

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)

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

Attilio Nebuloni, <https://orcid.org/0000-0002-9552-7002>
Giorgio Buratti, <https://orcid.org/0000-0002-6882-0844>
Dipartimento di Design, Politecnico di Milano, Italia

attilio.nebuloni@polimi.it
giorgio.buratti@polimi.it

Abstract. Dall'avvento della rivoluzione digitale in architettura, e ancor più con l'emergere di una nuova generazione di tecnologie abilitanti strutturate sulle interfacce digitali, la dimensione interattivo-relazionale ha assunto centralità nell'agenda progettuale. Significativa è la sperimentazione sulle morfologie responsive, emergenti dalla sinergia tra dati e progetto, i cui artefatti marcano un ritorno al reale che incorpora la fisicità nel processo progettuale e sintetizzano la capacità di tali tecnologie informatiche di discriminare, processare e interpretare dinamicamente una eterogeneità di dati potenziali derivanti dal contesto.

Parole chiave: Interfacce; Architettura responsiva; *Computational design*; *Design by data*.

Introduzione

Dopo una fase iniziale di sperimentazione sulle forme, seguita da una seconda più attenta agli aspetti relazionali ed algoritmici, oggi la progettazione digitale si caratterizza principalmente per due tendenze marcatamente diverse: la fabbricazione digitale di artefatti “intelligenti”, da un lato, la computazione algoritmica e la gestione dei cosiddetti *big data*, dall'altro. Con un comune denominatore: l'interazione con il contesto favorita dal ruolo abilitante delle tecnologie digitali nel definire il “comportamento” della costruzione e, in particolare, le piattaforme e le interfacce capaci di tradurre i dati in comunicazione. Questo processo si inserisce lungo una linea descrittiva del progetto (Carpò, 2017a) dove, a prescindere dallo strumento utilizzato – analogico o digitale che sia – attraverso gli algoritmi i progettisti «scrivono e riscrivono senza sosta i loro testi, registri e documenti, lasciando tracce e modificando segni senza sosta su supporti sempre diversi e collegati tra loro da reti fittissime» (Cabitza, 2021). Significative, in tal senso, sono le sperimentazioni sulle morfologie responsive, qui intese come quei sistemi capaci

Dopo una fase iniziale di sperimentazione sulle forme, seguita

di modificare aspetti, o parti, della propria struttura in relazione al mutare di specifiche condizioni ambientali, dove centrale è il rapporto che si viene a creare tra i parametri, ossia gli elementi che contengono dati “grezzi”, ancora non definiti in termini di forma o scala, e le istruzioni che generano azioni e risultati. Da paradigmi meccanici ad altri biologici, attenti ai modi di organizzarsi della natura, emerge un'architettura in cui la tecnologia combina aspetti pragmatici e prestazionali ad altri estetici e concettuali, che riguardano il suo rapporto con il contesto – ambiente e persone.

Design by data

Da sempre l'architettura si è avvalsa dei dati, dal *concept* alla costruzione, passando per le fasi intermedie di revisione e implementazione del progetto. E ciò secondo una relazione che la inquadra come disciplina poetica, dove lo scopo dei dati non è semplicemente quello di descrivere o raccontare, ma di progettare o modificare il proprio contesto di riferimento, in un reciproco dialogo tra architettura e ambiente, espressione di una rinnovata tensione tra la dimensione naturale e artificiale. Tale relazione trova forma in tre principali approcci, significativamente diversi tra loro, che si definiscono osservando il flusso dei dati: da una condizione di staticità e indipendenza tra i due domini, ad altra più dinamica e interattiva dove la variabilità dei parametri è elemento di valore per esplorare nuove ipotesi progettuali. Essi sono, nello specifico, il *design 'from' data*, il *design 'with' data* e il *design 'by' data* (Speed, 2016):
- il *design 'from' data* attiene a quei sistemi progettuali interamente guidati dal progettista, che individua, seleziona e

Da sempre l'architettura si è avvalsa dei dati, dal *concept* alla

Design by data. From interfaces to responsive architectures

Abstract. Since the rise of the digital revolution in architecture, and even more so with the emergence of a new generation of enabling technologies structured on digital interfaces, the interactive-relational dimension has become central to the design agenda. The experimentation on responsive morphologies that emerge from the synergy between data and design, and whose artefacts mark a return to the real world that incorporates physicality into the design process is significant. In addition, they represent a synthesis of the ability of such digital technologies to dynamically discriminate, process, and interpret heterogeneous potential data derived from the context.

Keywords: Interfaces; Responsive architecture; *Computational design*; Design by data.

Foreword

After an early phase of experimentation on forms followed by a second one more attentive to relational and algorithmic aspects, digital design is now mainly characterised by two markedly different tendencies, precisely the digital fabrication of “smart” artefacts, on the one hand, and the algorithmic computation and management of so-called big data, on the other. A common denominator is the interaction with the context fostered by the enabling role of digital technologies in defining the “behaviour” of construction and, in particular, the platforms and interfaces capable of translating data into communication. This process fits along a descriptive line of design (Carpò, 2017a), where regardless of the tool used-analogue or digital-through algorithms, designers «relentlessly

write and rewrite their texts, records and documents, leaving traces and modifying signs relentlessly on ever-changing media connected by dense networks» (Cabitza, 2021). Relevant, in this sense, are the experiments on responsive morphologies, understood here as systems capable of modifying aspects, or parts, of their structure to changing specific environmental conditions, where a central role is played by the relationship created between the parameters, i.e. the elements that contain “raw” data, as yet undefined in terms of shape or scale, and the instructions, which generate actions and results. From mechanical paradigms to biological ones, concerned with nature's ways of organising itself, there emerges an architecture in which technology combines pragmatic and performance aspects with aesthetic and conceptual ones, which

si rifà ad *input* ricavati dalla misurazione diretta di elementi noti. In tale approccio il dato è una premessa al progetto.

- il *design 'with' data* si caratterizza per un processo che nelle varie fasi è ancora ampiamente determinato del progettista, anche se nel progetto si affianca il flusso dei dati provenienti da livelli intermedi di verifica e revisione di processi e prodotti. Il ruolo dei dati si gioca in questo caso tra le premesse e le fasi di implementazione del progetto.
- il *design 'by' data*, infine, si caratterizza per *pattern* progettuali aperti (non definiti nella loro fisicità), che promuovono l'emergere di nuove morfologie quale sintesi delle possibili relazioni tra persone, computer, oggetti e ambienti. Il progetto si struttura in questo caso su variabili dinamiche, in considerazione della sinergia tra la sovrastruttura informativa digitale e i processi di stratificazione che legano un'architettura al suo contesto nel corso del tempo – la variabilità è ciò che ne marca il carattere.

In parallelo alla questione del flusso dei dati, altrettanto significativo è l'aspetto "dimensionale" degli stessi. Per secoli, l'evoluzione culturale e scientifica è stata costruita attraverso una logica di ricerca ed elaborazione di "piccoli" dati¹, sino a che, ed in seguito all'avanzamento delle tecnologie informatiche che ha contraddistinto il nuovo millennio, il processo di creazione, raccolta e trasmissione delle informazioni è diventato così economico, e l'insieme di dati talmente grande², da richiedere nuovi strumenti e metodologie capaci di processare le informazioni: è l'avvento della cosiddetta era dei *Big Data*. Per la prima volta nella storia, l'umanità dispone di più dati di quanti riesca a gestirne. Ne consegue che le tradizionali strutture tassonomiche di ordinamento delle informazioni utilizzate per

gestire la conoscenza³ applicate in questo contesto siano meno efficienti del dato non ordinato. Questo avviene perché i computer non usano classificazioni per trovare e recuperare dati e informazioni: «non ordinano, ma cercano» (Carpo, 2017b). L'elaboratore non trova significati ma, diversamente dagli esseri umani, può utilizzare la crescente mole di informazioni non ordinate definendo un nuovo modo di produrre conoscenza grazie all'identificazione di regolarità (*pattern*) all'interno dei dati elaborati. In luogo di leggi universali che spieghino il maggior numero possibile di eventi simili, la ricerca *data-driven* è così capace di indagare insieme sempre più piccoli, sino a gestire il caso particolare. Un esempio pionieristico della traduzione, in termini computazionali, di un processo di progettazione euristica funzionalmente equivalente all'utilizzo dei *big data*, è il progetto sperimentale del padiglione ICD/ITKE 2012 (Figg. 1, 2). I ricercatori hanno progettato e costruito una struttura di soli quattro millimetri, capace di alte prestazioni strutturali, sfruttando un innovativo processo di fabbricazione robotica basato sull'avvolgimento di filamenti polimerici arricchiti con fibra di carbonio e vetro. Lo studio che ha portato alla costruzione di tale struttura ha considerato la complessità geometrica, nonché la densità e la direzione di ciascun fascio di fibre costituenti i tasselli del padiglione, definendo un processo progettuale basato su algoritmi iterativi che ha permesso di confrontare e valutare rapidamente una mole di dati ingestibili con i tradizionali metodi di progettazione. Questo procedimento ha permesso di organizzare la complessità associata ai *big data*, allineandola a geometrie e processi di lavorazione per i quali abbiamo soluzioni numeriche che prefigurano modelli gestibili (Buratti, 2017).

relate to its relationship with the context – environment and people.

Design by data

Since the beginning, architecture has always used data, from concept to construction, through the intermediate stages of design review and implementation. Moreover, this is according to a relationship that frames it as a poetic discipline, where the aim of data is not simply to describe, with no real design intent, but to design, or modify, its context of reference, in a reciprocal dialogue between architecture and the environment, expressing a renewed tension between natural and artificial dimensions. This relationship finds shape in three main approaches, significantly different from each other, which are defined by observing the flow of data: from a condition of static and independence between the two

domains to another more dynamic and interactive one where the variability of the parameters is a valuable element to explore new design hypotheses. They are, specifically, design 'from' data, design 'with' data, and design 'by' data (Speed, 2016):

- design 'from' data pertains to those design systems that are entirely driven by the designer, who identifies, selects and draws on inputs derived from direct measurement of known elements. In such an approach, data is a premise of design.
- design 'with' data is characterised by a process still largely determined by the designer at the various stages. However, the flow of data from intermediate levels of process/product verification and review is joined in the design. The role of data is played here between the premises and the implementation phases of the project.

- lastly, design 'by' data is characterised by open design patterns (not defined in their physicality) that foster the emergence of new morphologies as a synthesis of the possible relationships between people, computers, objects and environments. The design is based, in this case, on dynamic variables because of the synergy between the digital information superstructure and the layering processes that bind architecture to its context over time – the variability is what marks its character.

Along with the issue of data flow, equally significant is the "dimensional" aspect of data. For centuries, cultural and scientific evolution has been built through a logic of research and processing of "small" data¹, until and as a result of the advancement of information technology that has marked the

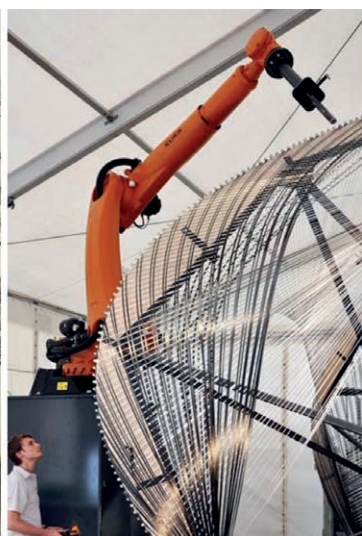
new millennium, the process of creating, collecting and transmitting information has become so economical, and the set of data so large² that it requires new tools and methodologies able to process the information: this is the advent of the so-called Big Data era. For the first time in history, humanity has more data than it can handle. It follows that the traditional taxonomic information sorting structures used to manage knowledge³ applied in this context are less efficient than unsorted data. This is because computers do not use classifications to find and recover data and information. They «do not sort, they search» (Carpo, 2017b). The computer does not find meanings but, unlike humans, can use the growing amount of unordered information to define a new way of producing knowledge through the identification of regularities (*patterns*) within the processed data. In

01| Padiglione ICD/ITKE 2012. Ad un primo *layout* geometrico per lo studio del comportamento strutturale (FEA) è seguito un processo algoritmico iterativo di modifica della geometria del guscio e della disposizione interna delle fibre, che ha identificato i **cluster** migliori ed eliminato quelli inefficienti, sino al raggiungimento della morfologia ottimale

ICD/ITKE 2012 Pavilion. An initial geometric layout for studying structural behaviour (FEA) was followed by an iterative algorithmic process of modifying the shell geometry and internal fibre arrangement that identified the best clusters, and eliminated inefficient ones, until the optimal morphology was achieved

02| Padiglione ICD/ITKE 2012. La soluzione formale è il risultato del processo computazionale che collega il modello digitale e le simulazioni agli elementi finiti con il controllo della fabbricazione robotizzata del filamento di fibra di vetro (chiaro) e carbonio (scuro)

ICD/ITKE 2012 Pavilion. The formal solution resulted from the computational process linking the digital model and finite element simulations with the control of robotic fabrication of the glass (light) and carbon (dark) fibre filament



spite of universal laws that explain as many similar events as possible, data-driven research is thus capable of investigating smaller and smaller sets until the particular case is handled. A pio-

neering example of the computational translation of a heuristic design process functionally equivalent to the use of big data is the experimental design of the 2012 ICD/ITKE Pavilion (Figs. 1,

2). Researchers designed and built a structure of only four millimetres, capable of high structural performance, by exploiting an innovative robotic fabrication process based on winding

polymer filaments enriched with carbon fibre and glass. The study that led to the construction of such a structure regarded the geometric complexity, as well as the density and direction of each

Se la “potenza” computazionale rappresenta l’impulso della sperimentazione (strumentale e per discretizzare l’informazione), determinante è la capacità intellettuale di “leggere progettualmente” tale struttura di dati. Riconoscere l’importanza del ruolo delle tecnologie informatiche, infatti, non implica il determinismo tecnologico e non afferma che i processi *data driven* debbano necessariamente guidare tutti i processi conoscitivi. Per aprire nuove vie interpretative e costruire nuovi *pattern* di spazialità è necessario, quindi, elaborare metodi di indagine diversi che valorizzino un utilizzo consapevole dei nuovi strumenti, senza trascurare le implicazioni epistemologiche: se è vero che grazie alla progettazione computazionale è possibile gestire strutture di notevole complessità, è altrettanto vero che il risultato deriva da una mole di informazioni superiore alla capacità di discrezione umana e trascende la logica dei piccoli dati di causalità e determinismo studiati nel tempo per semplificare il mondo fisico e tradurlo in modelli “a misura d’uomo”.

Artefatti responsivi e il ruolo delle interfacce digitali

inteso sia come artefatto oggettivo sia come artefatto comunicativo) e scopo dell’azione». L’interfaccia è quindi quel dispositivo enunciativo che definisce la qualità dell’interazione tra utente e artefatto, spazio d’azione in cui utente e oggetto si ridefiniscono vicendevolmente. Tale definizione è estensibile anche alle tecnologie digitali che connettono ambienti differenti ed il cui scopo può essere sia quello di migliorare l’applicazione di

Bonsiepe (1995) definisce l’interfaccia come: «uno spazio in cui si articola l’interazione tra corpo umano, utensile (artefatto

bundle of fibres constituting the pavilion’s segments, defining a design process based on iterative algorithms that allowed for the rapid comparison and evaluation of a mass of data unmanageable by traditional design methods. The process thus made it possible to organise the complexity associated with big data, aligning it with geometries and manufacturing processes for which we have numerical solutions that prefigure workable models (Buratti, 2017). If computational “power” is the drive for experimentation (instrumental and to discretise information), the intellectual ability to “read by design” such a data structure is crucial. In fact, the acknowledgement of the importance of the role of information technologies does not imply technological determinism or argue that data-driven processes must necessarily drive all cognitive processes. Hence, to open new

interpretive directions and build new patterns of spatiality, it is necessary to develop different methods of exploration that enhance conscious use of the new tools, without forgetting the epistemological implications. While it is true that thanks to computational design it is possible to manage structures of considerable complexity, it is also true that the outcome derives from a mass of information, which exceeds the capacity for human discretion and transcends the rationale of small data of causality and determinism that have been studied over time to simplify the physical world and translate them into models on a “human scale”.

Responsive artefacts and the role of digital interfaces

Bonsiepe (1995) defines interface as: «a space in which the interaction between human body, tool (an artefact

oggetti o strumenti esistenti sia quello di aumentare aspetti, processi o caratteristiche dell’ambiente stesso, per modificarlo e così creare nuove realtà che l’utente è in grado di sperimentare/abitare. Quest’ultime sono quindi interfacce tecnologiche non meramente funzionali, ma in grado di abilitare un dialogo tra ambiti spesso eterogenei, promuovendo lo sviluppo di processi e traiettorie progettuali non possibili con gli strumenti (ed i riferimenti) classici dell’architettura. A loro volta, ed in ragione del livello in cui si collocano nel progetto, possono essere:

- (a monte) interfacce che operano sulla scrittura per abilitare il dialogo tra ambienti differenti che non condividono un comune linguaggio – sono interfacce che lavorano sulla programmazione per trasferire, ri-mappandoli, dei valori in *input* ancora in cerca di un’interpretazione progettuale;
- (a valle) interfacce che operano sugli oggetti per abilitare il dialogo tra sistemi spaziali e costruttivi – sono principalmente interfacce abilitate al controllo del comportamento (azione) di una morfologia.

Dati e pannelli di controllo appartengono a questa seconda categoria e la loro applicazione nel progetto permette l’emergere di morfologie capaci di “governare” progettualmente la variabilità e, quindi, di potersi riconfigurare, o adattare, in modo responsivo, in ragione del cambiamento di specifici aspetti ambientali (ad esempio valori di illuminazione, umidità o rumore assunti a parametri di controllo del sistema⁴) o necessità degli utenti (come prossimità, densità o attività dello spazio⁵). Centrale è di conseguenza il ruolo assunto dai cosiddetti componenti responsivi, oggetti tecnologici “intelligenti” della costruzione ed espressione dei cambiamenti indotti in architettura dall’introduzione della robotica. La natura bidirezionale dei processi

understood both as object artefact and communicative artefact) and purpose of action is articulated». The interface is thus that enunciative device, which defines the quality of the interaction between user and artefact, a space of action in which user and object redefine each other. This definition is also applicable to digital technologies that connect different environments, whose purpose can be either to enhance the application of existing objects or tools or to augment aspects, processes, or features of the environment itself, to modify it and thus create new realities that users can experience/inhabit. The latter are thus technological interfaces that are not merely functional but able to activate a dialogue between often heterogeneous domains, resulting in the development of design processes and trajectories, which are not possible with the classical tools (and references)

of architecture. In turn, and because of the level at which they are placed in the project, they can be:

- (from the top) interfaces that work on writing to enable dialogue between different environments that do not share a common language – they are interfaces that work on programming to transfer, in re-mapping, input values still seeking design interpretation.
- (from the bottom) interfaces that operate on objects to enable dialogue between spatial and constructive systems – these are primarily interfaces enabled to control a morphology’s behaviour (action).

Data and control panels belong to this second category, and their application in the project allows the emergence of morphologies able to “rule” variability by design and, therefore, to be able to responsively reconfigure, or adapt, due

robotici determina, infatti, una mutazione profonda del ruolo assunto dalle interfacce digitali, che dall'essere strumenti prescrittivi nel determinare oggetti statici, diventano sistemi relazionali strutturati su aspetti dinamici, frutto dell'interazione con molteplici parametri, sia endogeni che esogeni (Rossi, 2017). Contemporaneamente punto di incontro tra aspetti compositivi e tecnologici, da un lato, e tra le dimensioni globale e locale dell'architettura, dall'altro, la potenzialità di forma dei componenti risulta così in un'estetica della mutazione fondata sulla capacità di interfacciarsi e dialogare in modo dinamico con il contesto.

In luogo di una tecnologia "produttiva" capace di replicare forme non biologiche di intelligenza naturale, i componenti responsivi sono tecnologie di tipo "riproduttivo", ovvero attente a ripetere, nei loro movimenti semplici, i risultati raggiunti dal comportamento intelligente di forme naturali (es. risolvere problemi o svolgere positivamente dei compiti). Ciò è possibile, in analogia a quanto afferma Floridi (2017) in merito all'Intelligenza Artificiale, solo considerando i componenti stessi come interfacce che basano la propria efficienza sulla costruzione attorno ad essi di un ambiente *ad hoc*, o "involucro", ritagliato sulle loro specifiche capacità. Così l'autore definisce il concetto: «Si pensi, nella robotica industriale, a un robot che vernicia un componente di un veicolo in una fabbrica. Lo spazio tridimensionale che definisce i confini entro i quali un tale robot può funzionare con successo si chiama involucro del robot. Alcune delle nostre tecnologie, come le lavastoviglie o le lavatrici, assolvono ai loro compiti perché i loro ambienti sono involucri strutturati (avvolti) attorno alle capacità elementari del robot al loro interno. (...) È l'ambiente che è progettato per essere com-

patibile con i robot, non il contrario. Pertanto, non costruiamo droidi per lavare i piatti nel lavandino o guidare la macchina, insegnandogli a fare esattamente ciò che faremmo noi, per sostituirci. Al contrario, avvolgiamo microambienti attorno a semplici robot per adattarli e sfruttare le loro capacità limitate e arrivare comunque al risultato desiderato. (Tutto ciò – ndr.) ha iniziato a pervadere tutti gli aspetti della realtà e sta accadendo quotidianamente ovunque, in casa, in piazza e in ufficio. Io stesso ho modificato il giardino per assicurarmi che il robot potesse tagliare l'erba senza incastrarsi in un angolo o uscire dal perimetro o bloccarsi in un'area scoscesa (*ibid*).».

In questo luogo i componenti funzionano e sono capaci di rispondere con un comportamento programmato apparentemente semplice agli obiettivi definiti dal progetto nel suo insieme. È il progettista a deciderne la forma ed i parametri rispetto a scelte e vincoli progettuali, costruendo attorno ad essi caratteristiche e confini dello spazio tridimensionale entro cui poter funzionare con successo, ciò anche modificando in modo significativo l'impianto spaziale dell'architettura. Per la loro esplorazione molti *software* integrano interfacce o *plug-ins*⁶ che, con opportuni linguaggi di programmazione, consentono la personalizzazione dell'ambiente di modellazione e della definizione di algoritmi e dati di controllo (Nebuloni, 2020). Alcune di queste funzionalità, inoltre, consentono l'interoperabilità tra i diversi ambienti e piattaforme digitali, essenziale per l'integrazione nel processo di *input* esterni, come ad esempio connettere in modo bidirezionale un modellatore algoritmico ad un microcontrollore al fine di processare dati provenienti da sensori e simulare il comportamento fisico di un artefatto, sia in modo virtuale che reale. Accogliere una tale struttura di componenti

to changes in specific environmental aspects (e.g. lighting, humidity or noise values assumed to be system control parameters⁴) or user needs (as proximity, density or activity of the space⁵). As a result, the so-called responsive components assume a central role. They are "intelligent" technological objects of construction, and an expression of the changes induced in architecture by the introduction of robotics. In fact, the bidirectional nature of robotic processes brings about a profound mutation in the role assumed by digital interfaces, which switch from being prescriptive tools in determining static objects, to relational systems structured on dynamic aspects, the result of interaction with a wide range of parameters, both internal and external (Rossi, 2017). Simultaneously a meeting point between compositional and technological aspects, on the one hand, and between

the global and local dimensions of architecture, on the other, whose potentiality of form of the components thus results in an aesthetic of mutation based on the ability to interface and dialogue with the context dynamically. Instead of a "productive" technology capable of replicating non-biological forms of natural intelligence, responsive components are "reproductive" technologies, which means they are careful to repeat in their simple movements the results achieved by the intelligent behaviour of natural forms (e.g. solving problems or performing tasks positively). This aspect is possible, similarly to what Floridi (2017) states about Artificial Intelligence, only by considering the components themselves as interfaces that base their efficiency on the construction around them of an *ad hoc* environment, or "envelope", tailored to their specific ca-

pabilities. The author defines the concept as follows:

«Think, in industrial robotics, of a robot painting a vehicle component in a factory. The three-dimensional space that defines the boundaries within which such a robot can operate successfully is called the robot envelope. Some of our technologies, such as dishwashers or washing machines, accomplish their tasks because their environments are envelopes structured (wrapped) around the robot's elemental capabilities. (...) The environment is designed to be compatible with robots, not the other way around. Therefore, we do not build droids to wash dishes in the sink or drive the car, teaching them to do right what we would do to replace us. Instead, we wrap microenvironments around simple robots to adapt them, take advantage of their limited capabilities, and still arrive at

the desired result. (*This - Eds.*) has begun to permeate all aspects of reality and is happening daily everywhere, at home, in the square and in the office. I modified the garden to ensure the robot could cut the grass without getting stuck in a corner, going outside the perimeter, or getting stuck in a steep area (*ibid*).».

In this place, components function and can respond with seemingly simple programmed behaviour to the objectives defined by design as a whole. The designer decides their form and parameters concerning design choices and constraints, building around them features and boundaries of the three-dimensional space within which they can function successfully, even significantly altering the spatial layout of the architecture. For their exploration, many software integrate interfaces or *plug-ins*⁶, which use suitable program-

- 03| Al Bahar Towers, Abu Dhabi – Aedas Architects. Gli edifici si caratterizzano per una facciata dinamica popolata da componenti a forma triangolare, il cui comportamento segue una logica algoritmica: i valori di incidenza solare vengono processati da un programma che determina il grado di apertura dei “petali”, proteggendo l'interno dalle condizioni ambientali estreme del luogo
Al Bahar Towers, Abu Dhabi – Aedas Architects. The buildings are characterized by a dynamic façade populated by triangular-shaped components, whose behaviour follows an algorithmic logic: solar incidence values are processed by a program that determines the degree to which the “petals” are open, protecting the interior from the extreme environmental conditions of the site
- 04| Media-TIC Building, Cloud 9, Barcellona – Ruiz Geli. I componenti in ETFE che caratterizzano due facciate dell'edificio si gonfiano in ragione del grado di intensità dell'esposizione solare e creano zone d'ombra che permettono di risparmiare energia. La composizione della facciata e la distribuzione delle attività interne sono state progettate per ottimizzarne il funzionamento
Media-TIC Building, Cloud 9, Barcelona – Ruiz Geli. The ETFE components that characterize two façades of the building swell due to the degree of intensity of solar exposure, creating shaded areas that save energy. The composition of the façade and the distribution of internal activities were designed to optimize their operation

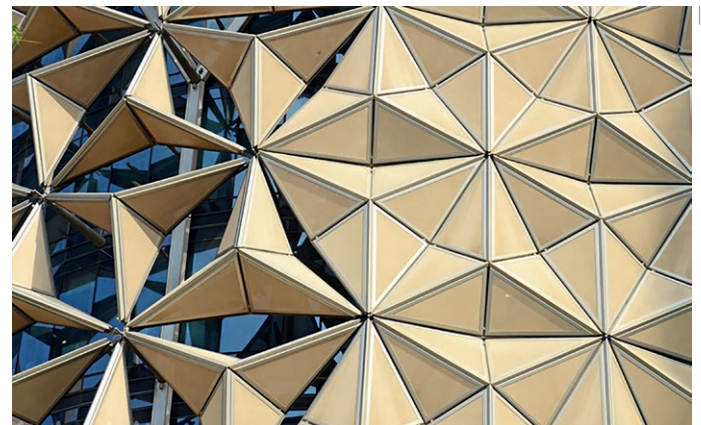
nella costruzione implica, quindi, la creazione di un ecosistema a loro favorevole e ciò spesso trova forma in corrispondenza della superficie esterna dell'architettura, che così diventa strumento di interazione ambientale; in primo luogo, definendo geometricamente tale spazio attraverso la discretizzazione della superficie stessa in moduli base e, successivamente, popolando questi moduli di nuovi artefatti tecnologici (Figg. 3, 4, 5).

Verso un ritorno al reale

Se lo sviluppo delle interfacce progettuali è avvenuto principalmente all'interno di paradigmi concettuali focalizzati sulla rappresentazione e ancora dominati dalla separazione tra quest'ultima e la costruzione dell'architettura (Rossi, 2017), lo specifico della relazione tra analogico e digitale caratterizzante gli artefatti responsivi marca un ritorno al reale che incorpora tale fisicità già nel processo progettuale. Nel contempo, libera il progettista dal semplice controllo dell'interfaccia grafica di restituzione del progetto, per lavorare (in analogia a quanto avviene con gli oggetti nel paradigma della progettazione OOP, e pensando ai componenti come degli oggetti 'quasi bricks'), alla programmazione ed alla gestione del suo processo. L'apertura e la condivisione delle istruzioni, unitamente alla capacità del progetto stesso di sviluppare, nei componenti, forme di comportamento dinamico, sono le ragioni principali che oggi spostano l'attenzione dei progettisti dalla replicabilità del modello all'elaborazione di procedure e relazioni in grado di abilitarne la costruzione.

Interfaccia tra analogico e digitale, ma anche tra reale e virtuale, centrale nella progettazione è così la costruzione del prototipo di studio, il cui sviluppo sarà principalmente rivolto alla sperimentazione e validazione di un'idea, piuttosto che alla

produzione dell'oggetto finale; e questo per meglio comprendere le potenzialità del modello digitale e la possibilità della sua traduzione nella costruzione. Allo stesso tempo, per «rendere meno misteriosa la transizione tra intenzioni ed esiti, tra interpretazione del reale e geometrie chiamate a trasformarlo, tra figure e strumenti per la loro manipolazione» (Corbellini, 2013). La realizzazione di un prototipo implica, però, che il progettista si confronti con aspetti non costitutivi dell'architettura, come ad esempio gli attriti, l'elettronica, il peso e le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali in relazione ad ingranaggi, connessioni e cinematismi, per trasporre idee e progetti in soluzioni concrete, spesso non standardizzate nei modi della produzione corrente. L'elaborazione analogica in forma di prototipo rappresenta, quindi, il primo spazio di fattibilità del progetto. Inoltre, non spezzando più in fasi distinte la progettazione, ma condividendo un nuovo linguaggio comune basato sulla programmazione e il pensiero digitale, nella ciclicità della relazione tra le dimensioni analogica-digitale-analogica, dal progetto viene così a generarsi un flusso continuo di informazioni che



03

ming languages to customise the modelling environment, define algorithms and control data (Nebuloni, 2020). Some of these functionalities also enable interoperability between different digital environments and platforms. This interoperability is essential for integrating external inputs into the process, such as bi-directionally connecting an algorithmic environment to a microcontroller to process data from sensors and simulate the physical behaviour of a component, both virtually and in real life. Accommodating them in the construction thus implies the creation of an ecosystem that is favourable to them, and this often finds form in the building's envelope, thus becoming an instrument of environmental interaction. The first step is the geometrical definition of that space through discretisation of the surface into basic modules and then the mod-

ules' population with new technological artefacts (Figs. 3, 4, 5).

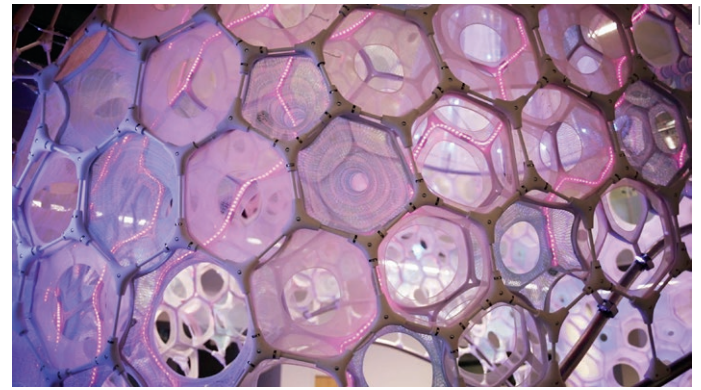
Towards a return to the real

If the development of design interfaces has mainly taken place within conceptual paradigms focused on representation, and is still dominated by the division between it and the construction of architecture (Rossi, 2017), the special relationship between analogue and digital characterising responsive artefacts marks a return to the real world that incorporates such physicality already in the design process. Simultaneously, it releases the designer from the simple control of the graphical interface of restitution of the design, to work (in analogy to what happens with objects in the OOP design paradigm and thinking of components as 'almost bricks' objects) on the programming and management of its process. The



04

05| *Ada pavilion, Redmond, Washington – Sabin Studio con Microsoft Research. Il padiglione è realizzato dall'aggregazione di componenti tubolari e cellulari in tessuto e fibre fotoluminescenti, capaci di assorbire ed emettere luce. Sensori e telecamere ricavano dati da modelli facciali, voci e suoni, che elaborati da algoritmi di Intelligenza Artificiale rispondono empaticamente al visitatore*
Ada pavilion, Redmond, Washington – Sabin Studio with Microsoft Research. The pavilion is made by of tubular and cellular fabric components and photoluminescent fibres capable of absorbing and emitting light. Sensors and cameras extract data from facial patterns, voices and sounds, which processed by Artificial Intelligence algorithms respond empathetically to the visitor



interfacciano il momento dell'ideazione a quello dell'elaborazione e costruzione di un'architettura.

In sintesi, la principale forza delle morfologie responsive è quella di ri-ontologizzare la realtà e aprire l'architettura a riferimenti esterni al proprio dominio⁷. La loro sperimentazione, tuttavia, sconta ancora oggi diverse rigidità disciplinari che ne confinano l'accettazione principalmente nella sfera della ricerca, dove queste tecnologie abilitanti di matrice digitale sono consapevolmente tollerate, in particolare, e ancora con le parole di Floridi (2017): «quando ciò non produce conseguenze rilevanti o quando si tratta di una soluzione temporanea nell'attesa di progettare un design migliore».

ATTRIBUZIONE

Il testo deriva da un lavoro collettivo. Nell'elaborazione, Giorgio Buratti ha curato in particolare il paragrafo “*Design by data*” e Attilio Nebuloni i paragrafi “*Artefatti responsivi e il ruolo delle interfacce digitali*” e “*Verso un ritorno al reale*”. Il resto del testo è frutto del lavoro condiviso tra i due autori.

NOTE

¹ Si pensi, ad esempio, come sino a pochi decenni fa le biblioteche erano ancora essenzialmente l'unico luogo dove reperire informazioni, per lo studio, la professione o lo svago. La disponibilità di informazione e delle relative fonti era legata a supporti fisici, i libri, che caratterizzavano la biblioteca a seconda della natura della raccolta ed alla coerenza interna della stessa. Se le informazioni desiderate non erano disponibili era obbligato recarsi in una nuova biblioteca o aspettare la spedizione di un libro, recarsi in loco nel caso di un tomo raro o rinunciare alle informazioni cercate.

² Il volume dei dati attualmente impegnati nel mondo è di circa 40 zettabyte/anno e segue un *trend* in continua crescita. Uno *zettabyte* corrisponde

openness and sharing of instructions, together with the ability of the design itself to develop, in components, forms of dynamic behaviour, are the main reasons that today shift the attention of designers from the replicability of the model to the development of procedures and relationships that can enable its construction.

As an interface between analogue and digital, as well as between real and virtual, central to design is thus the construction of the study prototype, the development of which will be primarily aimed at the experimentation and validation of an idea, rather than the production of the final object. This is to better understand the potential of the digital model and the possibility of its translation into construction. At the same time: «to make less mysterious the transition between intentions and outcomes, between the interpre-

tation of reality and geometries called to transform it, between figures and tools for their manipulation» (Corbellini, 2013). The creation of a prototype, however, requires the designer to deal with aspects that are not constitutive of architecture, such as friction, electronics, weight and the physical-mechanical characteristics of materials concerning gears, connections and kinematics, in order to translate ideas and designs into concrete solutions, which are often not standardised in the ways of mainstream production. Thus, analogue processing in prototype form represents the first space of project feasibility. Moreover, no longer breaking design into distinct phases but sharing a new common language based on programming and digital thinking generates in the cyclic nature of the relationship between the analogue-digital-analogue dimensions, a continuous flow of information that

a 10²¹ byte, circa 180 milioni di volte le informazioni raccolte nelle documentazioni conservate presso la Biblioteca del Congresso di Washington, riconosciuta come la più grande biblioteca esistente con oltre 158 milioni di documenti custoditi.

³ Ciò è avvenuto, essenzialmente, attraverso processi di estrapolazione e generalizzazione che hanno permesso di raccogliere e trasmettere informazioni, traducendo la realtà in una forma semplificata e ridotta, adatta ai limiti di registrazione e trasmissione dei mezzi di comunicazione disponibili. Dati e informazioni sono stati formalizzati in un modello teorico solitamente regolato da una relazione causa effetto espressa tramite sillogismi, funzioni matematiche o equazioni, con cui è possibile dedurre e prevedere eventi omologhi. La notazione $y = f(x)$, ad esempio, descrive le relazioni tra il numero infinito di punti necessari per produrre una linea a tutte le scale possibili: in luogo di un elenco abnormemente lungo di coordinate cartesiane, la notazione alfanumerica elementare consente di ricalcolare le coordinate di tutti i punti che indicizza.

⁴ Il programma interpreta i dati ed esprime dei requisiti che permettono di orientare la direzione, la forza e l'azione delle variabili stesse, come ad esempio aprire, chiudere, scorrere, ecc.

⁵ In merito alla dimensione comunicativa, e pur nell'invarianza del processo computazionale, a prevalere sono principalmente componenti di luce e suono, in luogo dei più classici cinematicismi “meccanici”.

⁶ Applicazioni che aggiungono funzionalità avanzate al *software* di base.

⁷ Particolare attenzione è in tal senso rivolta al mondo della biologia per l'interesse alle varie forme di comportamento che gli organismi naturali attuano nella relazione con l'ambiente.

interfaces the moment of ideation to the moment of processing and construction of an architecture.

In summary, the main strength of responsive morphologies is to re-ontologise reality and open architecture to references outside its domain⁷. However, their experimentation today still suffers from several disciplinary rigidities that confine their acceptance mainly to the sphere of research, where these enabling technologies of the digital matrix are consciously tolerated, in particular, and again in the words of Floridi (2017): «when this does not produce relevant consequences or when it is a temporary solution while waiting to design a better design».

ATTRIBUZIONE

The paper is the result of a collective work. In its editing, Giorgio Buratti has

especially edited the paragraph “*Design by data*” and Attilio Nebuloni the paragraphs “*Responsive artefacts and the role of digital interfaces*” and “*Towards a return to the real*”. The other parts of the text are the result of shared work between the two authors.

NOTES

¹ Consider, for example, how until a few decades ago libraries were still essentially the only place to find information, whether for study, profession or recreation. The availability of information and its sources was tied to physical media, books, which characterised the library according to the nature of the collection and its internal consistency. If the desired information was not available, it was a must to travel to a new library or wait for a book to be shipped, to travel locally in the case of a rare tome, or to forgo the information sought.

REFERENCES

Bonsiepe, G. (1995), *Dall'oggetto all'interfaccia: mutazioni del design*, Feltrinelli, Milano.

Buratti, G. (2017), "Il disegno computazionale. La forma come organizzazione", in Nebuloni, A. and Rossi, A. (Eds.), *Codice e Progetto. Il computational design tra architettura, design, territorio, rappresentazione, strumenti, materiali e nuove tecnologie*. Mimesis Edizioni, Milano.

Cabitza, F. (2021), "Deus in machina? L'uso umano delle nuove macchine, tra dipendenza e responsabilità", in Floridi, L. and Cabitza, F. (Eds.), *Intelligenza Artificiale. L'uso delle nuove macchine*, Bompiani, Milano.

Carpo, M. (2017a), "Building with geometry, drawing with numbers", in Goodhouse, A. (Ed.), *When is the digital in architecture?*, Sternberg, Berlin.

Carpo, M. (2017b), *The second digital turn. Design Beyond Intelligence*, the MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Corbellini, G. (2013), "Ultimo tango a Zagorol", in Corbellini, G. and Morassi, C. (Eds.), *Parametrico nostrano*, Lettera ventidue, Siracusa.

Floridi, L. (2017), *La quarta rivoluzione. Come l'infosfera sta trasformando il mondo*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Floridi, L. (2021), "Agere sine Intelligere. L'intelligenza artificiale come nuova forma di agire e i suoi problemi etici", in Floridi, L. and Cabitza, F. (Eds.), *Intelligenza Artificiale. L'uso delle nuove macchine*, Bompiani, Milano.

Frazer, J. (1995), *An Evolutionary Architecture*. London, AA Press.

Nebuloni, A. and Vignati, G. (2020). "Design data-driven e movimento. Un approccio metodologico alla progettazione", in Perriccioli, M., Rigillo, M., Russo Ermolli, S. and Tucci, F. (Eds.), *Design in the Digital Age. Technology, Nature, Culture*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.

Rossi, A. (2017), "Architettura come interfaccia", in Nebuloni, A. and Rossi, A. (Eds.), *Codice e Progetto. Il computational design tra architettura, design, territorio, rappresentazione, strumenti, materiali e nuove tecnologie*. Mimesis Edizioni, Milano.

Speed, C. and Oberlander, J. (2016). "Designing from, with and by Data: Introducing the ablative framework", in Lloyd, P. and Bohemia, E. (Eds.), *Proceedings of DRS2016*, Brighton.

² The volume of data currently committed in the world is about 40 zettabytes/year and follows an ever-increasing trend. One zettabyte corresponds to 10^{21} bytes, about 180 million times the information collected in the records held in the Library of Congress in Washington, recognised as the largest existing library with more than 158 million records held.

³ This was essentially done through processes of extrapolation and generalisation that allowed information to be collected and transmitted, translating reality into a simplified and reduced form suited to the recording and transmission limitations of the available media. Data and information have been formalised into a theoretical model usually governed by a cause-and-effect relationship expressed through syllogisms, mathematical functions or equations, with which ho-

mologous events can be inferred and predicted. The notation $y = f(x)$, for example, describes the relationships between the infinite number of points required to produce a line at all possible scales: in place of an abnormally long list of Cartesian coordinates, the elementary alphanumeric notation allows the coordinates of all the points it indexes to be recalculated.

⁴ The program interprets the data and expresses requirements to guide the variables' direction, force, and action, such as open, close, slide, etc.

⁵ In terms of the communicative dimension, and despite the invariance of the computational process, it is mainly light and sound components that prevail instead of the more classical "mechanical" cinematics.

⁶ Applications that add advanced functionality to the basic software.

⁷ Special attention is thus given to

the world of biology for its focus on the various behavioural patterns that natural organisms implement in their relationship with the environment.