

IL CORPO FISICO DELL'ARCHITETTURA INTERATTIVA

Approcci scenario-based e generativo

THE BODY OF INTERACTIVE ARCHITECTURE

Scenario-based and generative approaches

Bianca Andaloro

ABSTRACT

La complessità della realtà, insieme fisica e virtuale, nella quale siamo immersi richiede una riflessione su come realizzare una integrazione tra il mondo del digitale e l'architettura contemporanea. In particolare, l'articolo intende esplorare il modo in cui le informazioni virtuali possano divenire materie progettuali, intervenendo anche sui caratteri spaziali e formali del costruito. Pertanto si tratteranno due diversi approcci nelle architetture interattive, uno scenario-based e un altro generativo, capaci di stabilire i confini fisici della relazione tra architettura e informazioni. Jade Eco Park, Translated Geometries e One Ocean Pavilion offrono una diversa chiave di lettura del rapporto tra uomo, edificio e ambiente circostante, in una relazione meta-testuale tra fisico e virtuale che richiama l'architettura contemporanea a una riflessione sulle potenzialità di questo fenomeno.


The complexity of reality, both physical and virtual, in which we are immersed requires a reflection on how to achieve integration between the digital world and contemporary architecture. In particular, the article intends to explore the way in which virtual information can become design material, also intervening on the spatial and formal characteristics of the built environment. Therefore, two different approaches in interactive architectures will be discussed, one scenario-based and the other generative, capable of establishing the physical boundaries of the relationship between architecture and information. Jade Eco Park, Translated Geometries and One Ocean Pavilion offer a different key to interpreting the relationship between man, building and surrounding environment, in a meta-textual relationship between the physical and the virtual that calls contemporary architecture to reflect on the potential of this phenomenon.

KEYWORDS

architettura interattiva, adattiva, resiliente, big data, informazioni

interactive, adaptive, resilient architecture, big data, information

Bianca Andaloro, Architect and PhD Candidate in Architectural Planning at the University of Palermo (Italy), has been a member of the In_Fra lab Research Unit since 2016. Her research focuses on resilience through adaptive architecture and digital systems. Mob. +39 347/57.15.617 | E-mail: bianca.andaloro@unipa.it

 Nel 1995 Nicholas Negroponte scrisse «Computing is not about computers any more. It is about living» (Negroponte, 1995, p. 6) in un volume che per molti versi anticipò lo sviluppo tecnologico degli anni successivi, a metà tra la visione e l'attuale ricerca del Media Lab del MIT, con cui l'informatico statunitense sosteneva la possibilità di integrare i sistemi digitali all'architettura, fiducioso in una quasi perfetta corrispondenza tra atomi e bit. E in effetti oggi il digitale non riguarda più esclusivamente l'informatica ma è fortemente integrato al quotidiano, al confine tra il mondo fisico e quello virtuale. La complessità del digitale ha infatti messo in atto negli anni una trasformazione silente e rapida, a vantaggio di una interrelazione tra aspetti in continuo cambiamento: il mondo contemporaneo si presenta così insieme ubiquo e iperlocale, interconnesso e individuale, digitale, fisico e virtuale. L'architettura ha inoltre con il digitale un rapporto di convivenza consolidato già a partire dalle teorizzazioni di Norbert Wiener (1948) sulla necessità di una sintesi tra biologia, neurofisica, teorie informazionali e strumenti matematici e poi con la successiva formalizzazione della capacità dell'architettura di acquisire i processi digitali (Negroponte, 1995) che in un primo momento ha dato luogo a esperimenti cibernetici.

Le recenti innovazioni in materia di intelligenza artificiale e robotica inoltre, elementi mancanti per una piena comprensione della complessità prefigurata dall'informatico statunitense (d'Estrée Sterck, 2005), connotano un sempre maggiore interesse per l'integrazione tra architettura e tecnologia, nella prefigurazione di scenari speculativi sui modi dell'abitare del prossimo futuro. Il valore aggiunto che l'attuale ricerca progettuale apporta però risiede nell'interesse per l'identificazione di sistemi che siano complessi e interconnessi, lontani dalla frammentazione della relazione tra architettura e tecnologia per settore rilevata da Sigfried Giedion (1948) all'inizio degli anni Cinquanta del Novecento¹. La sua lettura si fonda infatti principalmente sulla comprensione della 'anonymous history', tralasciando, senza intenzionalità dichiarata ma piuttosto per una mancanza di visione, l'insieme collettivo che oggi si rivela centrale.²

Alla repentina evoluzione tecnologica che si è susseguita negli ultimi decenni in fatto di materiali e processi si deve giustapporre la conseguente e sempre più rapida e diffusa produzione e accumulazione di dati (personali, collettivi e ambientali) che potremmo considerare come un primo momento di astrazione della realtà fisica nella quale viviamo (Kitchin, 2014). La Quarta Rivoluzione di cui parla Floridi, introducendo il termine di uomo 'inforge' e il concetto di 'infosfera' (Floridi, 2020), chiarisce la tensione dell'uomo verso una realtà governata dall'informazione, in cui la capacità di fare è diventata superiore a quella di prevedere gli effetti delle proprie azioni (Galimberti, 2011). Con l'introduzione e il perfezionamento dell'automazione, l'informatica ha inoltre introdotto la possibilità di sviluppare protocolli secondo regole e principi propri della scienza informatica, trasformandoli in informazioni e azioni progettuali. In questa ottica, è possibile affermare che la trasposizione in architettura di questi elementi propri del digitale ha contribuito a modificare, alterandoli, alcuni caratteri

architettonici, definendo così costruzioni insieme fisiche e virtuali. In particolare, risulta interessante riflettere sui caratteri di multi-matericità (attraverso l'uso di dati o processi di realtà virtuale), multi-temporalità (prevedendo spazi accessibili fisicamente e/o remotamente e in diversi momenti del giorno) e multi-scalarità (dettata dalla necessità di costituire un sistema complesso che funziona grazie alla relazione tra elementi compresi tra le scale nano e macro).

A tal fine, l'articolo si propone di approfondire l'architettura interattiva come il risultato, dal potenziale in continua espansione, di una stretta interrelazione tra architettura e tecnologica. Attraversando brevemente i due temi cardine di questa architettura, la centralità dei dati nel percorso euristico e l'interazione come occasione per sviluppare relazioni tra l'edificio, l'ambiente e l'utente, si prenderanno in esame alcuni casi studio esemplari che mettono in evidenza le potenzialità e i limiti di questo approccio. Infatti, questa trasformazione, ancora in atto, si basa sulla centralità del ruolo dei dati, captati ed estratti dal mondo circostante (dall'ambiente, dalle persone, dai dispositivi) e sui relativi limiti e aspetti potenziali; allo stesso tempo, si ritiene possibile rendere i dati una materia altra da sé, insieme elemento di comprensione della realtà e materia architettonica.

Il ruolo dei dati | Elementi di controllo e monitoraggio della realtà fisica nella quale viviamo, i dati costituiscono uno specchio della società e dei suoi bisogni (Picon, 2010). Oggi la raccolta dei dati biometrici, ambientali e di movimento accomuna la gran parte dei dispositivi quotidiani, in cambio di una maggiore performatività la quale sembra assecondare i bisogni dell'utente: in che modo può dunque l'architettura servirsi di questo impalcato così vasto ed eterogeneo? A fronte di un largo uso dei dati nella progettazione urbana di tipo parametrico, che evidenzia la continuità del rapporto tra i sistemi di progettazione digitali e le tecnologie più avanzate, per comprendere in che modo essi possano costituire un elemento centrale nella progettazione architettonica è fondamentale capire qual è il loro apporto in termini epistemologici.

Ackoff (1989) e, in tempi più recenti, Kitchin (2014) hanno affrontato la questione definendo i dati quali elementi grezzi, prodotto di un'astrazione del mondo fisico in categorie (intese quali forme rappresentative, numeri, simboli, immagini, suoni, etc.), privi dunque di qualsiasi significato proprio, eppure entrambi riflettono sulla centralità dei dati stessi e sul ruolo che essi ricoprono nel percorso verso la conoscenza. Il ruolo dei dati è centrale al giorno d'oggi proprio nel percorso di conoscenza che l'uomo applica per comprendere (eco)sistemi estranei ed eterogenei. Se si comprende dunque il passaggio da dati a informazioni, da significante a significato (includendo anche la possibilità di fare uso di database capaci di definire cluster di informazioni), allora si potranno definire 'dati con uno scopo' anche come elementi costitutivi del progetto di architettura (Fig. 1) e l'astrazione dei fenomeni naturali della realtà fisica diventa dato da elaborare per essere interpretato e produrre conoscenza (Kitchin, 2014).

È necessario evidenziare come, al di là del

valore epistemologico dei dati, le maggiori compagnie attive sul mercato (tra le più influenti Google, Apple, Alphabet e Microsoft) hanno nel corso degli ultimi decenni implementato i loro sistemi di raccolta, stoccaggio ed elaborazione dati per mettere a sistema dispositivi differenti tra loro (Fox, 2016). Alla base di questa tecnologia, che mira dunque a soddisfare i bisogni degli utenti o degli ambienti coinvolti, vi è il concetto di interattività, di scambio cioè di informazioni tra un dispositivo e un utente e viceversa, in una relazione duale che può prefigurare condizioni di apprendimento (d'Estrée Sterk, 2006). Sfruttare un tale avanzamento tecnologico anche in ambito architettonico può avere importanti ripercussioni sul modo di pensare e realizzare il progetto, come è già stato dimostrato a partire dalle prime sperimentazioni cibernetiche e come si verifica oggi attraverso i più recenti sistemi informatici, estratti dal mondo della computazione digitale e adottati nei processi progettuali³. La problematica che l'architettura contemporanea è oggi chiamata ad affrontare è dunque quella di individuare un modo per integrare questa grande mole di dati nel percorso vitale dell'edificio e di renderla performante per il suo funzionamento, in un contesto ibrido, fisico e virtuale.

Interazione come relazione | La ricerca di una più complessa relazione tra l'uomo, l'edificio e l'ambiente include anche la progettazione di un'architettura capace di confrontarsi (in maniera attiva o passiva) con le sollecitazioni ricevute dall'esterno; in questa ottica, l'architettura interattiva risulta un vettore di ricerca trainante per l'individuazione di nuove possibili relazioni fisiche e virtuali (Hespanhol et alii, 2017). L'interazione non va intesa limitatamente al singolo rapporto uomo-dispositivo/ambiente/edificio, ma in una visione più ampia che include un ecosistema di oggetti, ambienti ed edifici interconnessi tra di loro in un unico ecosistema (Fox, 2016). Pertanto, progettare un tale complesso sistema di relazioni rende necessario comprendere quale ruolo esse possano ricoprire nel progetto architettonico, definendo in questo modo il loro corrispondente corpo fisico: possono essere usati come informazioni in continuo aggiornamento oppure in combinazione tra di essi per produrre delle previsioni.

Sulla base di questa distinzione è possibile identificare due approcci differenti attraverso i quali il progetto si esprime: il primo di tipo scenario-based e il secondo di tipo generativo; il primo utilizza i dati raccolti a priori nell'ambiente per determinare e stimare delle condizioni tipiche o ricorrenti in un determinato luogo o in una specifica circostanza: degli scenari appunto, per elaborare un numero specifico di potenziali configurazioni spaziali o ambientali. Questo approccio permette la progettazione di un sistema interattivo di facile sviluppo (grazie alla facilità di riferimento di molti dati, soprattutto ambientali) e di verifica tramite processi di feedback loop durante l'intera fase di progettazione e messa in opera del progetto (Rosson and Carroll, 2002). Il secondo approccio invece prevede l'utilizzo di dati captati, elaborati e trasmessi in tempo reale tra i sistemi di input e output dell'edificio; in questo modo non è possibile determinare a priori delle condizioni attese, ma soltanto dei vincoli che permettono all'edificio di rispondere agli sti-

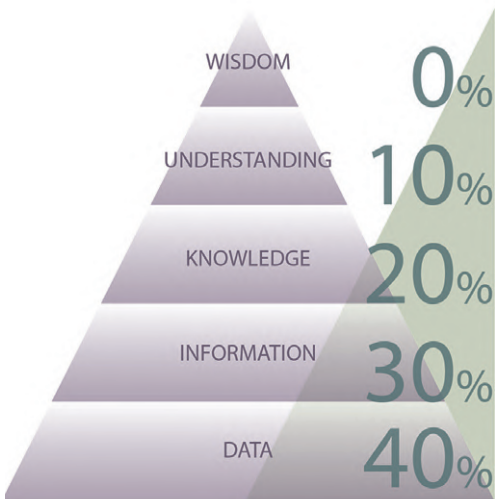


Fig. 1 | Structure of the human mind in the knowledge process (source: Ackoff, 1989).

Fig. 2 | Blur Building (2002) in Yverdon-les-Bains by Diller and Scofidio (source: dsrny.com).

moli ricevuti. Facendo inoltre uso delle più recenti tecnologie di Learning Machine l'edificio sarebbe in grado di comprendere i dati ricevuti e imparare dagli scenari precedenti.

I paragrafi che seguono mostreranno i limiti e le potenzialità dei due approcci progettuali attraverso degli esempi realizzati o in fase di prototipo, per comprendere quali implicazioni in termini fisico-spaziali (coinvolgendo forma, posizione e proprietà fisiche) l'architettura interattiva (o responsiva o adattiva) possa generare.

Progettare scenari possibili | Un primo embrionale esempio dell'approccio scenario-based va letto nelle sperimentazioni dello studio Diller and Scofidio, e in particolare nel Blur Building, Padiglione per l'Expo02 di Yverdon-les-Bains realizzato nel 2002, il primo edificio a dare consistenza fisica a una informazione virtuale (Fig. 2). Tramite la complessa rete di ugelli distribuiti lungo il perimetro dell'edificio, il sistema, che regola la connessione tra i sensori posti sul Lago Neuchâtel e gli attuatori, traduce in vaporizzazioni acquee i dati captati circa il tasso di umidità dello specchio d'acqua. Questi dati, elaborati in tempo reale, definiscono la facciata dell'edificio che ne è appositamente sprovvisto, suggerendo un cambio di prospettiva attorno al tema centrale del 'guardare'; se i visitatori si aspettano di vedere qualcosa una volta giunti al Padiglione, quello che vedranno è 'spectacularly (about) nothing' (Marotta, 2005), eppure saranno coscienti dei cambiamenti ambientali del sito che li circonda.

Qualche anno più tardi, ma all'interno di un filone di ricerca che mette insieme l'architettura e

le condizioni climatiche contingenti come motore di definizione formale della forma architettonica⁴, attraverso la progettazione meteorologica⁵, l'architetto svizzero Philippe Rahm offre un interessante esempio di applicazione dell'approccio interattivo scenario-based. In particolare, con il Jade Eco Park, progetto paesaggistico e architettonico per un parco di 70 ettari sul sito del vecchio aeroporto dell'isola di Taiwan. Per offrire una soluzione al clima tropicale umido della regione di Taichung, così come all'alto tasso di umidità dell'area fortemente urbanizzata, il progetto del Jade Eco park mira a ricreare degli spazi aperti dove queste condizioni critiche risultino attenuate, a favore di un migliore confort dei visitatori: la problematica ambientale, il clima in questo caso, diventa così il punto di vista determinante del progetto e il cuore delle elaborazioni computazionali necessarie per la sua realizzazione.

Grazie a un sistema di simulazione fluidodinamica computazionale (CFD) è stato infatti possibile elaborare tre mappature a gradazione dell'intera area basati su specifici parametri: le zone calde, le zone umide e quelle inquinate (Figg. 3-5). In questo modo i dati rilevati forniscono tre differenti visioni del sito di progetto, elaborate a partire da dati rilevati in condizioni ricorrenti. Dalla sovrapposizione delle tre elaborazioni, risultante in una spazialità inedita e casuale, è possibile determinare i dispositivi architettonici e naturali capaci di modificare la percezione delle condizioni climatiche a beneficio dei visitatori (Fig. 6). Si determina in questo modo una relazione indiretta tra il progetto e l'ambiente circostante, tale definire specifici dispositivi spaziali, siano essi costruiti o naturali. Tali dispositivi si articolano in tre categorie e forniscono lungo tutta l'estensione del parco, nei punti più critici, una soluzione migliorativa in termini di raffrescamento⁶, deumidificazione⁷ e disinquinamento⁸. Attraverso l'approccio scenario-based dunque il dato virtuale diventa strumento di progettazione che definisce una serie di dispositivi climatici (Philippe Rahm Architectes, 2017) che intervengono sulle condizioni esistenti, modificandole.

Progettare l'aleatorio | La progettazione generativa, come anticipato, mostra il suo carattere di interattività già nel suo iniziale processo di definizione, attraverso l'uso di continue relazioni tra parametri e vincoli, capaci di generare soluzioni formali e strutturali molto complesse. Il ruolo del dato (nello specifico ambito dell'architettura interattiva, rilevato dall'esterno) immesso nel sistema è nuovamente centrale nel processo e può essere utilizzato sia nella sua forma statica che dinamica. In questo modo dunque non solo l'edificio è progettato per comprendere il dato reale, ma anche per comprenderlo attraverso sistemi di Machine Learning; in questo aspetto risiede il valore predittivo del processo, che si presta alla progettazione di architetture capaci anche di adattarsi ai cambiamenti dell'ambiente esterno (Antonini, 2019), imparando da esso.

Un esempio di questo approccio è One Ocean Pavilion, padiglione tematico progettato dallo studio austriaco SOMA per l'Expo 2012 in Yeosu (Corea del Sud): l'edificio richiama nella for-

ma l'ambiente marino cui la città è strettamente legata anche attraverso la scelta di un sistema di lamelle mobili, poste sulla facciata principale dell'edificio (Fig. 7), la cui realizzazione in polimeri rinforzati con fibre di vetro è frutto di una collaborazione con l'Università ITKE di Stoccarda, nell'ambito di una ricerca congiunta sull'applicazione di meccanismi biologici alla scala architettonica⁹. Il sistema di facciata, realizzato attraverso modellazione parametrica, permette un miglioramento delle condizioni di ventilazione e raffrescamento interno grazie al movimento delle lamelle, collegate tramite un sistema informatico a degli attuatori. Come in un paradigma swarm (Oosterhuis, 2006), ogni lamella è collegata individualmente a un attuatore, così che il sistema possa agire su un singolo elemento o sull'intera facciata. Gli attuatori, posti alle estremità degli elementi, rispondono al variare della temperatura esterna e dei venti cui l'edificio è particolarmente esposto, modificandone l'apertura, l'inclinazione e la rotazione per un migliore comfort interno (Figg. 8, 9).

Un altro esempio di questo approccio è Translated Geometries, progetto sperimentale elaborato all'interno dell'Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) nel 2014; realizzato attraverso prototipi di diversa scala, il sistema adattivo progettato utilizza uno schema modulare che richiama i lavori dell'artista Ron Resch¹⁰ per definire un sistema capace di modificare la sua forma sulla base di sollecitazioni esterne quali calore, umidità e illuminazione. Il sistema, proposto sia come elemento verticale (facciata) sia come elemento orizzontale (copertura), ma più genericamente come involucro, è composto da un reticolo strutturale in SMP (Shape Memory Polymer) al quale sono ancorati degli attuatori capaci di innescare meccanismi di espansione e compressione in base alle informazioni rilevate (Figg. 10, 11). Il progetto, ispirato alle ricerche sui materiali shape-shifting del MIT¹¹ ha ulteriormente testato le potenzialità del sistema di essere costituito da reticoli singolarmente autonomi (Fig. 12), capaci di modificare l'involucro nelle sue singole parti o nella sua totalità.

Entrambi questi esempi mostrano le potenzialità di un sistema generativo che fa uso di dati reali in costante aggiornamento nella definizione non tanto di singoli elementi tecnologici, quanto piuttosto di diverse configurazioni spaziali che l'edificio può definire nell'interazione con i suoi utenti e con l'ambiente esterno. Inserire i dati virtuali nella progettazione dunque permette ancora una volta una più consapevole comprensione del fenomeno naturale e la definizione di relazioni spaziali inedite.

Conclusioni | A partire dalla lettura degli esempi discussi è possibile comprendere in che modo una ricerca basata su una nuova relazione tra edificio, ambiente e utente possa oggi costituire un elemento di rilievo nella progettazione della contemporaneità. La complessità proposta dall'architettura interattiva, al limite tra il fisico e il digitale, permette infatti di immaginare un cambio di paradigma nel processo di elaborazione del progetto di architettura, antepo-
nendo la personalizzazione alla standardizzazione e la variabilità alla serialità, ma le condizioni, che al giorno d'oggi regolano i processi economici, generano

la difficoltà di applicazione di questi sistemi alla grande scala.

Come dimostrano i casi citati, la progettazione adattiva, identificata come l'evoluzione delle varianti responsive e interattive (Elmokadem et alii, 2018), risulta ancora un ambito di esplorazione scientifica, a opera principalmente di unità di ricerca tecnologicamente molto specializzate. A fronte di questo limite però, si rileva la grande facilità di distribuzione dei processi tecnologici attraverso sistemi spesso open source che rendono accessibili i software di sviluppo computazionale. Inoltre, la multi-matericità che i progetti interattivi mettono in pratica, giustifica un continuo scambio di conoscenze tra ambiti di ricerca e prototipazione diversi tra loro (dove architettura, scienze, tecnologia ed etica convivono), rendendo possibile in un futuro prossimo la diffusione alla grande scala di sistemi di progettazione interreattiva, responsiva e adattiva.

La scelta poi di un approccio strutturato sulla base dell'utilizzo di dati pre-definiti (scenario-based) o captati in tempo reale (predittivo, generativo), permette l'applicazione dell'interattività alle diverse scale architettoniche, a partire dallo spazio pubblico (ambito in cui essa è ampiamente radicata) fino alla scala dell'edificio. Con questa finalità inoltre si ritiene possibile prefigurare scenari progettuali in cui l'architettura adattiva possa assolvere allo scopo di progettare per fini resilienti, fornendo un valido contributo ai coevi cambiamenti ambientali.

In conclusione, la ricerca di una interazione tra edificio, ambiente esterno e utente, può costituire un potente strumento di conoscenza che il progetto può controllare e gestire, arricchendosi di materiali digitali e processi computazionali. A partire dall'integrazione dei dati tra le materie architettoniche, è oggi compito dei progettisti sapere leggere le potenzialità dei sistemi in-

terattivi per definire 'nel progetto' e 'attraverso il progetto' nuove relazioni fisiche e virtuali. Agendo dunque sulle invarianti architettoniche al fine di creare una relazione meta-testuale con il mondo virtuale delle informazioni, si può rendere possibile una piena integrazione dell'edificio con sistemi di larga scala: definendo la connessione tra il fisico e il virtuale, questa può costituire un elemento cardine per un consapevole avanzamento di conoscenza a beneficio dell'uomo.

In 1995, Nicholas Negroponte wrote «Computing is not about computers any more. It is about living» (Negroponte, 1995, p. 6) in a volume that in many ways anticipated the technological development of the following years, somewhere between the vision and the current research of the MIT Media Lab. Negroponte argued that it was possible to integrate digital systems into architecture, confident in an almost perfect correspondence between atoms and bits. In fact, today the digital world is no longer exclusively about information technology, but is strongly integrated into everyday life, on the borderline between the physical and virtual worlds. Over the years, the complexity of the digital world has in fact brought about a silent and rapid transformation, to the benefit of an interrelationship between constantly changing aspects: the contemporary world is thus both ubiquitous and hyperlocal, inter-connected and individual, digital, physical and virtual. Furthermore, architecture has a well-established relationship with the digital since Norbert Wiener's (1948) theories on the need for a synthesis between biology, neurophysics, information theories and mathematical tools, and then with the later formalisation of the ability of architecture to acquire digital process-

es (Negroponte, 1995), which initially gave rise to cybernetic experiments.

Recent innovations in the field of artificial intelligence and robotics, missing elements for a full understanding of the complexity foreshadowed by the American computer scientist (d'Estree Sterck, 2005), connote an increasing interest in the integration between architecture and technology, in the prefiguration of speculative scenarios on the ways of living in the near future. The added value that current design research brings, however, lies in the interest in identifying systems that are complex and interconnected, far from the fragmentation of the relationship between architecture and technology by sector noted by Sigfried Giedion (1948) at the beginning of the 1950s¹. His reading is in fact based mainly on the understanding of the 'anonymous history', leaving out, without any discernible intention but rather due to a lack of vision, the collective whole that today reveals itself to be central.²

In addition to the rapid technological development of materials and processes over the last few decades, there is also the consequent and increasingly rapid and widespread production and accumulation of data (personal, collective and environmental), which could be considered as a first state of abstraction of the physical reality in which we live (Kitchin, 2014). The Fourth Revolution of which Floridi speaks, introducing the term 'infor' man and the concept of 'infosphere' (Floridi, 2020), clarifies the human tension towards a reality governed by information, where the ability to do has become superior to the ability to foresee the effects of one's actions (Galimberti, 2011). With the introduction and refinement of automation, computer science has also introduced the possibility of developing protocols according to the rules and principles of computer science, transforming them into in-

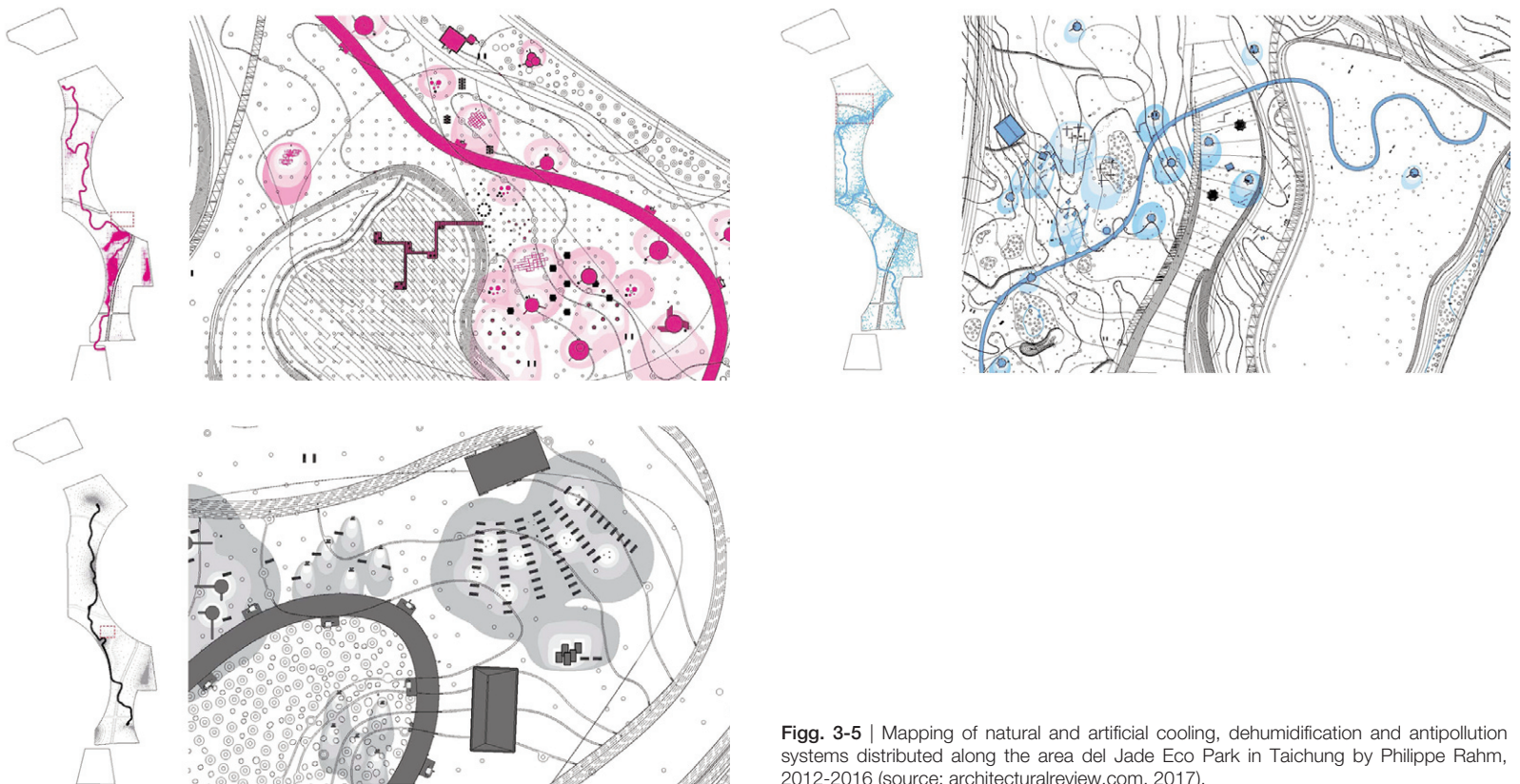


Fig. 3-5 | Mapping of natural and artificial cooling, dehumidification and antipollution systems distributed along the area del Jade Eco Park in Taichung by Philippe Rahm, 2012-2016 (source: architecturalreview.com, 2017).

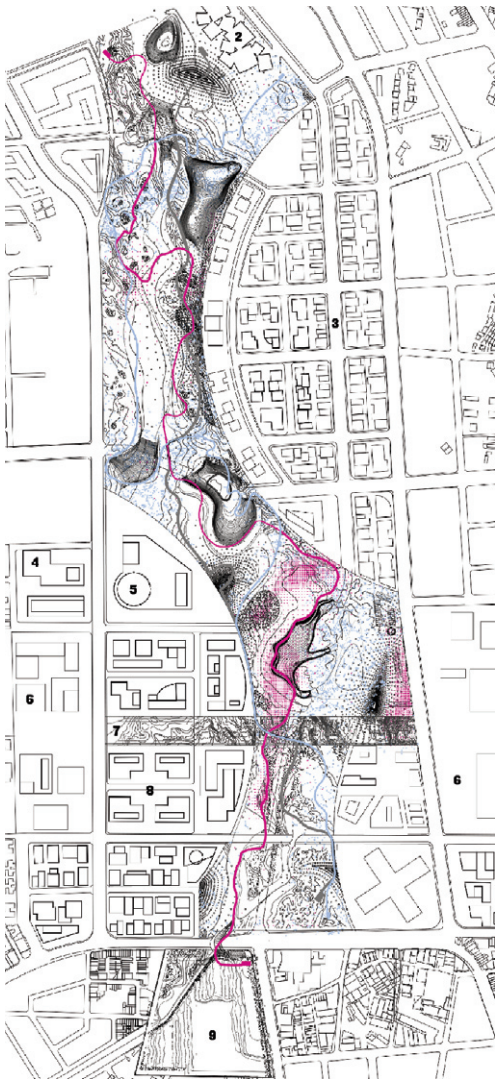
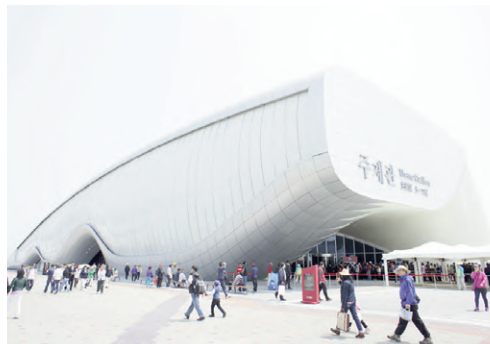


Fig. 6 | Overlapping of the three mappings for the final definition of the Jade Eco Park project (source: architecturalreview.com, 2017).

Figg. 7-9 | Detail of the slats on the façade of One Ocean Pavilion (2012) in Yeosu by soma architects, and two of its different configurations (source: transsolar.com, 2015; soma-architecture.com, 2015).



ta as raw elements, the product of an abstraction of the physical world into categories (understood as representative forms, numbers, symbols, images, sounds, etc.), thus lacking any meaning of their own. Yet they both reflect on the centrality of data itself and the role it plays in the journey towards knowledge. The role of data is central nowadays precisely in the knowledge path that man applies to understand foreign and heterogeneous (eco)systems. If one understands the transition from data to information, from signifier to signified (including the possibility of making use of databases capable of defining information clusters), then ‘data with a purpose’ can also be defined as constituent elements of architectural design (Fig. 1). The abstraction of natural phenomena of physical reality, therefore, becomes data to be processed in order to be interpreted and produce knowledge (Kitchin, 2014).

It is necessary to highlight how, beyond the epistemological value of data, the major companies active on the market (among the most influential Google, Apple, Alphabet and Microsoft) have over the last decades implemented their data collection, storage and processing systems to systemise different devices (Fox, 2016). Underlying this technology, which thus aims to meet the needs of the users or environments involved, is the concept of interactivity, i.e. the exchange of information between a device and a user and vice versa, in a dual relationship that can prefigure learning conditions (d’Estrée Sterk, 2006). Exploiting such a technological advancement also in the architectural field can have important repercussions on the way of thinking and realizing the design, as it has already been demonstrated starting from the first cybernetic experiments and as it is verified today through the most recent computer systems, extracted from the world of digital computation and adopted in the design processes³. The problem facing contemporary architecture today is therefore that of identifying a way of integrating this vast amount of data of data into the building’s life cycle and making it perform well in a hybrid context, both physical and virtual.

Interaction as relation | The search for a more complex relationship between man, the building and the environment also includes the design of an architecture capable of dealing (actively or passively) with the solicitations received from the outside. In this perspective, interactive architecture is a leading research vector for the identification of new possible physical and virtual relationships (Hespanhol et alii, 2017). Interaction should not be understood limited to the single human-device/environment/building relationship, but in a broader vision that includes an ecosystem of objects, environments and buildings interconnected in a single ecosystem (Fox, 2016). Therefore, designing such a complex system of relationships makes it necessary to understand what role they can play in architectural design, thus defining their corresponding physical body: they can be used as continuously updated information or in combination with each other to produce predictions.

On the basis of this distinction, it is possible to identify two different approaches through which the project is expressed: the first is scenario-

formation and design actions. From this point of view, it is possible to state that the transposition of these digital elements into architecture has contributed to modifying and altering certain architectural features, thus defining constructions that are both physical and virtual. In particular, it is interesting to reflect on the characteristics of multi-materiality (through the use of data or virtual reality processes), multi-temporality (providing spaces accessible physically and/or remotely and at different times of the day) and multi-scalarity (driven by the need to constitute a complex system that operates thanks to the relationship between elements on the nano and macro scales).

To this end, the article aims to explore interactive architecture as the result, with its ever-expanding potential, of a close interrelationship between architecture and technology. By briefly going through the two key themes of this architecture, the centrality of data in the heuristic path and interaction as an opportunity to develop relationships between the building, the environment and the user, some exemplary case studies will be examined that highlight the potential and the limits of this approach. This transformation, still in progress, is based on the centrality of

the role of data, captured and extracted from the surrounding world (from the environment, from people, from devices) and its limits and potential aspects. At the same time, it is considered possible to make data a material other than itself, both an element of understanding reality and an architectural material.

The role of data | Elements of control and monitoring of the physical reality in which we live, data constitute a mirror of society and its needs (Picon, 2010). Today, the collection of biometric, environmental and movement data is common to most everyday devices, in exchange for greater performativity which seems to meet the needs of the user. So how can architecture make use of this vast and heterogeneous platform? Given the widespread use of data in parametric urban design, which highlights the continuity of the relationship between digital design systems and the most advanced technologies, in order to understand how they can constitute a central element in architectural design, it is essential to understand what their contribution is in epistemological terms.

Ackoff (1989) and, more recently, Kitchin (2014) have addressed this issue by defining da-

based and the second is generative. The former uses data collected a priori in the environment to determine and estimate typical or recurring conditions in a given place or circumstance: scenarios, to elaborate a specific number of potential spatial or environmental configurations. This approach allows the design of an interactive system that is easy to develop (due to the ease of retrieval of many data, especially environmental data) and to verify through feedback loop processes throughout the design and implementation phase of the project (Rosson and Carroll, 2002). The second approach uses data captured, processed and transmitted in real time between the input and output systems of the building. Thus, it is not possible to determine expected conditions a priori, but only constraints that allow the building to respond to the stimuli received. Using the latest Learning Machine technologies, the building would be able to understand the data received and learn from previous scenarios. Furthermore, by making use of the latest Learning Machine technologies, the building would be able to understand the data received and learn from previous scenarios.

The following paragraphs will show the limits and potentials of the two design approaches through realised or prototyping examples, to understand what implications in physical-spatial terms (involving shape, position and physical properties) the interactive (or responsive or adaptive) architecture may generate.

Designing possible scenarios | A first embryonic example of the scenario-based approach

can be found in the experiments of the Diller and Scofidio studio, and in particular in the Blur Building, the Pavilion for Expo02 in Yverdon-les-Bains realizzato nel 2002, the first building to give physical substance to virtual information (Fig. 2). Through the complex network of nozzles distributed around the perimeter of the building, the system, which regulates the connection between the sensors located on Lake Neuchâtel and the actuators, converts the data collected on the humidity level of the lake into water sprays. This data, processed in real time, defines the façade of the building, which is purposely not equipped with it, suggesting a change of perspective around the central theme of 'looking'. If visitors expect to see something when they arrive at the Pavilion, what they will see is 'spectacularly (about) nothing' (Marotta, 2005), yet they will be aware of the environmental changes in the site around them.

A few years later, but within a line of research that brings together architecture and contingent climatic conditions as an engine for the formal definition of architectural form⁴, through meteorological design⁵, Swiss architect Philippe Rahm offers an interesting example of application of the interactive scenario-based approach. In particular, with the Jade Eco Park, a landscape and architectural project for a 70-hectare park on the site of the old airport on the island of Taiwan. In order to offer a solution to the humid tropical climate of the Taichung region, as well as to the high humidity of the highly urbanised area, the Jade Eco park project aims to recreate open spaces where these critical conditions are miti-

gated, in favour of improved comfort for visitors. The environmental issue, climate in this case, thus becomes the determining point of view of the project and the heart of the computational elaborations necessary for its realisation.

Thanks to a computational fluid dynamics (CFD) simulation system, it was possible to elaborate three graded mappings of the entire area based on specific parameters: hot zones, wet zones and polluted zones (Fig. 3-5). In this way, the measured data provide three different visions of the project site, elaborated from data measured under recurrent conditions. From the superimposition of the three elaborations, resulting in an unprecedented and random spatiality, it is possible to determine the architectural and natural devices capable of modifying the perception of the climatic conditions to the benefit of the visitors (Fig. 6). In this way an indirect relationship between the project and the surrounding environment is determined, such as to define specific spatial devices, whether built or natural. These devices are divided into three categories and provide along the whole extension of the park, in the most critical points, an improved solution in terms of cooling⁶, dehumidification⁷ and de-pollution⁸. Through the scenario-based approach, therefore, the virtual data becomes a design tool that defines a series of climatic devices (Philippe Rahm Architectes, 2017) that intervene on the existing conditions, modifying them.

Designing the aleatory | Generative design, as anticipated, shows its character of interactivity already in its initial definition process, through

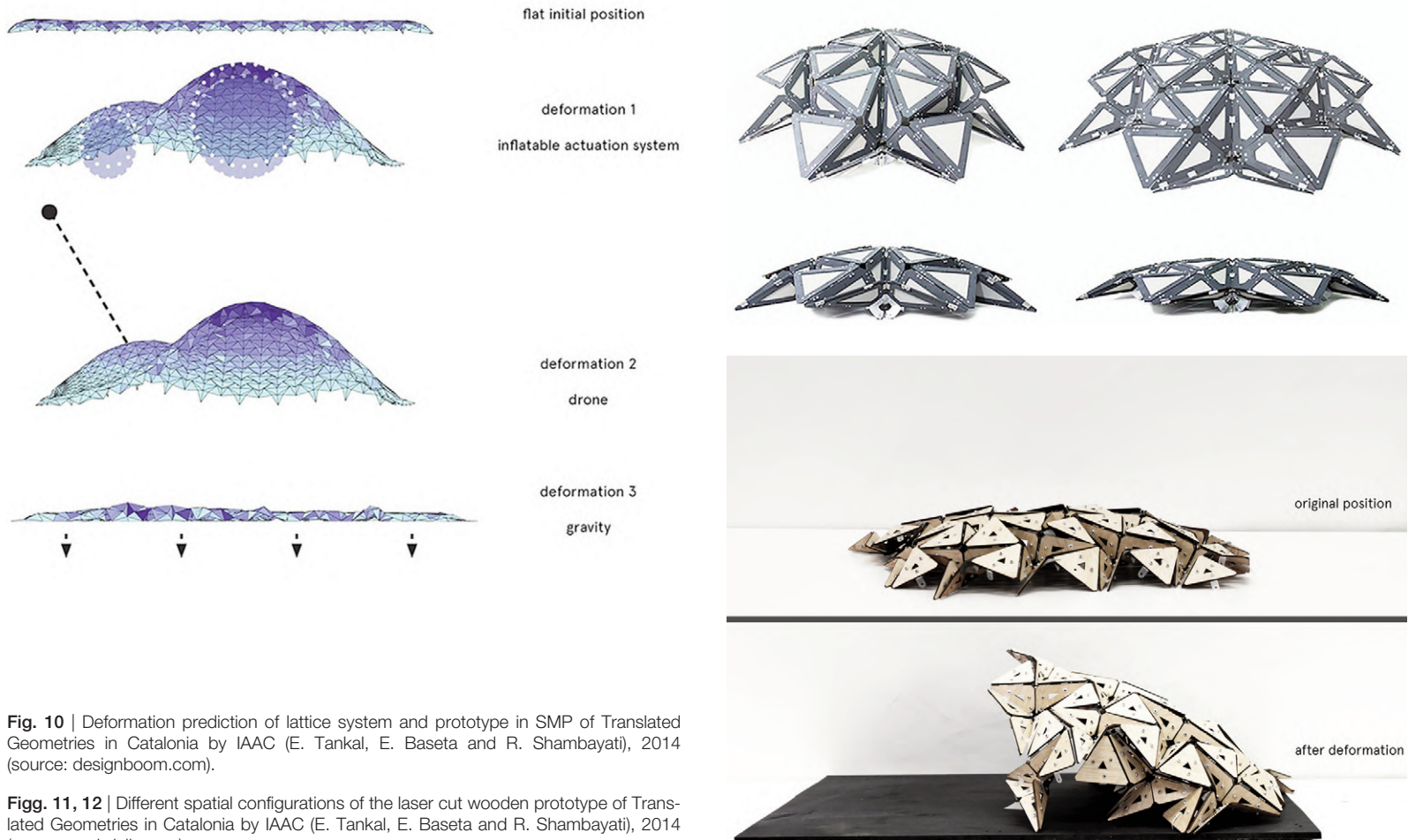


Fig. 10 | Deformation prediction of lattice system and prototype in SMP of Translated Geometries in Catalonia by IAAC (E. Tankal, E. Baseta and R. Shambayati), 2014 (source: designboom.com).

Figg. 11, 12 | Different spatial configurations of the laser cut wooden prototype of Translated Geometries in Catalonia by IAAC (E. Tankal, E. Baseta and R. Shambayati), 2014 (source: archdaily.com).



Fig. 13 | Hygroscope by ICD (M. Achim and S. Reichert, with Transsolar Climate Engineering GmbH), Centre Pompidou, 2012 (source: achimmenges.net, 2012).

Fig. 14 | Hygroskin (2013) by ICD (M. Achim, O. D. Krieg and S. Reichert), FRAC Centre Orleans (source: archdaily.com).



the use of continuous relationships between parameters and constraints, capable of generating very complex formal and structural solutions. The role of the data (in the specific field of interactive architecture, detected from the outside) introduced into the system is again central to the process and can be used both in its static and dynamic form. In this way, therefore, not only is the building designed to understand the real data, but also to understand it through Machine Learning systems. In this aspect lies the predictive value of the process, which lends itself to the design of architectures that are also able to adapt to changes in the external environment (Antonini, 2019), learning from it.

An example of this approach is One Ocean Pavilion, a thematic pavilion designed by Austrian studio SOMA for Expo 2012 in Yeosu (South Korea). The building's shape recalls the marine environment to which the city is closely linked, also through the choice of a system of movable slats placed on the building's main façade. The slats (Fig. 7), made of glass fibre reinforced polymers, are the result of a collaboration with the ITKE University of Stuttgart, as part of a joint research project on the application of biological mechanisms to the architectural scale⁹. The facade system, created using parametric modelling, improves internal ventilation and cooling through the movement of slats, which are connected by a computer system to actuators. As in a swarm paradigm (Oosterhuis, 2006), each slat is individually connected to an actuator, so that the system can act on a single element or on the whole facade. The actuators, placed at the ends of the elements, respond to changes in the external temperature and the winds to which the building is particularly exposed, modifying their opening, inclination and rotation for better internal comfort (Figg. 8, 9).

Another example of this approach is Translated Geometries, an experimental project developed within the Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) in 2014. Created through prototypes of different scales, the adaptive system designed uses a modular scheme that reminiscent of the works of artist Ron Resch¹⁰ to define a system capable of modifying its form on

the basis of external stresses such as heat, humidity and lighting. The system, proposed both as a vertical element (facade) and as a horizontal element (roof), but more generically as an envelope, is composed of a structural grid in SMP (Shape Memory Polymer) to which actuators are anchored, capable of triggering expansion and compression mechanisms based on the information detected (Figg. 10, 11). The project, inspired by research on shape-shifting materials at MIT¹¹ further tested the potential of the system to be made up of individually autonomous grids (Fig. 12), capable of modifying the envelope in its individual parts or as a whole.

Both of these examples show the potential of a generative system that makes use of constantly updated real data in the definition not so much of single technological elements, but rather of different spatial configurations that the building can define in its interaction with its users and the external environment. Inserting virtual data into the design therefore once again allows a more conscious understanding of the natural phenomenon and the definition of new spatial relationships.

Conclusions | By reading the examples discussed, it is possible to understand how research based on a new relationship between the building, the environment and the user can today constitute an important element in contemporary design. The complexity proposed by interactive architecture, on the borderline between the physical and the digital, makes it possible to imagine a paradigm shift in the process of designing architecture, putting personalisation before standardisation and variability before seriality. These conditions, which nowadays govern economic processes, introduce the difficulty of applying these systems on a large scale.

As the aforementioned cases show, adaptive design, identified as the evolution of responsive and interactive variants (Elmokadem et alii, 2018), is still an area of scientific exploration, mainly by technologically highly specialised research units. Against this limitation, however, we note the great ease of distribution of technological processes through often open source systems that make computational development software accessible. In addition, the multi-materiality that interactive projects bring into practice justifies a continuous exchange of knowledge between different research and prototyping fields (where architecture, science, technology and ethics coexist), making it possible in the near future for systems of interactive, responsive and adaptive design to be disseminated on a large scale.

The choice of a structured approach based on the use of pre-defined data (scenario-based) or data collected in real time (predictive, generative), allows the application of interactivity at different architectural scales, from public space (where it is widely rooted) to the scale of the building. With this aim, it is also considered possible to prefigure design scenarios in which adaptive architecture can fulfil the purpose of designing for resilient purposes, providing a valid contribu-

Fig. 15 | livMatS Pavilion (2021) by ICD/ITKE, University of Stuttgart (source: archdaily.com).

tion to contemporary environmental changes.

In conclusion, the search for an interaction between building, external environment and user, can be a powerful knowledge tool that the project can control and manage, enriching itself with digital materials and computational processes. Starting with the integration of data be-

tween architectural materials, it is now the task of designers to be able to interpret the potential of interactive systems to define new physical and virtual relationships in the project and through the project. By acting on architectural invariants to create a meta-textual relationship with the virtual world of information, it is possible to fully in-

tegrate the building with large-scale systems: by defining the connection between the physical and the virtual, this can be a key element for a conscious advancement of knowledge to the benefit of man.

Notes

1) «To control mechanization demands an unprecedented superiority over the instruments of production. It requires that everything be subordinated to human needs» (Giedion, 1948, p. 714).

2) Giedion (1948) focuses his research published in *Mechanization Takes Command* on the evolution of mechanisation and automation and their impact on the everyday sphere. He, therefore, emphasises from the outset the centrality of a portion of history that he considers fundamental for understanding society in different epochs. He refers here to the 'anonymous history', the history forgotten and omitted by historians that instead reveals all the most profound changes and innovations in technological and cultural terms. Elements such as domestic furnishings, sanitation systems, cultivation, slaughtering and cooling systems are part of his research on the subject. An entire chapter is devoted to the evolution of kitchen elements and the social repercussions of time-induced changes.

3) Starting with Wiener's research on cybernetics as a new science between mathematics and computer science, the figures of Gordon Pask, Cedric Price and John and Julia Frazer worked together on the application of the new discoveries in architecture. On the one hand, we saw the reintroduction of certain human faculties in the field of architecture: language, command, control and, above all, the ability to learn. On the other hand, an increasing number of computational elements and processes became an integral part of the design process, in particular flowcharts and feedback loops.

4) Reference is made here to Philippe Rahm's decades of research, which culminated in a doctoral thesis in 2021 entitled *Histoire de l'Architecture* at the Université Paris-Saclay (ComUE) in Paris and was supported by numerous meteorological projects.

5) The theme proposed by Philippe Rahm is part of a wider field of research linked to eco-based design, focusing on the relationship between architecture and the environment in a circular perspective of sustainability. His production, both cultural and material, concerns the conception of an innovative architecture that considers climate as a language for architecture through its meteorological transformations. Climatic phenomena such as convection, conduction or evaporation, for example, thus become new tools for architectural composition, in the light of recent and increasingly sudden climate changes which require a rethinking of design and construction methods. The Swiss architect's projects are therefore conceived between the micro-scale of the physiological and the macro-scale of the meteorological in a constant relationship between the building and the outside, proposing new ways of living and conceiving space.

6) In particular, cooling devices fall into six types: natural cooling, cooling, convective cooling devices, Anticyclone or Underground Breeze; conductive cooling devices, Night Light or Vertical Night; evaporative cooling devices, Stratus Cloud or Blue Sky Drizzle; and reflective cooling devices, Moon Light or Long Waves Filters.

7) In particular, dehumidification devices protect visitors from rainfall and reduce excess humidity in the air. They consist of 'natural shelters' made up of trees with dense foliage, 'mechanised devices' that absorb moisture

from the air through floating roots and finally 'artificial' dehumidification devices (Dry Cloud or Desert Wind) that use silicate gel to achieve the ideal condition.

8) The problem of pollution is central to the liveability of such a large site, located in a very dense urban fabric. The aim of the planned devices is not only to reduce air pollution, but also noise and mosquitoes.

9) Reference is made here to the strand of research conducted by the Institute for Computational Design (University of Stuttgart) on the possibility of defining a metereosensitive architecture, interactive with respect to environmental variations but through natural processes and materials that do not involve the use of mechanical or electronic controls to function (Menges and Reichert, 2015). In particular, the HygroScope (2012), Pad HygroSkin (2013) and livMatS Pavilion (2021) projects show the adaptation of static structures to different climatic stresses through material characteristics (Figg, 13-15).

10) Artist, computer scientist and geometer, Ron Resch contributed towards the end of the twentieth century to research into the experimentation of geometric forms capable of generating complex patterns and modifying surfaces in form. His research into the folding of geometric forms, contemporary with Gilles Deleuze's reflections on the reinterpretation of the Baroque, reveals the centrality of the theme of form as an element capable of generating numerous different morphological transformations. The combination of geometric, mathematical and computer systems has enabled the artist to apply his studies to complex polyhedral surfaces and to create numerous prototypes and installations on different scales.

11) Reference is made here to the research conducted at MIT by the engineer Anette Hosoi on the application of non-rigid materials to robotics. In particular, Squishy Robot (produced in 2104) is a material composed of a special porous polyurethane foam capable of passing rapidly from a rigid to a malleable state, according to changes in temperature. The research carried out by MIT is part of a broader framework that aims to transfer the properties and processes typical of biological systems to the technological field.

References

- Ackoff, R. (1989), "From Data to Wisdom", in *Journal of Applied Systems Analysis*, vol. 16, pp. 3-9.
- Antonini, E. (2019), "Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience", in *Agathòn / International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 19 October 2021].
- d'Estrée Sterk, T. (2006), "Responsive Architecture – User-centered Interactions within the Hybridized Model of Control", in Oosterhuis, K. and Feireiss, L. (eds), *Game, Set and Match II – On Computer Games, Advanced Geometries and Digital Technologies*, Episode Publishers, Rotterdam, pp. 494-501.
- d'Estrée Sterk, T. (2005), "Building upon Negroponte – A hybridized model of control suitable for responsive architecture", in *Automation in Construction*, vol. 14, issue 2, pp. 225-232. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.003 [Accessed 19 October 2021].
- Elmokadem, A., Ekram, M., Waseef, A. and Nashaat,

B. (2018), "Kinetic Architecture – Concepts, History and Application", in *International Journal of Science and Research*, vol. 7, issue 4, pp. 750-758. [Online] Available at: ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=ART20181560 [Accessed 19 October 2021].

Floridi, L. (2020), *La quarta rivoluzione – Come l'infosfera sta trasformando il mondo*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Fox, M. (ed.) (2016), *Interactive Architecture – Adaptive world*, Princeton Architectural Press, New York.

Galimberti, U. (2011), *L'uomo nell'età della tecnica*, Alboversorio, Senago.

Giedion, S. (1948), *Mechanization takes command*, Oxford University Press, New York.

Hespanhol, L., Haeusler, M. H., Tomitsch, M. and Tscherteu, G. (2017), *Media Architecture Compendium – Digital Placemaking*, Avedition, Stuttgart.

Kitchin, R. (2014), *The Data Revolution – Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences*, SAGE Publications, Thousand Oaks (US). [Online] Available at: dx.doi.org/10.4135/9781473909472 [Accessed 19 October 2021].

Marotta, A. (2005), *Diller + Scofidio Blurred Theater*, EdilStampa, Roma.

Menges, A. and Reichert, S. (2015), "Performative Wood: Physically Programming the Responsive Architecture of the HygroScope and HygroSkin Projects", in *Architectural Design*, vol. 85, issue 5, pp. 66-73. [Online] Available at: onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ad.1956 [Accessed 19 October 2021].

Negroponte, N. (1995), *Being digital*, Vintage Books, New York.

Oosterhuis, K. (2006), "Swarm architecture II", in Oosterhuis, K. and Feireiss, L. (eds), *Game, Set and Match II – On Computer Games, Advanced Geometries and Digital Technologies*, Episode Publishers, Rotterdam, pp. 14-28.

Philippe Rahm Architectes, P. (2017), *Form Follows Climate – About a Meteorological Park in Taiwan*, Oil Forest League, Vulture.

Picon, A. (2010), *Digital Culture in Architecture – An Introduction for the Design Professions*, Birkhäuser, Basel.

Rosson, M. B. and Carroll, J. M. (2002), "Scenario-Based Design", in Jacko, J. and Sears, A. (eds), *The Human-Computer Interaction Handbook – Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*, CRC Press, Boca Raton (US), pp. 1032-1050.

Wiener, N. (1948), *Cybernetics – Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Kessinger, New York.