

LO SPAZIO PUBBLICO ADATTIVO

Esplorare la transizione digitale
per il benessere sociale e ambientale

ADAPTIVE PUBLIC SPACES

Exploring digital transition for
social and environmental benefit

Bianca Andalaro, Martijn de Waal, Frank Suurenbroek

ABSTRACT

Le attuali sfide sociali e ambientali, l'impatto del cambiamento climatico e la pandemia da Covid-19 hanno rivelato l'urgenza e l'opportunità di ripensare la progettazione urbana, attraverso nuovi spazi e temporalità. In particolare la pandemia ha costituito un esperimento naturale per indagare e sviluppare nuove prospettive progettuali, tra cui rendere gli spazi pubblici più resilienti. Con l'obiettivo di contribuire al ripensamento degli spazi pubblici, il presente contributo esplora la combinazione di architettura adattiva e tecnologie responsive e la loro capacità di plasmare gli spazi pubblici, costituendosi come elemento di conversazione con l'ambiente circostante. Questo approccio coinvolge campi disciplinari diversi quali l'architettura, il design dell'interazione civica e la progettazione urbana e introduce un'esplorazione progettuale speculativa, realizzata all'interno di una più ampia ricerca dell'Università di Scienze Applicate di Amsterdam, in collaborazione con il Master in Digital Design.

The present social and environmental challenges, the impact of climate change and the pandemic, revealed the urgency and the opportunity to rethink urban design through its renewed spaces and temporalities. The pandemic offered a 'natural experiment' to explore and develop new perspectives, making public spaces more resilient. Contributing towards a rethink of these spaces, the present paper explores adaptive architecture with responsive technologies and their capability of shaping public spaces to constitute a conversation piece with the surrounding environment. This approach combines and reflects different disciplinary fields: architecture, civic interaction and urban design. The exploration works around a speculative design case – produced as part of broader research at the Amsterdam University of Applied Science in collaboration with the Master in Digital Design.

KEYWORDS

architettura adattiva, tecnologie responsive, resilienza, spazio pubblico, digitale

responsive technology, adaptive architecture, resilience, public space, digital

Bianca Andalaro, Architect, is a PhD Candidate in Architectural Design at the University of Palermo (Italy). She carries out research on the topic of architectural characters, exploring how their role and their meaning in the design process are changing within resilient adaptive architecture. Mob. +39 347/57.15.617 | E-mail: bianca.andalaro@unipa.it

Martijn de Waal is an Amsterdam University of Applied Sciences Professor of the research group Civic Interaction Design (Netherlands). His research focus is on the relation between digital media and public space, with a specific interest in civic media and digital placemaking. In 2009 he was a visiting scholar at the MIT Centre for Civic Media. E-mail: b.g.m.de.waal@hva.nl

Frank Suurenbroek is an Amsterdam University of Applied Sciences Professor of Spatial Urban Transformation at the Faculty of Technology (Netherlands). His Chair conducts practice-oriented research into spatial projects and how they shape and contribute to liveable and future-proof cities. The research projects focus on: physical-social linkage in urban renewal, resilient public space and urban densification. E-mail: f.suurenbroek@hva.nl



Tra le città europee la pandemia da Covid-19 e le sue successive fasi hanno fatto emergere la necessità e l'occasione di ripensare il modo in cui guardare le città per meglio progettarle. In particolare sono emerse nuove esigenze per l'organizzazione e la gestione degli spazi pubblici legate alle attuali configurazioni spaziali, al duplice fine di consentire la fruizione degli spazi pubblici e garantire il distanziamento sociale (Gualtieri et alii, 2022). Tali necessità costituiscono requisiti progettuali specifici che attivano in architetti e designer il desiderio di esplorare nuovi approcci progettuali per gli spazi collettivi. Questa condizione contingente ha dunque posto le basi per una diversa significazione dei valori socio-culturali di questi spazi, al fine di sviluppare un approccio resiliente che non si limiti al solo fine preventivo. Il grave e prolungato impatto della pandemia ha infatti reso strutturali alcune necessità temporanee e ha contribuito alla definizione delle recenti iniziative contenute nel Green Deal, uno strumento emanato dall'Unione Europea¹ che, attraverso la transizione digitale e verde, mira a definire un modello di società più sostenibile e inclusiva.

La pandemia ha certamente avuto un impatto significativo sulle modalità di interazione sociale e sul ruolo degli spazi pubblici, generando allo stesso tempo un impulso per nuove opportunità di progettazione. In questo contesto emergenziale il presente contributo si propone di esplorare le potenzialità di questi spazi attraverso un progetto speculativo, a partire dalla nozione di spazio pubblico come luogo in cui si costruisce e si alimenta il tessuto sociale e dove è possibile sperimentare l'adattamento ai fenomeni culturali e ambientali.

A tale scopo, infatti, si presenta una iniziale riflessione sull'impatto della 'architettura mediale', un campo interdisciplinare piuttosto recente, che permette di sovrapporre alla fisicità dello spazio pubblico il nuovo livello digitale, derivato invece dai moderni media di comunicazione. Grazie a questa commistione tra fisico e digitale, l'architettura mediale ha introdotto il carattere di interattività, dando l'avvio all'implementazione di approcci trasformativi alle diverse scale del progetto. Tra queste l'architettura adattiva costituisce una possibile soluzione per generare un dialogo trilaterale tra uomo, costruito e ambiente, sostenuto e alimentato da una forte componente digitale e tecnologica. Grazie all'utilizzo di tecnologie responsive, infatti, la progettazione adattiva affronta questioni insieme ambientali e sociali attraverso la riconfigurazione fisica dello spazio.

Nello specifico il contributo illustra un progetto speculativo relativamente recente che si propone di intervenire nella riconfigurazione fisica di una piazza olandese, al fine di rispondere sia alle esigenze dettate dalle misure di prevenzione della pandemia sia dal perpetuarsi di alcune condizioni meteorologiche locali. Il progetto elaborato, dal titolo Adaptive Architecture for Resilience, dimostra la centralità della componente digitale e multiscale dell'approccio adattivo, qui declinato nello spazio pubblico.

Adattività e responsività negli spazi pubblici |

La relazione tra tessuto costruito e sociale si manifesta in particolar modo negli spazi compresi tra gli edifici e dunque nello spazio pubblico (Gehl, 2011): questi spazi esterni, siano essi collettivi o pubblici, svolgono infatti un ruolo cruciale nel de-

finire un senso di identità, di appartenenza o di estraneità per le comunità di riferimento, un luogo in cui soffermarsi, esprimersi o da attraversare. I primi studi pionieristici sugli spazi pubblici, come quelli di Jane Jacobs (1961) e William Whyte (1988), hanno inoltre definito con forza e determinazione questi luoghi come gli spazi principali delle interazioni e delle pratiche non normate, in cui le configurazioni spaziali e le pratiche umane si influenzano vicendevolmente² (Willis and Aurigi, 2011; Suurenbroek, Nio and de Waal, 2019; De Capua and Errante, 2019). In questo senso, come nota Hesperhol (2018), al fine di sfruttare il loro intrinseco potenziale per esprimere un significato altro, gli spazi pubblici possono ospitare diversi tipi di interazioni, spesso veicolate attraverso gli strumenti dell'arte, per contribuire alla definizione dell'identità della comunità coinvolta.

La commistione tra arte e strumenti digitali³ negli spazi pubblici ha suscitato negli ultimi decenni ampio interesse presso la comunità scientifica, soprattutto attraverso processi che fanno del carattere di interattività l'elemento connotativo del progetto. In quest'ottica vanno infatti lette le numerose esperienze di integrazione di sistemi tecnologici dotati di sensori e attuatori che operano in tempo reale nello spazio in cui si trovano: si tratta principalmente di installazioni, mini-architetture o edifici aumentati che utilizzano e producono un gran quantitativo di dati per migliorare l'efficienza dei servizi e della fase di gestione (Pollo, Giovanardi and Trane, 2021). Le interazioni incorporate favoriscono uno spazio più vivibile, in cui la componente artistica ricopre un ruolo centrale: l'elemento ludico, incoraggiando la partecipazione e attraverso espedienti spaziali, può infatti introdurre alle questioni ambientali. L'aggiunta del layer digitale negli spazi pubblici, inoltre, definisce un nuovo lessico per l'interazione e le narrazioni sociali.

Pertanto un approccio capace di intervenire spazialmente sui caratteri del costruito, creando una duplice relazione con l'uomo che abita gli spazi e con l'ambiente, può contribuire a investigare i temi del tempo, come dimensione fenomenologica dell'architettura, e del cambiamento spaziale, in quanto dimensione concettuale (Kolarevic and Parlac, 2015). Con queste finalità l'architettura adattiva si differenzia dagli altri approcci trasformativi perché capace di auto-regolarsi, di gestire comportamenti imprevedibili e di apprendere da essi e dai suoi utenti (Yiannoudes, 2016), attuando trasformazioni spaziali in risposta ai fattori ambientali e salvaguardando la sicurezza e il comfort degli edifici e degli utenti (Ulber and Mahall, 2019)⁴. Per l'autonomia, l'approccio dinamico e la capacità di risposta in tempo reale, dunque, essa si presta ad esplorare la relazione tra ambiente, uomo e progetto.

Sebbene numerosi progetti adattivi in spazi pubblici siano stati realizzati per far fronte ai cambiamenti ambientali anche senza il supporto di strumenti digitali⁵, negli ultimi decenni si possono notare molti progressi soprattutto alla scala dell'edificio, consentendo la trasformazione fisica dei manufatti architettonici, per adattarsi all'ambiente. In questo processo le tecnologie incorporate permettono di utilizzare dati in tempo reale, dando vita a un sistema responsivo: materializzati nel mondo reale, gli approcci adattivi e le tecnologie responsive portano alla produzione di nuovi spazi ibridi, in cui gli utenti e i passanti possono instau-

rare un dialogo fisico e virtuale con l'ambiente circostante.

Per la presenza di sistemi che mirano all'interazione con gli utenti e per il ruolo che i dispositivi tecnologici digitali ricoprono negli spazi pubblici, l'architettura adattiva fa propri gli elementi e le relazioni dall'architettura mediale che, nelle sue differenti sfaccettature, esplora diverse possibilità di trattare lo spazio pubblico attraverso questioni culturali. Ad esempio essa può costituire il veicolo per affrontare le questioni ambientali creando una narrazione intorno a un fenomeno naturale in mutazione, come nel caso di Waterlicht (Fig. 1), un'installazione immersiva sull'innalzamento del livello dell'acqua nei Paesi Bassi realizzata dallo studio olandese Roosegaarde; può interagire con il comportamento e i movimenti delle persone, come le installazioni Interference in Danimarca, progetto della società danese Kollision nel 2015 (Fig. 2), o Platform 5, dello studio Jason Bruges (Fig. 3), che si relazionano con il movimento delle persone nei sottopassaggi o nelle stazioni attraverso effetti luminosi; può rappresentare interesse ed emozioni dei passanti, come The Mood Gasometer/Public Face, degli artisti J. von Bismarck, B. Maus e R. Wilhelmer nel 2020; o ancora, può costituire uno strumento di espressione sociale attraverso i media digitali, come Megafone di Moment Factory (Fig. 4), dove la facciata dell'edificio proietta alcune trascrizioni vocali delle persone nella piazza pubblica adiacente e alcuni dei loro tweet.

Questi progetti mostrano alcune soluzioni per affrontare le questioni sociali e ambientali negli spazi pubblici attraverso tecnologie responsive: in questo modo essi creano una narrazione su determinati argomenti, generando un'azione di sensibilizzazione nell'ottica di un approccio più resiliente alla città; nonostante ciò si configurano principalmente come installazioni temporanee che utilizzano i dati in modo intangibile e, pur volendo creare un'esperienza immersiva, non intervengono sulla configurazione spaziale dei luoghi.

Dalla spettacolarizzazione del divertimento alla sensibilizzazione sui temi culturali, le installazioni citate adottano gli strumenti digitali in modi diversi, immaginando nuovi tipi e nuovi scopi per l'interazione. Attraverso l'uso di tali approcci progettuali, nell'ottica di rispondere a fattori di stress improvvisi ambientali o sociali, l'architettura adattiva aggiunge il livello del digitale per contribuire a un nuovo significato dello spazio pubblico; tra i fattori di stress esterni, la pandemia ha fornito l'opportunità progettuale di riflettere sul significato spaziale delle pratiche non normate in relazione alle misure di prevenzione contro il Covid-19.

Research-through Design per un approccio speculativo |

Dalla collaborazione tra diverse unità dell'Università di Scienze Applicate di Amsterdam è stato sviluppato nel 2022 il caso studio Adaptive Architecture for Resilience, adottando la metodologia di Research-through-Design⁶ (RtD), allo scopo di integrare l'architettura adattiva e la tecnologia responsiva nello spazio pubblico. Questa esperienza ha costituito un'attività parallela del più ampio progetto di ricerca From Prevention to Resilience⁷, finanziato dall'Organizzazione olandese per la Ricerca Sanitaria e l'Innovazione dell'Assistenza (ZonMw), e in collaborazione tra le cattedre di Spatial Urban Transformation e Civic Interaction Design (Amsterdam Uni-



Fig. 1 | Waterlicht in Amsterdam, designed by Studio Roosegaarde, 2015 (credit: studiuroosegaarde.net).

versity of Applied Sciences – AUAS) insieme a un ampio consorzio di professionisti. Per comprendere la potenzialità di avere configurazioni spaziali specifiche in risposta a fattori di stress esterni il progetto si propone, attraverso un approccio speculativo, di definire lo spazio pubblico in risposta ai requisiti spaziali delle prescrizioni anti Covid-19, così come ad altre condizioni ambientali tipo il forte vento. In questo modo il progetto, realizzato in una sessione trimestrale intensiva, esplora le possibilità dell'architettura adattiva nello spazio pubblico.

Il caso di studio è stato elaborato nell'ambito del Master in Digital Design (AUAS)⁸ e il gruppo di giovani designer coinvolti ha progettato due soluzioni spaziali per una piazza olandese nella città di Amsterdam. La piazza, pavimentata con piastrelle quadrate, quali attuatori dell'intero sistema adattivo, presenta una configurazione modulare che ha fornito la possibilità di esplorare diverse declinazioni di un tipo unico. Esse costituiscono il mezzo di comunicazione tra gli utenti, lo spazio pubblico e le informazioni ambientali o sociali. A partire da queste condizioni sono stati progettati due diversi scenari: il primo i cui elementi modulari fossero configurati per rispondere alle indicazioni per il contenimento della pandemia e in cui il distanziamento sociale costituisse un requisito di progettazione; il secondo per far fronte alla presenza di venti forti, una condizione meteorologica comune e limitante nei Paesi Bassi (Fig. 5).

Resilienza e pandemia nello spazio pubblico |

Scopo del primo scenario, legato alla condizione pandemica, è progettare la piazza per garantire una fruizione sicura dello spazio pubblico e mantenere la distanza raccomandata. I giovani designer hanno iterato diverse soluzioni progettuali, valutando forme e modalità di interazione differenti che più si adattassero alla complessità dello spazio, attraverso modelli fisici, virtuali e interattivi⁹ (Fig. 6). La piazza è stata progettata per sezioni concentriche: sul bordo, e per una profondità di dieci metri, alcune piastrelle sono state implementate con sensori di movimento e programmate, sulla base dell'affluenza nella piazza, per muoversi verso l'altro e consentire alle persone di sedersi; quelle che non servono a questo scopo, invece, segnalano tramite una variazione cromatica quando la distanza raccomandata tra le persone non è mantenuta.

Solleandosi rispetto al piano di calpestio, le piastrelle al centro della piazza forniscono un espediente comunicativo per i fruitori dello spazio poiché configurano un basamento attraverso la cui

conformazione spaziale è possibile visualizzare in tempo reale il livello di ospedalizzazione registrato dall'Istituto Nazionale Olandese per la Salute Pubblica, secondo tre diversi livelli (Figg. 7-12): più basso è il numero di contagiati più luminose e meno alte saranno le piastrelle, più è alto è il numero di ospedalizzati e meno luminose e più rialzate saranno le piastrelle. Grazie alla complessità degli aspetti coinvolti (fisici, analogici, digitali e virtuali), scopo del progetto è fornire ai frequentatori un'esperienza sempre diversa e presentare la piazza secondo un aspetto mutevole. Tuttavia tra le sfide principali che l'adattività pone negli spazi pubblici va considerata la necessità di confrontarsi con l'imprevedibilità degli individui che si muovono e vivono lo spazio. Pertanto il progetto elaborato veicola l'interazione tra gli utenti e i volumi della piazza tramite l'installazione di sensori di presenza e di movimento sui bordi delle piastrelle.

Adattività a fenomeni ambientali | Un simile approccio è stato elaborato per fronteggiare fattori di stress ambientale, tra i quali è stata individuata una condizione molto comune, seppure innocua, del clima olandese ovvero la presenza di forti venti. Come nel primo scenario relativo alla pandemia, la piazza è costituita da piastrelle capaci di muoversi verticalmente nello spazio e dotate di sensori che percepiscono sia la presenza sia il movimento delle persone per garantire loro un'esperienza sicura. Al contempo le piastrelle sono implementate con il collegamento al Royal Netherlands Meteorological Institute, che comunica i dati meteorologici in tempo reale, individuando così una nuova variabile capace di influenzare la conformazione spaziale della piazza: al variare dell'intensità del vento interi blocchi di piastrelle si elevano in forme sinuose, creando luoghi riservati dove sedersi e riunirsi, nonostante la presenza di un fattore di stress ambientale (Figg. 13, 14). Attraverso lo stesso meccanismo progettuale, dunque, questo scenario definisce differenti configurazioni spaziali per la stessa piazza, fruibili in momenti diversi e attraverso interazioni appropriate tra spazio e utente.

Limiti e potenzialità | Il progetto elaborato nel Master in Digital Design ha offerto la possibilità di testare e digitalmente prototipare l'approccio adattivo nello spazio pubblico, esplorando limiti e possibilità di tale applicazione, attraverso due scenari diversi per natura e carattere. Da un punto di vista progettuale la scelta di un sistema modulare introduce la possibilità di replicare il sistema attraverso diverse variazioni di una iniziale configurazione spaziale. Tuttavia fattori come la gestione e l'aggiornamento dei sensori, la posizione e la relazione tra spazio costruito, sensori¹⁰ e altri elementi del sistema, si pongono come oggetto di un potenziale approfondimento. La modularità del progetto consente invece una drastica diminuzione delle attività di manutenzione, dei costi e della complessità tecnica, prefigurando la possibilità che un tale spazio possa supportare un'infrastruttura più ampia che includa i temi della sostenibilità e del risparmio energetico attraverso dispositivi autosufficienti piezoelettrici (Vigo Majello, 2020) o fotovoltaici (Howarth, 2014).

Inoltre l'adattività del sistema, incline a interfacciarsi con gli utenti e i passanti, richiede una riflessione specifica sul comportamento impreve-

dibile degli utenti nello spazio; se durante i momenti di maggiore restrizione legate al Covid le persone erano più inclini e abituate a seguire regole precise, è corretto notare che in generale, e nello specifico nello spazio pubblico, non è facile prevedere ogni tipo di movimento. Per questo motivo un tale spazio pubblico adattivo necessita di essere 'alimentato' attraverso modelli di informazioni sul comportamento delle persone, così da attivare meccanismi di previsione.

La ricerca di una continua interazione in tempo reale tra le parti richiede la progettazione di un sistema inter-scalare, in cui ogni componente è progettato per una posizione e un ruolo specifici all'interno di un quadro più ampio che ne definisce il funzionamento. Il rapporto tra le diverse scale deriva dalla commistione tra progetto resiliente e architettura adattiva, siano essi intesi alla scala del territorio, dello spazio pubblico o dell'edificio: in questo modo, per stimolare l'interattività, si combinano aspetti fisici e virtuali che consentono di esperire spazi diversi in tempi differenti, in un complesso equilibrio di elementi micro e macro (Antonini, 2019). L'adattività e la responsività richiedono anche una riflessione su approvigionamento energetico, sicurezza, aspetti normativi e legali e durabilità di un'installazione all'aperto, poiché soggetta alle costanti influenze climatiche e umane¹¹, coinvolgendo necessariamente figure disciplinari diverse al fine di contribuire alla costruzione di un tessuto sociale.

Queste ultime considerazioni portano a un'ulteriore riflessione sul processo stesso di progettazione: al fine di soddisfare l'approccio adattivo e per trasformarsi spazialmente in base ai vari scenari temporali, il progetto deve essere profondamente inter-scalare, intessere una stretta relazione tra elementi materiali e immateriali, arricchire la visualizzazione dei dati attraverso le sue modificazioni, non limitandosi a comunicare un'informazione agli utenti, ma cercando di influenzarne le pratiche attraverso le forme urbane.

Conclusioni | Il progetto Adaptive Architecture for Resilience rappresenta un'occasione di studio delle opportunità e delle possibilità di un approccio adattivo in uno spazio pubblico attraverso tecnologie responsive. Il progetto speculativo proposto solleva domande e criticità sull'applicazione delle tecnologie responsive al pubblico, in particolare sulla correlazione tra la tecnologia come strumento di progettazione e il processo di ricerca della forma e su diverse questioni etiche che interessano le pratiche sociali, ma allo stesso tempo prefigura nuovi possibili approcci nella progettazione.

Il caso studio esplorato dimostra che l'architettura non riguarda solo il tangibile e il visibile, ma è oggi continuamente arricchita da una complessità di elementi digitali e immateriali che permettono di ottenere benefici, insieme sociali e ambientali. L'approccio progettuale adattivo, dunque, contribuisce a rafforzare il ruolo già cruciale della transizione digitale in architettura, affrontando e influenzando i benefici sociali e ambientali e rispondendo all'esigenza di una digital innovability¹². Si può infatti affermare che il tema della resilienza, alle sue diverse scale e nei suoi diversi ambiti, è al tempo stesso astratto e concreto e che l'architettura adattiva tenta di affrontarlo a un livello intermedio in cui l'uomo e l'ambiente sono connessi attraverso lo spazio costruito.

Come riferito da Mikael Wiberg (2015), l'architettura e l'informatica, spinte dall'obiettivo finale di integrare in modo ubiquo la tecnologia nello spazio e pur occupandosi di questioni diverse (il fisico e il digitale), sembrano destinate a convergere l'una verso l'altra: la complessità dei mondi costruiti è profondamente intrecciata con le tecnologie di rilevamento che collaborano a tutte le fasi del progetto. Inoltre attraverso i già citati caratteri architettonici di inter-scalarità, multi-materialità e multi-temporalità (Andaloro, 2021), l'approccio adattivo aggiunge un livello fisico alla trasformazione dell'ambiente costruito; così facendo influenza anche il comportamento delle persone rispondendo a esigenze eterogenee. Per questo motivo, e come mostrato dal caso studio, esso può rispondere a diverse esigenze di resilienza, affrontando fattori di stress ambientali e sociali.

All over urban Europe, the pandemic and its subsequent phases sparked the opportunity and necessity to rethink the way we approach cities and design for them. In particular, new demands for the organization and usage of public spaces emerged, requiring new spatial configurations to allow enjoying public spaces and keeping the social distance at the same time (Gualtieri et alii, 2022). These demands soon became specific design requirements, stimulating architects and designers to explore new ways to design and shape collective spaces. By envisioning the potential for social resilience, this situation has allowed rethinking the socio and cultural meaning of these spaces, to develop a resilient approach that is not limited to a preventive purpose. Moreover, the severe and enduring impact of the pandemic on society, pivoted the temporal necessities into structural challenges as addressed by the European Union's new Green Deal¹. In this frame, the digital and green transition would be the engine to contribute to a more inclusive sustainable society.

The pandemic has had a huge impact on the way people interact with each other – and the role of public spaces – creating momentum for new design opportunities. In this contribution, we aim to explore these opportunities of public spaces through a speculative design approach. We built on the notion of public spaces as places where the social fabric is constructed and produced and where it is possible to experiment with adaptation toward cultural and environmental phenomena.

To this end, an initial reflection is presented on the impact of media architecture, a new interdisciplinary field assuming the city space as an interplay of physical and digital layers. By intertwining the physical and the digital element, media architecture has introduced the character of interactivity, activating transformative design approaches at different scales. Among them, adaptive architecture is a possible solution to trigger a dialogue between man, buildings and the environment, fuelled by a strong digital and technological component. Responsive technologies allow adaptive architecture to address both environmental and social issues through the physical reconfiguration of space.

The paper introduces a relatively recent speculative project, which aims to intervene in the physical reconfiguration of a Dutch square. The project, Adaptive architecture for Resilience, show-

cases the core role of the digital element and multi-scalar approach of adaptiveness in public spaces, to respond both to the restraining measures of the pandemic and the perpetuation of specific local weather conditions.

Adaptiveness and responsiveness in public spaces | The relationship between the built and the social fabric manifests not only, but most crucially, in the spaces between buildings as well as the public space (Gehl, 2011). In this relationship, the outdoor space, intended as collective or public, plays an important role in defining a sense of identity, belonging or repulsion for its community: it constitutes the blueprint of society, a place for people to linger, to express themselves or just to pass-by. Studies from early pioneers of public spaces, such as Jane Jacobs (1961) and William Whyte (1988) have already strongly and fiercely defined these places as the main spaces where interaction and non-standard human practices can take place. In this sense, spatial configuration and human practices are strongly intertwined and influenced by each other² (Willis and Aurigi, 2011; Suurenbroek, Nio and de Waal, 2019, De Capua and Errante, 2019). Furthermore, to exploit their «[...] potential to become meaningful» (Hespanhol, 2018, p. 110), they can host different kinds of interactions, among which artistic expression, to contribute to the definition of the identity of the involved community.

The mixing of art and digital tools³ in public spaces has displayed a broad interest in recent decades, and has defined the character of interactivity as a denotative element of the project. Embedding sensors and actuators to have a real-time responding space is becoming more common: they are mainly installations, mini-architectures or augmented buildings, which use and produce a large amount of data to improve the efficiency of services and economic management (Pollo, Giovanardi and Trane, 2021). By doing this, the embedded interactions define a more liveable space, also supported by artistic means: the sense of playfulness often encourages people's participation and through spatial expedients, it can introduce environmental issues. Adding the digital layer in public spaces opens a new lexicon for interaction and narratives.

This approach, by spatially intervening in the built environment, creates a dual relationship between people and the environment. Therefore, it can contribute to investigating the issues of time, as a phenomenological dimension of architecture, and spatial change as a conceptual dimension (Kolarevic and Parlac, 2015). With these aims, adaptive architecture differs from other transformative approaches for being able to be self-regulating, managing unpredictable behaviours and learning from it and its users (Yiannoudes, 2016). It can also implement spatial transformations in response to environmental factors and ensure the safety and comfort of buildings and users (Ulber, 2019)⁴. Due to its autonomy, dynamic approach and real-time responsiveness, it can explore the relationship between the environment, humans and the project.

Although many adaptive projects in public spaces cope with environmental changes even without the support of digital tools⁵, several advances can be seen in recent decades, especially

at the scale of the building. In this sense, they enable the physical transformation of architectural artefacts, to adapt to the environment. In this process, the interactive technologies embedded allow for the incorporation of real-time data, resulting in a responsive system. Materialized in the real world, adaptive approaches and responsive technologies result in the production of new hybrid spaces, where the users and passers-by could engage in a physical and virtual dialogue with the surrounding environment.

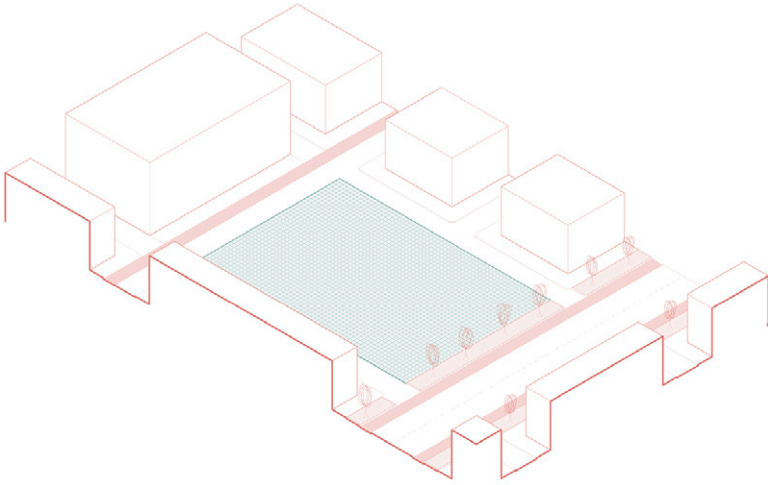
Due to the presence of interactive systems and the role that digital devices play in public spaces, adaptive architecture appropriates elements and processes from media architecture. The variety of facets offered by media architecture opens the diverse possibility of dealing with the public space and approaching cultural questions. Among the others, it can engage with environmental questions creating a narrative around a natural phenomenon that is changing, as in the case of Waterlicht (Fig. 1), an immersive installation about the rising water level in the Netherlands by the Dutch studio Roosegaarde. In the alternative, it can interact with people's behaviour and movements, like Interference in Denmark, designed by the Danish company Kollision in 2015 (Fig. 2) or Platform 5, by Jason Bruges studio (Fig. 3), which interact with the movement of people in underpasses or stations through lights effects, or



Fig. 2 | Interference in Kolding, designed by Kollision, 2015 (source: kollision.dk).

Fig. 3 | Platform 5 in Sunderland, designed by Jason Bruges studio, 2011 (source: jasonbruges.com).

Fig. 4 | Megafone in Montreal, designed by Moment Factory, 2013 (source: momentfactory.com).



Site plan

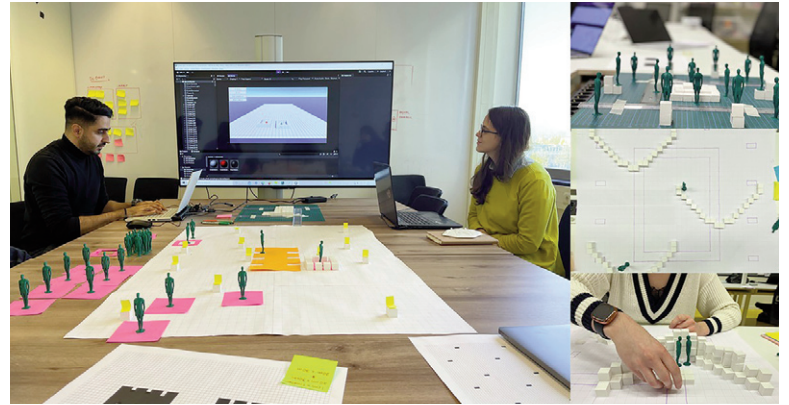


Fig. 5 | Adaptive architecture for resilience, MDD, 2021: axonometry of the site as given (credit: B. Andaloro).

Fig. 6 | Prototyping phase for defining the interaction between people and the public space (source: masterdigitaldesign.com).

The Mood Gasometer/Public Face, by artists J. von Bismarck, B. Maus and R. Wilhelmer in 2020, which represent the mood of passers-by through a light installation. In addition, they can also define a tool for people to express themselves through digital media, like Megafone by Moment Factory (Fig. 4), where the facade of the building projects speech transcripts of people in the adjacent public square as well as some of their tweets.

What these projects show is that it is possible to tackle both social and environmental issues at the scale of public spaces through responsive technologies: this creates a narrative and raises awareness on specific topics, aiming for a more resilient approach to the city. Despite this, they are often temporary installations that use data in an intangible way. Furthermore, they do not aim to affect the spatial configuration of the places whilst still creating an immersive experience.

From the spectacularization of fun to the act of raising awareness of cultural issues, these installations adopt digital tools in different ways, envisioning new types of interaction. Through the use of these design approaches, and to respond to sudden environmental or social stressors, adaptive architecture contributes to a new meaning of public space through a new digital layer. Among the external stressors, the pandemic provided a design opportunity to reflect on the spatial meaning of non-standard practices concerning Covid-19 prevention measures.

Research-through Design for a speculative approach | A Research-through-Design⁶ (RtD) opportunity came about in 2022. The case study Adaptive Architecture for Resilience sees the collaboration between different units of the Amsterdam University of Applied sciences and speculates on the possibility of integrating adaptive architecture and responsive technology in the public space. It can be considered as a parallel activity in the broader research project From Prevention to Resilience⁷, funded by the Dutch organization for health research and care innovation (ZonMW), and developed as a collaboration between the chairs of Spatial Urban Transformation and Civic Interaction Design (Amsterdam University of Applied Sciences – AUAS) and a large consortium from practice. In order to understand the possibility of designing specific spatial configurations in response

to different stressors, the speculative project described in this paper set out to design public space in a way to deal with the Covid-19 spatial requirements and prescriptions and other environmental conditions, such as the high wind. As such, this compact design seeks to understand the possibilities of adaptive architecture in public space.

The case study was defined within the Master of Digital Design (AUAS)⁸ and the group of involved young designers responded to a brief illustrating a Dutch non-situated square, envisioned in the city of Amsterdam and paved with squared tiles. It was assumed, this modular spatial layout sets the stage for a more explorative and spatial-digital approach. Interactive technology was provided. While the type and the position of the sensors were a task for the team, the tiles of the pavement were intended as the actuator of the whole system that would then constitute a medium between the users, the public space and the environmental or social information. The choice of a modular design allowed the exploration of different variations of a unique type.

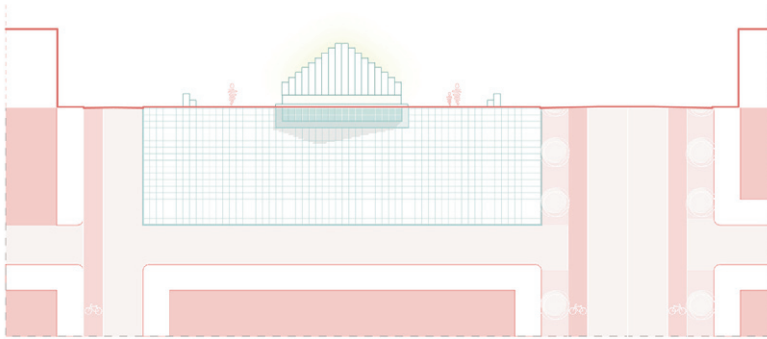
In this perspective, they were asked to design two different scenarios: one, responding to the actual pandemic situation where social distancing constitutes a strong design requirement; and one to cope with the presence of high winds, a very common and often unpleasant weather condition in the Netherlands (Fig. 5). The team consisted of different disciplines, which lead to a multi-perspective approach of the brief. For example, technology was not merely a design tool (that has been developed through physical maquettes, drawings and surveys) but also a possible means to influence and manage human behaviour in public space.

Pandemic resilience in public space | The pandemic scenario required to design of a spatial solution for the public space with the purposes of: a) allowing people to enjoy the public square by being Covid-19 safe; and, b) keeping the recommended distance. The young designers iterated on different design solutions, evaluating different kinds of interaction, to best suit the complexity of the space, through physical, virtual and interactive models (Fig. 6)⁹. To test and tease out the different possibilities, tests were built with different materials and through virtual interactive simulations.

A square was designed in concentric areas: on the edge and for a depth of ten meters, tiles are augmented with motion sensors and programmed to raise high, to allow people to sit. The ones that didn't serve for seating, would visually signal when people don't keep the recommended distance. Towards the centre of the square, on the other hand, the volumes generated by the tiles form a plinth, which makes it possible to visualise spatially and in real-time the number of hospitalizations registered by the Dutch National Institute for Public Health (Fig. 7-12). The lower the number, the brighter and less elevated the tiles will be; the higher the number, the less bright and more elevated they will be, to create a non-verbal conversation with the users of the square. Due to the involved complexity (physical, analogue, digital and virtual), the scope of the project is to provide users with an ever-changing experience and to present the square in a transformative aspect. Overall, a major challenge for the adaptive properties of the square was the inherent unpredictability of people in the movement. In the final design, an architecture of presence- and motion sensors was introduced to organise the human-cubes interaction.

Adaptivity for environmental stressors | A similar design was requested to focus on environmental stressors. With this aim, to represent environmental stressors, a very common, yet harmless condition of the Dutch environment was introduced to make the square adaptive to high winds. As in the first pandemic scenario, the square is made up of tiles able to move vertically and equipped with presence and movement sensors to ensure people a safe experience. At the same time, real-time weather data from The Royal Netherlands Meteorological Institute was added as an additional variable to manage the movement of the tiles up or down. In this way, as the intensity of the wind changes, whole blocks of tiles rise in sinuous shapes, creating private places to sit and gather, despite the presence of the environmental stress factor (Fig. 13, 14). In addition, this scenario offers different spatial configurations of the public square at different times and this would engage ad-hoc relations with the people around.

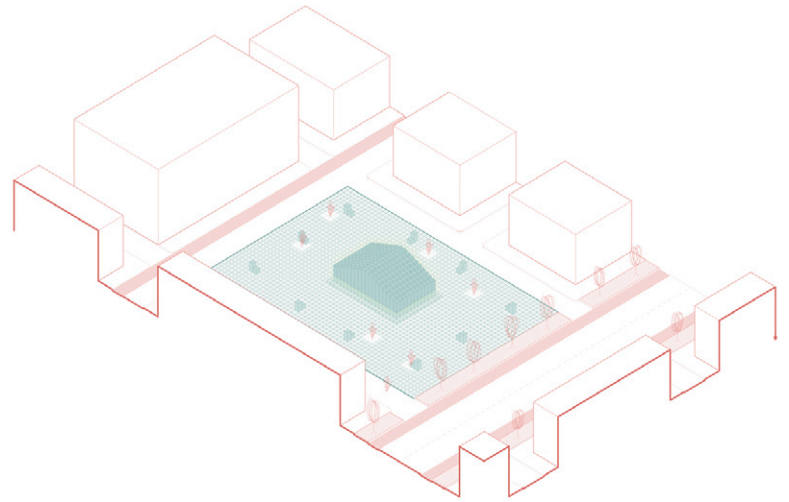
Limits and possibilities | The project of the group from the Master in Digital Design offered the op-



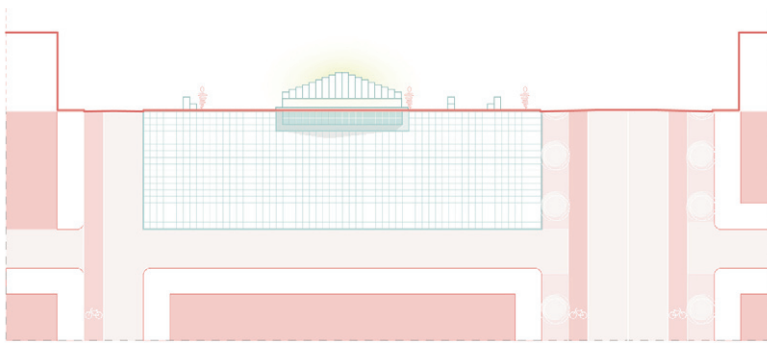
Scenario with a high number of hospitalization

Fig. 7 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021. The first section of the series illustrating the difference between the three pandemic scenarios. The section shows the highest number of hospitalizations, a few seats and the least bright but the highest installation (credit: B. Andaloro).

Fig. 8 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021: axonometry of the site in the pandemic scenario with the highest number of hospitalizations (credit: B. Andaloro).



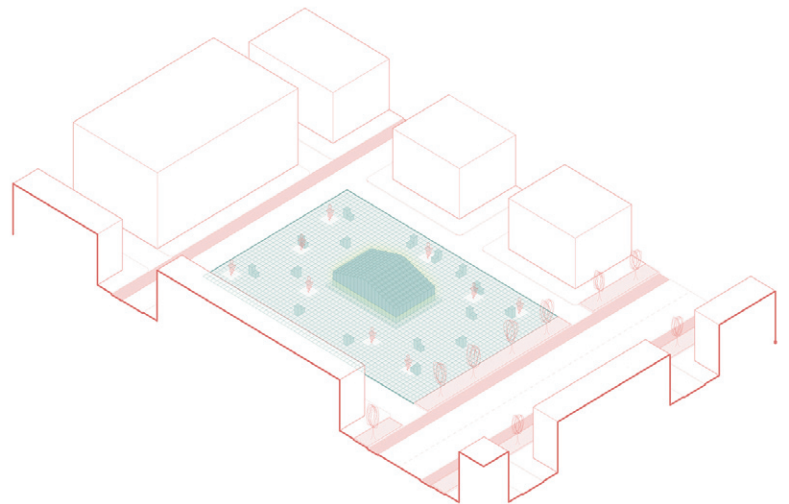
High number of hospitalization



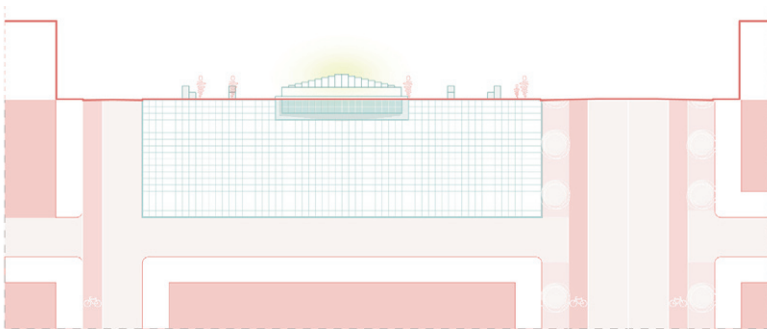
Scenario with a medium number of hospitalization

Fig. 9 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021. The second section of the series illustrating the difference between the three pandemic scenarios. The section shows a medium number of hospitalizations, with lower brightness and fewer seats (credit: B. Andaloro).

Fig. 10 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021: axonometry of the site in the pandemic scenario with a medium number of hospitalizations (credit: B. Andaloro).



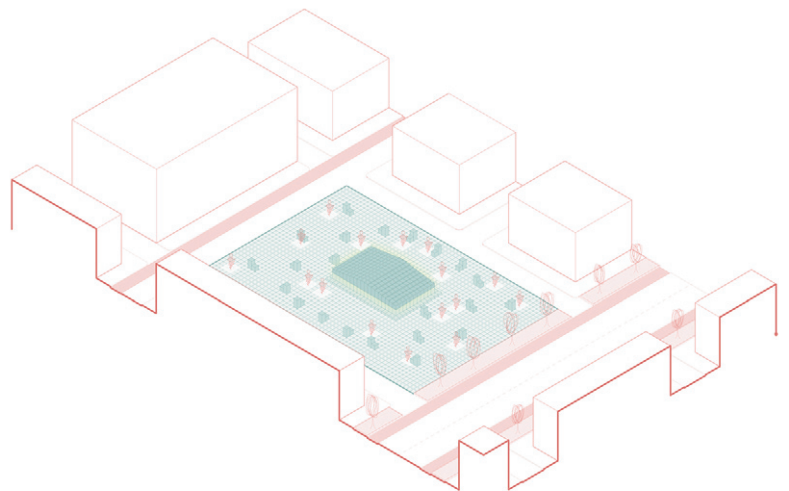
Medium number of hospitalization



Scenario with a low number of hospitalization

Fig. 11 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021. The third section of the series illustrating the difference between the three pandemic scenarios. The section shows a low number of hospitalizations which allows more people to walk and sit on the square: the installation is at its brightest and more tiles rise to be sitting furniture (credit: B. Andaloro).

Fig. 12 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021: axonometry of the site in the pandemic scenario with a low number of hospitalizations (credit: B. Andaloro).



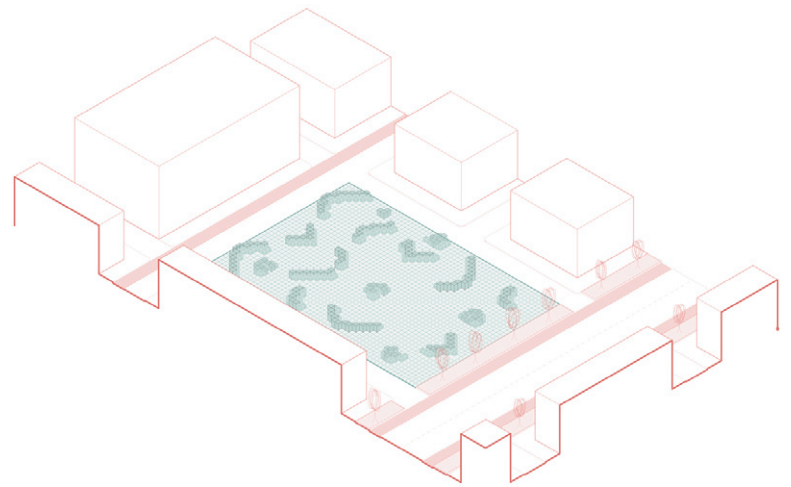
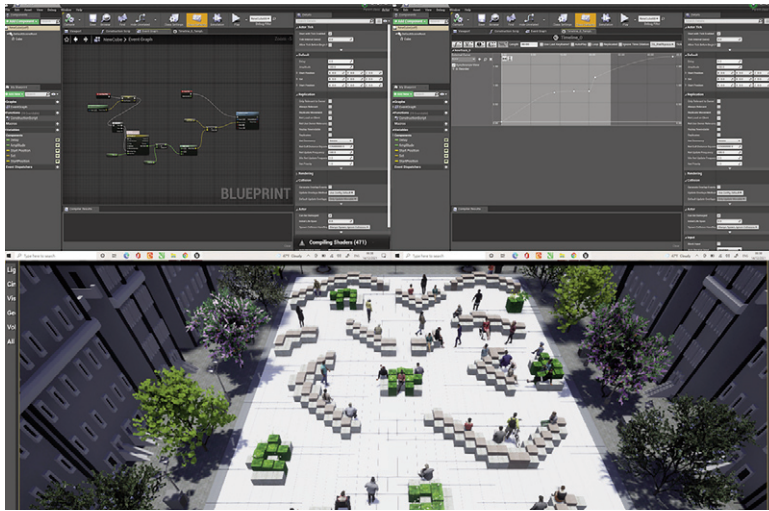
Low number of hospitalization

portunity to test and digitally prototype the adaptive approach in public space, exploring the limits and possibilities of such an application, through two scenarios differing in nature and character. From a design point of view, the choice of a modular system introduces the possibility of scaling up and defining variations of different spatial configurations. Though, many technical challenges came about too, like managing and updating the sen-

sors, the position and intertwining of the sensors and architecture¹⁰ and the actual spatial objects. The modularity of the design also has advantages, like minimising maintenance processes, costs and complexity. The further question to be asked is how such a modular system, at the scale of public space, can support a broader infrastructure, including sustainability and energy issues, through self-sufficient piezoelectric (Vigo Majello,

2020) or photovoltaic devices (Howarth, 2014).

The adaptivity of the system, willing to interface with people, requires a specific reflection upon their unpredictable behaviour. While during the hardest Covid lockdowns and restrictions people were more inclined and used to follow precise rules, it is true that generally and, specifically in public spaces, it is not easy to foresee each kind of movement. For this reason, an adaptive public



Wind scenario

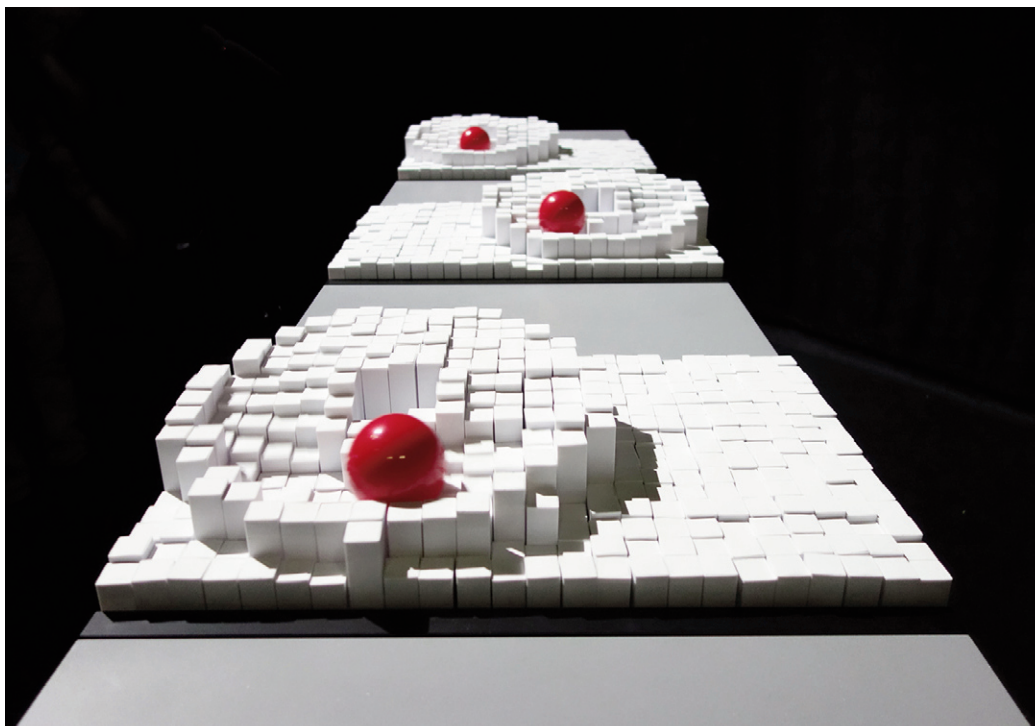


Fig. 13, 14 | Adaptive Architecture for Resilience, MDD, 2021: The design of the square in a 3D model and the scripting of the interaction between the elements, elaborated on Unreal Engine (source: masterdigitaldesign.com); Axonometry of the site in the wind scenario with the spatial re-configuration of the tiles (credit: B. Andaloro).

Fig. 15 | Transform, Tangible Media Lab, Lexus Design Amazing, Milan, 2014. The Tangible Media Group project explores the potentiality of an adaptive device whose technology could be applied also on a larger scale.

space that exploits responsive technologies would need to feed its control board with a pattern of information about people's behaviour, so to trigger prediction mechanisms.

Furthermore, the presence of responsive technologies also has an impact on the space design, contributing to human needs but also encouraging human interaction. This requires the designers to think of the project as an inter-scalar system where each component is designed for a specific position and role within a larger framework that defines its functioning. The relationship between different scales derives from the merging of resilient design and adaptive architecture, whether they are applied to the territorial, public space or building scale. In this way, to stimulate interactivity, physical and virtual matters are combined to allow people to experience different spaces at different

times, in a complex balance of micro and macro elements (Antonioni, 2019). Adaptivity and responsiveness also require a reflection on energy supply, safety, legal issues as well as endurance by constant weather and human influences of an outdoor installation¹¹. This shows the necessity for a multi-disciplinary process to produce the social fabric.

The latter considerations allow for a reflection on the design process itself: to be adaptive, a project should be designed to respond to an inter-scalar process, engaging an in-depth relationship between physical and immaterial matters. This process would ensure different time-based spatial configurations. Finally, adaptivity enriches data visualization through spatial configurations, resulting not only in communicating information to the users but rather attempting to influence human practices through urban shapes.

Conclusions | Adaptive Architecture for Resilience represents a pretext to evaluate the opportunities and possibilities of an adaptive approach in a public space through responsive technologies. The speculative design here proposed raises questions and dilemmas about the consequences of the application of responsive technologies to the public. In particular, it engages the correlation between technology as a design tool and the form-finding process, as well as several ethical questions involved in social practices; finally, it also raises the issue of uncertainty, demanding new possible approaches.

The design case explored shows that architecture is not only about the tangible and visible, but it is nowadays continuously enriched by digital, and intangible matters that create a layer of complexity at the service of social, and environmental benefit. The adaptive design approach contributes to strengthening the crucial role of the digital transition in architecture, addressing and affecting social and environmental benefit, and responding to the urge for digital innovability¹². It can be argued that the theme of resilience, at its different scales and in its different fields, is both abstract and concrete, and that adaptive architecture attempts to address it at an intermediate level where man and the environment are connected through the built environment.

As referred by Mikael Wiberg (2015), driven by the ultimate aim to ubiquitously integrate technology in space, architecture and computing, although they deal with different matters (the physical and the digital) seem destined to grow towards each other: the complexity of the built worlds is deeply intertwined with sensing technologies, which collaborate to all the design phases. In addition to that, by developing the already mentioned architectural characters of multi-scalarity, multi-materiality and multi temporality (Andaloro, 2021), the adaptive design approach adds a physical layer to the transformation of the built environment. By doing so, it also influences people's behaviour while addressing heterogeneous needs. For this reason, it can respond to several different demands of resilience, facing both environmental and social stressors, as the case study envisions.

Acknowledgements

This paper is the result of a shared reflection of the three authors. However, the paragraphs ‘Adaptiveness and responsiveness in public spaces’, ‘Pandemic resilience in public space’, ‘Adaptivity for environmental stressors’ and ‘Limits and possibilities’ have to be attributed to B. Andaloro.

Notes

1) In 2021 European Agenda, established the Europe Digital Decade (European Commission, 2021), promoting digital solutions with an emphasis on putting people first and sparking new opportunities. Underlying expectations are increased engagement with data, technology, and infrastructure, leading to promoting an open and democratic society, and enabling a dynamic and sustainable economy. In addition to the digital transition, the European Green Deal constitutes a roadmap for achieving the goal of a climate-neutral response by 2050. For more information see the webpage: ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal_en/ [Accessed 26 September 2022].

2) This includes, among others, the design of the horizontal street space, as well as the vertical and three-dimensional, meaning the street facades and the coherence between them, the layout and programming of the plinths, and the tactile qualities and rhythm of the buildings (Suurenbroek, Nio and de Waal, 2019).

3) The influence of the digital layer is not new in the discipline of architecture which in the last decades has profoundly changed. It affected the discipline by introducing new aspects of design language, such as new aesthetics and affordances, as well as new design tools, such as sensors and IoT to Smart Construction Objects, and new devices, exploited by interactive installations, screens and media facades. Their rapid evolution, and their small – or even mini – configuration, help embed these technologies in outdoor and indoor spaces, resulting in interactive and responsive installations or even landscapes (Cantrell and Holzman, 2015). This has envisioned in the last decades the possibility for architecture to establish a dialogue between the built space, men and the environment, thus between ethical and aesthetic aspects.

4) Adaptivity in architecture precedes the introduction of digital elements and electronic technology. Therefore, it can showcase different approaches and shapes. In contemporary literature, the term adaptive and the term responsive are often considered synonyms, attributing to adaptive designs the same computational capabilities as to responsive elements. However, in Elmokadem (2018) a classification of transformable architectures is shown, referring to Fox and Yeth’s (2000) definitions. This envisions a difference between adaptive and responsive approaches due to the ability of adaptive systems to implement change not only in real-time (like responsiveness) but by iterating it over time and about different circumstances.

5) Adaptivity as a design strategy to cope with environmental changes has been exploited in urban planning through strategies at the different climate zones. Some examples are the results of the first edition of Rebuild by Design, the competition on the regeneration of Manhattan after hurricane Sandy in 2012, and several projects by De Urbanisten such as the Bentheplein Square (2006-2010) in Rotterdam or the Water Square in Tiel (2014-2016) or by SLA as the Hans Tavsens and Korsgade Park in Copenhagen (2016-ongoing).

6) This approach, coined by Frayling (1993), has mainly been applied in the human-computer interaction field and only later extended to the different design fields, among which also architecture and urban design. It is usually adopted to address problems and practices that are new or not fully developed (Stappers and Giaccardi, 2017) by intertwining research phases with designs in a constant feedback loop.

7) The two-year research (2020-2022), coordinated by Martijn de Waal (Professor Play & Civic Media) and Frank Suurenbroek (Professor Bouwtransformatie), is granted by ZonMw and led by Wouter Meys, Project Manager at the Play & Civic Media lectorate. The multidisciplinary research group is made up of Boudewijn Boon, Giulia Gualtieri and Saba Schramkó. The research is supported by numerous interna-

tional parties, which constitute the academic experts’ consortium (among which, Harvard, UCL Bartlett and the University of Sydney) and the design consortium, made up of The Beach, UNStudio, Arcam, Rochdale and Eigen Haard.

8) Adaptive Architecture for Resilience project has been designed by an interdisciplinary team of young designers of the Master in Digital Design, Rachel Goldman, Mohammad Khaleghdar, Emma Koole and Olawale Olagoke, led by the already mentioned research group in collaboration with Bianca Andaloro (PhD Candidate, University of Palermo).

9) The interdisciplinarity of the team made it possible to approach the project from different perspectives, and through the dual function of digital as a means of verification (through real models, drawings and surveys), and control (through studies on human behaviour in public space). In addition, the team 3D printed the site, realizing models on a different scale of the 2,400 cubes that constitute the square. This is a twenty-by-thirty-meter rectangle, made up of tiles measuring 50 cm per side and able to move vertically above and below the pavement.

10) A similar system has been tested and built as a touchboard by the MIT Tangible Media Lab with the project Transform (Lexus Design Amazing, Milan, 2014; Fig. 15). This project explored the possibility of interaction between digital and physical interfaces through a spatial configuration that constitutes the imaginary reference for an adaptive public space.

11) Further evaluations on this topic have been shown in a previous and broader case study about the area of the ArenA Boulevard in Amsterdam which also shows the limits of using responsive technologies and intervening with people (Suurenbroek, Nio and de Waal, 2019).

12) Innovability[®] is a registered trademark of Enel SpA. All rights reserved by Enel SpA.

References

- Andaloro, B. (2021), “Relazioni spaziali per l’architettura interattiva – Il corpo fisico dell’informazione virtuale | The body of interactive architecture – Scenario-based and generative approaches”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 76-83. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1072021 [Accessed 26 September 2022].
- Antonini, E. (2019), “Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 26 September 2022].
- Cantrell, B. E. and Holzman, J. (2015), *Responsive landscapes – Strategies for responsive technologies in landscape architecture*, Routledge, New York. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781315757735/ [Accessed 26 September 2022].
- De Capua, A. and Errante, L. (2019), “Interpretare lo spazio pubblico come medium dell’abitare urbano | Interpreting public space as a medium for urban liveability”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 148-161. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6142019 [Accessed 26 September 2022].
- Howarth, D. (2014), “Daan Roosegaarde’s pilot Smart Highway is a Dutch road illuminated with solar power”, in *dezeen*, 21/10/2014. [Online] Available at: [dezeen.com/2014/10/21/daan-roosegaarde-glowing-lines-smart-highway-oss-netherlands/](https://www.dezeen.com/2014/10/21/daan-roosegaarde-glowing-lines-smart-highway-oss-netherlands/) [Accessed 26 September 2022].
- European Commission (2021), *Proposal for a Decision of the European Parliament and the Council the 2030 Policy Programme Path to the Digital Decade*, document 52021PC0574. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0574 [Accessed 26 September 2022].
- Elmokadem, D. A., Ekram, D. M., Waseef, D. A. and Nashaat, B. (2018), “Kinetic Architecture – Concepts, History and Applications”, in *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 7, issue 4, pp. 750-758. [Online] Available at: [ijer.net/archive/v7i4/ART20181560.pdf](https://www.ijer.net/archive/v7i4/ART20181560.pdf) [Accessed 26 September 2022].

Fox, M. A. and Yeh, B. P. (2000), “Intelligent Kinetic Systems in Architecture”, in Nixon, P., Lacey, G. and Dobson, S. (eds), *Managing Interactions in Smart Environments*, Springer London, London, pp. 91-103. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4471-0743-9_9 [Accessed 26 September 2022].

Frayling, C. (1993), *Research in Art and Design*, Research Papers, vol. 1, n. 1, Royal College of Art, London. [Online] Available at: researchonline.rca.ac.uk/384/3/frayling_research_in_art_and_design_1993.pdf [Accessed 26 September 2022].

Gehl, J. (2011), *Life Between Buildings – Using Public Space*, Island Press, Washington.

Gualtieri, G., Boon, B., Suurenbroek, F., de Waal, M., Andaloro, B. and Schramkó, S. (2022), “Challenges of the Covid-19 pandemic and design responses in public space – Towards strategies for resilient post-Covid cities”, in *Proceedings of the International Conference on Changing Cities V – Corfu Island, Greece, June 20-25, 2022*, pp. 980-989. [Online] Available at: researchgate.net/publication/361823595_Challenges_of_the_Covid-19_pandemic_and_design_responses_in_public_space_Towards_strategies_for_resilient_post-Covid_cities [Accessed 26 September 2022].

Hespanhol, L. (2018), “Making Meaningful Spaces – Strategies for Designing Enduring Digital”, in *Proceeding of SAAN – The first International Conference on Design, Innovation and Creativity*, 22-23 February 2018, Bangkok, pp. 108-117. [Online] Available at: researchgate.net/publication/334780244_Making_Meaningful_Spaces_Strategies_for_Designing_Enduring_Digital_Placemaking_Initiatives [Accessed 26 September 2022].

Jacobs, J. (1961), *The Death and Life of Great American Cities*, Random House, New York.

Kolarevic, B. and Parlac, V. (2015), *Building Dynamics – Exploring Architecture of Change*, Taylor & Francis, New York.

Pollo, R., Giovanardi, M. and Trane, M. (2021), “Smart construction object – Strumenti per riprogrammare la città | Smart construction object – Tools for reprogramming the city”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 84-91. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1082021 [Accessed 26 September 2022].

Stappers, P. J. and Giaccardi, E. (2017), “Research through Design”, in Soegaard, M. and Friis-Dam, R. (eds), *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, Interaction Design Foundation, pp. 1-94.

Suurenbroek, F., Nio, I. and de Waal, M. (2019), *Responsive public spaces – Exploring the use of interactive technology in the design of public spaces*, Hogeschool van Amsterdam, Amsterdam. [Online] Available at: research.hva.nl/files/6298857/Responsive_Public_Spaces_AUAS_2019.pdf [Accessed 26 September 2022].

Ulber, M. and Mahall, M. (2019), “L’architettura adattiva come mediatrice fra gli uomini e la terra | Adaptive architecture as mediator between humans and earth”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 94-103. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/692019 [Accessed 26 September 2022].

Vigo Majello, M. C. (2020), “Piezoelectric flooring and public space”, in *SMC Magazine*, vol. 11, pp. 81-86. [Online] Available at: sustainablemediterraneanconstruction.eu/SMC/The_Magazine_n.11_files/1112.pdf [Accessed 26 September 2022].

Whyte, W. H. (1988), *City – Rediscovering the Center*, Doubleday, New York.

Wiberg, M. (2015), “Interaction Design Meets Architectural Thinking”, in *Interactions*, vol. 22, issue 2, pp. 60-63. [Online] Available at: doi.org/10.1145/2732936 [Accessed 26 September 2022].

Willis, K. S. and Aurigi, A. (2011), “Hybrid Spaces – Presence, Rhythms and Performativity”, in *Proceeding of Seventh International Conference on Intelligent Environments*, Nottingham, pp. 100-106. [Online] Available at: doi.org/10.1109/IE.2011.70 [Accessed 26 September 2022].

Yiannoudes, S. (2016), *Architecture and Adaptation – From Cybernetics to Tangible Computing*, Routledge, New York.