per gli architetti, pur non sempre con reale coerenza e rigore. Usi più o meno raffinati che però evidenziano come il progetto di architettura, talvolta, si concentri solo su alcuni aspetti della complessità rappresentata dal sapere e dal pensiero umano, specchio di una realtà forse ancora più

Biraghi, 2019) and for building evolutionary scenarios for society. The second, which is closely related to the former, concerns the concept of quality of the artefacts but also of the urban and territorial systems (Schiavonati, 2022), whose essence cannot simply be broken down into the various specialised components.

At least apparently, generative tools release the designer from the need for a close confrontation with the characteristics of the places; an activity often entrusted to new technical figures specialised in the use of these tools. But the risk is to underestimate the role of the cultural values of the project, which can never be completely reduced within automated models. The new levels of complexity and the new challenges - not only of an energy and climatic nature, but also social and ecological - that characterise the con-

temporary operating scenario require higher levels of awareness of the process operators (Magarò, 2021). This is in order not to reduce the predictive and prefigurative capacity of the project to the mere identification of priority parameters on which to engineer pre-packaged technical solutions.

An “exclusively” generative project based on AI is an important research area to be explored in all its aspects. In architecture, it has often happened that research, while detaching itself from essential objectives in the architectural project, such as the quality of life and the built environment, has developed interesting reflections that, brought back within the widespread operational context, have meant an advance of architectural knowledge and an important enrichment of the designers’ equipment. We can mention the meaning of “interrupted architectures” and

complessa. Può essere che in questa fase ci si stia appiattendendo su un percorso digitale che oggi ci sembra totalitario e conclusivo. Ma anche in questo senso la storia dell’architettura ha più volte confutato le visioni che ipotizzavano il raggiungimento di una fase definitiva di sviluppo del pensiero progettuale.

Il progetto tra fine e mezzo Oggi siamo nell’era del progetto digitale in cui la qualità della soluzione può essere misurata anche nella coerenza del processo generativo e nella raffinatezza degli algoritmi che la producono. Una visione che però spesso porta alla definizione di meri “oggetti”, seppur complessi e di sicuro interesse tecnico, per cui il contesto fisico in cui si collocano assume significato solo rispetto ai contenuti che possono essere modellizzati e contemplati nel “gemello digitale” che diviene la “vera realtà di riferimento”. Non a caso alcune università stanno iniziando, a partire dal mondo dell’architettura, ad attivare corsi riferiti al solo metaverso come nuova opportunità e spazio operativo per gli architetti.

Tuttavia, la realtà e l’essere umano hanno ancora dei livelli di complessità che il mondo digitale può solo parzialmente replicare e cercare di inseguire attraverso l’uso sempre più massiccio di dati nei processi di deep learning. Realtà virtuale, realtà aumentata, e tutte le ulteriori declinazioni che può assumere l’ampia idea di metaverso, rappresentano certamente un’opportunità alternativa e complementare alla “sola” realtà fisica dell’ambiente e dei sistemi ecologici e culturali in cui viviamo, ma certamente non possono essere ad essa sostitutive (almeno per ora), ed anzi la ricerca sta indagando nuove forme collaborative tra questi due “mondi” (Dellermann *et. al.*, 2019).

of “drawn architecture” (Branzi, 1976) or of the studies developed by Greg Lynn starting from Binary Large Objects in which the theme of constructability often did not enter into formal reasoning (Tartaglia, 2021). In the same way, we could also think of how, in the recent past, philosophical and sociological reasoning, unrelated to an algorithmic vision, became central references in giving meaning to design choices in discontinuity with tradition. Suffice to consider how many architects have supported their design proposals by relying explicitly on the theoretical reflections of Jacques Derrida. But even mathematics and geometry have sometimes represented a path for architects, although not always with real coherence and rigour. More or less refined uses which, however, show how the architectural project sometimes focuses only on some aspects of

the complexity represented by human knowledge and thought, a mirror of a perhaps even more complex reality. Maybe in this phase we are flattening ourselves on a digital path that today seems totalitarian and conclusive. Also in this sense, the history of architecture has repeatedly refuted the visions that hypothesised the achievement of a definitive development phase of giving thinking.

The project between aim and tool

Today we are in the digital design era in which the quality of the solution can also be measured in the coherence of the generative process and in the refinement of the algorithms that produce it. A vision which, however, often leads to the definition of mere “objects”, albeit complex and certainly of technical interest, for which the physical context in which they are placed

Realtà che in ogni caso non rappresenta un riferimento statico e immobile. È utile ricordare quanto scriveva Peter Rice: «L'idea che esista una soluzione univoca per un problema tecnico è molto diffusa. Una soluzione tecnica, invece, come ogni altra scelta, è un fatto contingente, non definitivo. Quella decisione è il risultato di un complesso processo in cui viene analizzata una massa d'informazioni, per giungere a una precisa opzione sulla base dei dati. Si tratta di un evento legato al tempo e allo spazio, in cui le persone, il loro background culturale e il loro talento giocano un ruolo di primaria importanza» (Rice, 1987).

Gli elementi citati da Peter Rice sono quelli che danno "significato" alle soluzioni. Si tratta di elementi per definizione mutevoli o dinamici che non possono essere congelati e permanere se non all'interno di una visione metafisica dell'architettura. Elementi che permangono anche all'interno dell'epoca digitale/generativa. Oggi il tema si deve allargare anche a chi predispone gli strumenti informatici. Infatti, anche se «gli apparati tecnici, cessando di essere mezzi, sono divenuti pre-decisioni, decisioni che sono state prese prima che gli uomini fossero nelle condizioni di stabilire degli scopi corrispondenti, finendo per assumere sempre più le sembianze di oggetti dotati di una vita autonoma» (Russo Ermolli, 2020), il progettista deve continuamente fare memoria del loro essere mezzi/strumenti nati dalla mutevole soggettività umana.

Il progetto tra possibile e necessario

tecniche nel mondo dei materiali e delle componenti edilizie, rappresentano una opportunità che può favorire la qualità degli

Il nuovo armamentario strumentale a disposizione del progetto sommato alle innovazioni

takes on meaning only with respect to the contents that can be modelled and contemplated in the "digital twin", which becomes the "true reality of reference". It is no coincidence that some architecture universities are activating courses referring only to the metaverse as a new opportunity and operational space for architects.

However, reality and human beings still have levels of complexity that the digital world can only partially replicate and try to pursue through the increasingly massive use of data in deep learning processes. Virtual reality, augmented reality, and all the further declinations that the broad idea of metaverse can assume, certainly represent an alternative and complementary opportunity to the "only" physical reality of the environment and of the ecological and cultural systems in which we live. But certainly they cannot be substitutes for it (at least

for now). Indeed, research is investigating new forms of collaboration between these two "worlds" (Dellermann *et. al.*, 2019).

Reality that in any case does not represent a static and immobile reference. It is useful to remember what Peter Rice wrote: «the idea that there is a unique solution to a technical problem is very widespread. A technical solution, on the other hand, like any other choice, is a contingent fact, not a definitive one. That decision is the result of a complex process in which a mass of information is analysed to arrive at a precise option based on the data. It is an event linked to time and space, in which people, their cultural background and their talents play a role of primary importance» (Rice, 1987).

The elements mentioned by Peter Rice are those which give "meaning" to the solutions. These are by defini-

esiti progettuali in termini di performance ambientali, qualità fruitiva e abitativa, rispondenza al quadro esigenziale e prestazionale, uso appropriato delle risorse, velocizzazione dei processi decisionali, delle tempistiche produttive e realizzative nonché di controllo dei costi. Strumenti che spingono a riorganizzare le mappe concettuali e operative spesso basate su processualità non più coerenti con la possibilità di gestire gradi di complessità sempre più elevati, anche attraverso più veloce, se non istantaneo, confronto tra le alternative possibili.

Le possibilità aumentano in modo esponenziale, superando spesso le aspettative o le necessità della società e della domanda reale, e, talvolta, sviluppate senza reali valutazioni nel merito. Lo scenario apre quindi, anche se in modo certamente meno drammatico, a riflessioni con cui si sono già confrontate alcune scienze "dure" oltre alle scienze mediche. Approfondimenti relativi a dove porre, nel progetto e nell'applicazione delle innovazioni, il limite tra possibile e necessario.

Tema che merita un approfondimento anche di carattere etico. I progettisti, che intervenendo sull'ambiente hanno un ruolo pubblico o almeno lo sono gli impatti delle loro azioni, si trovano di fronte alla necessità di ridefinire i propri obiettivi e la semantica della qualità in architettura e nel progetto. In questo senso il settore scientifico della Tecnologia dell'Architettura, che per primo aveva affrontato il tema ambientale e climatico, dell'accessibilità, del corretto uso delle risorse, non può esimersi dal recuperare e rilanciare il filone di ricerca relativo della tecnologia appropriata (Gangemi, 1991). I nuovi armamentari strumentali e tecnici, infatti, devono trovare la loro ragione, nella coerenza con obiettivi da riproiettare e ridefinire, con uno sguardo di lungo periodo per una società in profonda evo-

lution changeable or dynamic elements that cannot be frozen and remain only within a metaphysical vision of architecture. Elements that remain even within the digital/generative age. Today the theme must be extended to those who prepare the IT tools, too. In fact, even if «technical apparatuses, ceasing to be means, have become pre-decisions, decisions that were taken before men were in a position to establish corresponding goals, ending up increasingly taking on the appearance of objects endowed with an autonomous life» (Russo Ermolli, 2020), the designer must continually remember that they are tools/instruments born of changing human subjectivity.

The project between possible and necessary

The new instrumental equipment available to the project, added to the

technical innovations in the world of materials and building components, is an opportunity that can promote: the quality of the design outcomes in terms of environmental performance; the quality of use and housing, compliance with the requirement and performance framework; the appropriate use of resources, speeding up decision-making processes, production and implementation times; cost control. Such tools encourage the reorganisation of conceptual and operational maps often based on processes that are no longer consistent with the possibility of managing increasingly higher degrees of complexity, even through a faster, if not instantaneous, comparison between possible alternatives.

The possibilities increase exponentially, often exceeding the expectations or needs of the society and the actual demand. At times they are developed

luzione che sta drammaticamente vivendo gli effetti di un modello di sviluppo autoreferenziale, tecnocratico e specialistico in cui troppo spesso il mezzo è stato confuso con il fine. Una nuova sfida che coinvolgerà anche il progetto tecnologico ambientale, i suoi contenuti, i suoi modelli operativi ma anche le sue ragioni fondative in termini di obiettivi e priorità.

REFERENCES

- Bertoldini, M., Nardi, G. and Talamo, C. (1993) (Eds), *Poesis. L'informatica nel progetto euristico*, CittàStudi.
- Biraghi, M. (2019), *L'architetto come intellettuale*, Einaudi.
- Bologna, R., Mussinelli, E. and Tucci, F. (2021), "Metodi e strumenti del progetto ambientale / Environmental design methods and tools", in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E. and Tucci, F. (Eds.), *Dai distretti urbani agli eco-distretti. Metodologie di conoscenza, programmi strategici, progetti pilota per l'adattamento climatico / From Urban Districts to Eco-districts. Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation*, MaggioliEditore.
- Branzi, A. (1976), "Architettura disegnata", *DATA*, Vol. 23, pp. 72-73.
- Cerati, D. (2019), *Nature-based Solutions and open spaces regeneration. Methods, tools and indicators for environmental design and assessment*, PhD Thesis, Politecnico di Milano.
- Craveiro, F., Pinto Duarte, J., Bartolo, H. and Bartolo, P.J. (2019), "Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0", *Automation in Construction*, Vol. 103, pp. 251-267.
- Dellermann, D., Ebel, P., Söllner, M. and Leimeister, J.M. (2019), "Hybrid Intelligence", *Business & Information Systems Engineering*, Vol. 61, pp. 637-643.
- Del Nord, R. (2013), "Rinnovare i modelli di processo con la progettazione digitale multidisciplinare: la sfida lanciata da ADITAZZ nel concorso internazionale Small Hospital – Big Ideas", *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 6/2013, pp. 22-27.
- Gangemi, V. (1991) (Ed), *Architettura e tecnologia appropriata*, Franco Angeli.
- Guyo, E., Hartmann, T. and Ungureanu, L. (2021), "Interoperability between BIM and GIS through open data standards: An overview of current literature", in Poveda-Villalón, M. and Pauwels, P. (Eds) LDAC20219th Linked Data in Architecture and Construction Workshop, pp. 115-126.
- Magarò, A. (2021), *Valutazione multi-criteriale della sostenibilità nel processo progettuale generativo*, Edizioni ETS.
- Manzoor, B., Othman, I. and Pomares, J.C. (2021), "Digital Technologies in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry—A Bibliometric—Qualitative Literature Review of Research Activities", *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, Vol. 18, p. 6135.
- Miettinen, R. and Paavola, S. (2014), "Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling", *Automation in Construction*, Vol. 43, pp. 84-91.
- Mussinelli, E., Tartaglia, A., Bisogni, L. and Malcevski, S. (2018), "The role of Nature-Based Solutions in architectural and urban design", *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 15/2018, pp. 116-123.
- Ostwald, M.J. (2010), "Ethics and the auto-generative design process", *Building Research & Information*, Vol. 38, n. 4, pp. 390-400.
- Parisi, F., Mangini, A.M. and Fanti, M.P. (2020), "Enabling Technologies for Smart Construction Engineering: a Review", in 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), pp. 1546-1551.
- Perriccioli, M. (2020), "Complessità e ambiguità della cultura digitale", in Russo Ermolli, S., *The digital culture of architecture*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, pp. 9-18.
- without real evaluations of the situation. The scenario, therefore, opens up, albeit in a certainly less dramatic way, to reflections already discussed by some "hard" sciences in addition to the medical sciences, to insights on where to place the limit between possible and necessary in the design and application of innovations.
- A topic that deserves further study, also of ethical aspects. Designers, who by intervening on the environment have a public role or at least the impacts of their actions do, are faced with the need to redefine their objectives and the semantics of quality in architecture and project. In this sense, the scientific sector of architectural technology, which was the first to deal with the environmental and climatic themes, the accessibility and the correct use of resources, cannot avoid recovering and relaunching the related research line
- of appropriate technology (Gangemi, 1991). In fact, the new instrumental and technical paraphernalia must find a reason, in coherence with objectives to be redefined, with a long-term view of a society undergoing profound evolution that is dramatically experiencing the effects of a self-referential, specialist and technocratic development model in which the means has too often been confused with the aim. A new challenge that will also involve the environmental technological project, its contents, its operating models but also its founding reasons in terms of objectives and priorities.

Rice, P. (1987), "Il punto di vista di Peter Rice. An engineer's view", *L'Arca. The international magazine of architecture, design and visual communication*, p. 70-75.

Russo Ermolli, S. (2020), *The digital culture of architecture. Note sul cambiamento cognitivo e tecnico tra continuità e rottura*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore.

Schiaffonati, F. (2022), *Identità di una città. Pensieri, critiche, progetti*, INVICEM (pubblicazione fuori commercio).

Sheil, B., Tamke, M. and Ramsgaard Thomsen, M. (2020) (Eds), *Design Transactions. Rethinking Information Modelling for a New Material Age*, UCL Press.

Tartaglia, A. (2021), "Contemporaneità e progetto", in Magarò, A., *Valutazione multi-criteriale della sostenibilità nel processo progettuale generativo*, Edizioni ETS, pp. 9-13.

Wessendorf, C., Kopka, A., Fornahl, D. (2021), "The impact of the six European Key Enabling Technologies (KETs) on regional knowledge creation", in *Papers in Evolutionary Economic Geography (PEEG) 2127*, Utrecht University, Department of Human Geography and Spatial Planning, Group Economic Geography.