

Rossella Siani<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-0867-4301>

Francesco De Luca<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-5762-9446>

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università di Parma, Italia

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering and Architecture, Tallinn University of Technology, Estonia

[rossella.siani@unipr.it](mailto:rossella.siani@unipr.it)

[francesco.deluca@taltech.ee](mailto:francesco.deluca@taltech.ee)

**Abstract.** Un ambiente urbano climaticamente neutro può trarre beneficio da strutture leggere che alleviano il surriscaldamento estivo, riducono le temperature superficiali e le emissioni di carbonio e sequestrano CO<sub>2</sub> attraverso materiali naturali. Questo studio propone un sistema architettonico temporaneo per migliorare il comfort termico durante tutto l'anno negli spazi urbani. Integrando design parametrico e morfogenesi computazionale, il sistema ottimizza l'ombreggiatura e il flusso d'aria, riducendo lo stress termico estivo e mantenendo l'accesso alla radiazione solare in inverno. La struttura modulare si integra visivamente nell'ambiente circostante senza ostruirne la vista. Simulazioni climatiche e un prototipo in scala 1:30 ne confermano la fattibilità, offrendo una soluzione sostenibile e adattabile per diversi climi urbani e contribuendo alla progettazione climaticamente reattiva.

**Parole chiave:** Cambiamento climatico; Ottimizzazione; Morfogenesi; Design parametrico; Fabbricazione digitale.

## Introduzione

L'ambiente costruito svolge un ruolo significativo nella crisi del cambiamento climatico e del riscaldamento globale, soprattutto a causa del crescente consumo di energia e delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Le città sono responsabili del 50-60% delle emissioni globali di gas serra (UN-Habitat, 2023), una cifra destinata ad aumentare con la crescita della popolazione urbana. Oltre all'aumento della temperatura globale, fenomeni locali come le ondate di calore e l'effetto isola di calore urbana (UHI) rappresentano una seria minaccia per la salute umana.

L'aumento delle temperature ambientali nelle aree urbane porta a un aumento della domanda di energia per il raffreddamento, riduce il comfort termico e aumenta la mortalità e le malattie legate al calore (Santamouris, 2015), soprattutto tra le popolazioni vulnerabili e a basso reddito. Il surriscaldamento urba-

no diventa particolarmente grave quando le ondate di calore e l'effetto UHI interagiscono, portando a un estremo disagio termico dovuto all'aumento delle temperature urbane fino a 10 °C (Santamouris, 2020). Inoltre, lo stress termico urbano è una preoccupazione crescente anche nelle città delle regioni temperate e fredde, come il nord Italia (Rota *et al.*, 2019).

Un'ampia letteratura ha esaminato le possibili soluzioni per la creazione di un ambiente urbano più resiliente, alla luce dell'aumento delle temperature dovuto ai cambiamenti climatici. Numerosi studi hanno esaminato l'impatto della morfologia urbana e dei materiali sul comfort termico esterno (OTC) e sullo stress da calore. Il verde ha dimostrato di migliorare significativamente il comfort termico grazie all'effetto di ombreggiamento e di evapotraspirazione a latitudini e climi diversi (Gatto *et al.*, 2020). I materiali "freddi" utilizzati per le pavimentazioni e le facciate degli edifici, insieme alle facciate e ai tetti verdi (Santamouris, 2014) riducono significativamente la temperatura radiante locale e contribuiscono a diminuire la temperatura dell'aria nell'ambiente urbano più ampio. Anche gli elementi urbani d'acqua, come fontane e piccoli stagni, si sono rivelati utili per ridurre lo stress da calore.

Nonostante gli effetti positivi delle strategie di mitigazione menzionate per migliorare la vivibilità degli ambienti urbani, gli autori sostengono che anche un'ulteriore strategia, quella delle strutture urbane temporanee e leggere, come coperture e pensiline, può fornire un significativo comfort termico, arricchendo allo stesso tempo la qualità architettonica dell'ambiente urbano e l'esperienza degli utenti attraverso il placemaking (Asato,

Climate conscious  
design of light structures  
for improving the  
liveability of urban  
environments

**Abstract.** A climate-neutral urban environment can benefit from light structures that provide relief from urban overheating in warm seasons, reduce surface temperatures, and lower energy needs and carbon emissions while sequestering carbon through bio-based materials. This research introduces a temporary architectural system to enhance thermal comfort year-round in urban spaces. Combining parametric design with computational morphogenesis, the system optimises shading and airflow to reduce summer heat stress while retaining solar radiation in winter. The modular structure integrates visually with its surroundings without obstructing views. Climate simulations and a 1:30 scale prototype confirm its feasibility, offering a sustainable, adaptable solution for diverse urban climates and contributing to climate-responsive design.

**Keywords:** Climate change; Optimisation; Morphogenesis; Parametric design; Digital fabrication.

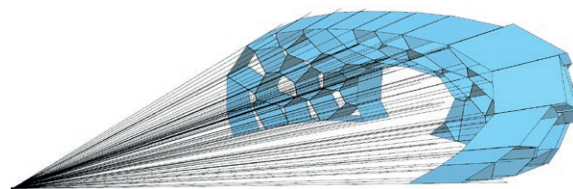
## Introduction

The built environment plays a significant role in global crises such as climate change and global warming, primarily due to its growing energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. Cities are responsible for 50-60% of global greenhouse gas (GHG) emissions (UN-Habitat, 2023), a figure that is expected to rise with the growth of the urban population. In addition to global temperature increases, local phenomena such as heatwaves and the urban heat island effect (UHI) pose serious threats to human health.

Rising ambient temperatures in urban areas lead to a substantial increase in cooling energy demand, reduce thermal comfort, and escalate heat-related mortality and illnesses (Santamouris, 2015), above all among the vulnerable and low-income populations. Urban overheating becomes especially severe

when heatwaves and UHI effect interact, leading to extreme thermal discomfort due to an urban temperature increase of up to 10 °C (Santamouris, 2020). Furthermore, urban thermal stress is a growing concern also in cities in temperate and colder regions, such as the north of Italy (Rota *et al.*, 2019).

A large body of literature investigated possible solutions for the creation of a more resilient urban environment, in light of increasing temperatures due to climate change. Numerous studies have examined the impact of urban morphology and surface materials on outdoor thermal comfort (OTC) and heat stress. Vegetation and trees have proved to significantly improve thermal comfort due to the shading and evapotranspiration effect at different latitudes and climates (Gatto *et al.*, 2020). "Cool" materials used for pave-



2018). Le indagini sul potenziale di miglioramento dell'OTC di queste strutture sono ancora poche. Il lavoro presentato colma questa lacuna di ricerca per il miglioramento della neutralità climatica dell'ambiente urbano.

**Metodologia della Ricerca** L'obiettivo della ricerca è investigare il potenziale delle strutture urbane leggere e temporanee per il comfort termico esterno (OTC) durante la stagione calda, senza peggiorarlo durante la stagione fredda. Al contempo, l'ombra fornita contribuirebbe a ridurre le temperature delle superfici urbane e dell'aria, diminuendo così la necessità di energia per il raffrescamento e le emissioni di carbonio correlate, oltre a favorire il sequestro di carbonio attraverso l'utilizzo di biomateriali. Per raggiungere l'obiettivo della ricerca, la metodologia si articola in tre fasi: definizione della metodologia di morfogenesi, selezione degli indicatori chiave di prestazione climatica (KPI) e determinazione degli obiettivi prestazionali.

Per la morfogenesi della struttura urbana leggera, la ricerca sfrutta il design parametrico e la fabbricazione digitale per realizzare un'architettura responsiva (Oxman and Oxman, 2014) e i processi di progettazione morfogenetica computazionale per creare forme architettoniche adattive (Pugnale and Sassone, 2007; Siani, 2023). Questi metodi di morfogenesi sono in grado di interagire con fattori ambientali come la disponibilità solare e i modelli del vento (De Luca, 2017a; 2019a), migliorando così il comfort degli spazi esterni (Naboni *et al.*, 2023), anche attraverso l'uso di materiali naturali (Siani, 2020).

Gli indicatori chiave di prestazione ambientale (KPI) per l'analisi dell'OTC sfruttano diversi modelli e indici di comfort ter-

mico. L'Universal Thermal Climate Index (UTCI) è un indicatore ampiamente utilizzato per valutare l'OTC considerando gli effetti combinati di temperatura dell'aria, umidità, velocità del vento e temperatura media radiante (MRT) sul corpo umano (Bröde *et al.*, 2010). L'UTCI offre una valutazione completa di come i diversi fattori ambientali influenzano lo stress termico percepito. Per questa ricerca, l'UTCI è stato scelto perché rappresenta l'indice più versatile per valutare il comfort termico e gli impatti potenziali dello stress da calore e da freddo.

Determinare gli obiettivi di prestazione è un compito cruciale nella progettazione climatica architettonica (Eslamirad *et al.*, 2022). Numerosi lavori di ricerca hanno studiato metodi per bilanciare obiettivi progettuali climatici contrastanti, ad esempio soddisfare i requisiti di accesso solare e densità edilizia negli ambienti urbani, oltre a garantire il comfort termico esterno e l'illuminazione naturale interna durante la stagione fredda (De Luca, 2017b; 2019b). Nella presente ricerca, gli obiettivi prestazionali contrastanti per la progettazione della struttura leggera consistono nel fornire OTC durante la stagione calda bloccando adeguatamente l'irradianza solare, consentendone però il passaggio durante la stagione fredda per mantenere la sensazione di comfort termico durante tutto l'anno. Inoltre, la struttura leggera è progettata per consentire una vista panoramica del contesto (Fig. 1), integrandosi nell'ambiente esistente per migliorare l'esperienza dell'utente.

## Metodi di Morfogenesi

Lo sviluppo di un sistema architettonico capace di rispondere ai parametri ambientali per ottenere specifiche prestazioni di comfort climatico richiede diverse fasi: un'analisi prelimina-

ments and building façades, together with green façades and roofs, (Santamouris, 2014) significantly reduce the local radiant temperature and help decrease the air temperature in the larger urban environment. Water-based urban features such as fountains and small water ponds also proved to be beneficial in reducing heat stress.

Notwithstanding the positive effects of the mentioned mitigation strategies for improving the liveability of urban environments, the authors argue that an additional strategy, namely temporary and light urban structures, such as canopies and shelters, can also provide significant thermal comfort, while at the same time enriching the architectural quality of the urban environment and the user experience through placemaking (Asato, 2018). The potential of these structures in improving OTC is still scarcely investigated. Thus, to fill

the research gap, we developed the work presented in the paper, which will have a significant impact on the design and scientific communities involved in improving the climate neutrality of the urban environment.

## Research methodology

The aim of the research is to investigate the potential of temporary and light urban structures to provide OTC for users in the warm season, while not worsening it during the cold season. At the same time, the shade provided would contribute to decrease urban surface temperatures and air temperature, thus the need for cooling energy and the related carbon emissions, and to provide carbon sequestration through the use of biomaterials. The methodology presents three steps to achieve the aim of the research, namely define the morphogenesis

methodology, select the climatic key performance indicators (KPI), and determine the performance objectives. For the morphogenesis of the light urban structure, the research takes advantage of parametric design and digital fabrication to create responsive architecture (Oxman and Oxman, 2014), and of computational morphogenic design processes to create adaptive architectural forms (Pugnale and Sassone, 2007; Siani, 2023). These form generation methods can interact with environmental factors such as solar availability and wind patterns (De Luca, 2017a; 2019a), thereby enhancing the comfort of outdoor spaces (Naboni *et al.*, 2023), also through the exploitation of natural materials (Siani, 2020).

Environmental KPIs for OTC analysis take advantage of several thermal comfort models and indices. The Uni-

versal Thermal Climate Index (UTCI) is a widely used indicator for assessing OTC by considering the combined effects of air temperature, humidity, wind speed, and MRT on the human body (Bröde *et al.*, 2010). UTCI provides a comprehensive evaluation of how different environmental factors influence perceived thermal stress. UTCI is selected for the research because it is the most versatile index in urban planning, climate research, and public health to assess thermal comfort and the potential health impacts of heat and cold stress.

Determining performance objectives is a crucial task in architectural climatic design because developing a form for a specific performance can have a negative impact on another performance or on the same performance when that must be achieved during different seasons (Eslamirad

re di un caso studio per definire le problematiche climatiche critiche, la definizione degli indicatori chiave di prestazione ambientale, lo sviluppo di una strategia progettuale, simulazioni climatiche, lo studio e la progettazione della fase di prototipazione, la produzione e l'analisi dei risultati.

Per questa metodologia vengono proposti strumenti specifici di progettazione, analisi e costruzione. Per la fase di progettazione e simulazione climatica sono stati adottati i software *Rhinoceros Grasshopper* e *Ladybug*, mentre per la costruzione di un prototipo in scala sono state impiegate tecniche di fabbricazione digitale e una macchina CNC (Controllo Numerico Computerizzato). L'analisi del prototipo in scala è stata condotta utilizzando un heliodon.

Le fasi del processo metodologico sono delineate come segue:

1. caso studio;
2. strategia;
3. morfogenesi computazionale;
4. prototipazione e produzione;
5. studio delle ombre;
6. analisi del comfort climatico.

#### Caso Studio

Per testare la struttura è stata scelta un'area aperta del Campus universitario di Parma. La regione di Parma sperimenta un significativo stress da caldo durante l'estate. Utilizzando i dati climatici e i software *Rhinoceros*, *Grasshopper* e *Ladybug*, sono state identificate le settimane tipiche dell'estate (8-14 giugno, dalle 8:00 alle 20:00) e dell'inverno (3-9 febbraio, dalle 9:30 alle 17:00). Le temperature equivalenti UTCI sono 27,08°C (estate) e 17,48°C (inverno). Pertanto, secondo la scala UTCI, le settimane estive pre-

sentano uno stress termico moderato, mentre le settimane invernali non presentano stress termico. Il progetto mira a migliorare il comfort estivo senza compromettere le condizioni invernali.

#### Strategia

Una doppia strategia di ottimizzazione delle ombre guida il design del sistema modulare. La struttura riduce il guadagno di calore in estate attraverso l'ombreggiamento, mentre minimizza le ombre in inverno. Inoltre, facilita il flusso d'aria e tiene conto della percezione visiva, incorniciando l'ambiente circostante con un'ostruzione minima (Fig. 2). Il progetto ottimizza il comfort climatico e visivo, ottenendo benefici quantitativi (parametri OTC) e qualitativi (percezione visiva del contesto).

#### Morfogenesi Computazionale

Il progetto bilancia obiettivi potenzialmente contrastanti utilizzando strumenti parametrici. I parametri considerati includono:

- forma e orientamento del sistema;
- forma, orientamento ed estrusione dei moduli;
- superficie d'ombra.

Una superficie ad arco è allineata con il percorso del sole per massimizzare l'ombra durante l'estate. La struttura è orientata verso nord, schermando efficacemente la luce solare. La superficie è discretizzata in una griglia di Voronoi; ogni elemento genera un modulo con due basi aperte per consentire il passaggio della luce solare e il flusso d'aria. Le estrusioni dei moduli sono allineate con i raggi solari, ottimizzando le ombre estive e invernali. Le aperture favoriscono il raffrescamento consentendo il passaggio dell'aria.

et al., 2022). Many research works investigated methods for balancing competing climatic design objectives, e.g., fulfilling solar access and built density requirements in urban environments, and achieving indoor daylight and outdoor thermal comfort during the cold season (De Luca, 2017b; 2019b). The competing performance objectives of this research for the design of the light structure are providing OTC during the warm season by adequately blocking solar irradiance, while allowing it during the cold season to increase the thermal comfort sensation for the entire year.

Thus, the primary objective of this research is to create a temporary architectural system that enhances thermal comfort in urban open spaces throughout the seasons. Additionally, the light structure is designed to allow a panoramic view of the context

in order to integrate it into the existing environment for enhanced user experience and placemaking (Fig. 1).

#### Morphogenesis methods

The development of an architectural system capable of responding to environmental parameters to achieve specific climatic comfort performance requires several phases, namely a preliminary analysis of the case study to define critical climatic issues, the definition of the environmental key performance indicator, the development of a design strategy, climatic simulations, study and design of the prototyping strategy, production, and analysis of results.

Specific design, analytical and construction tools are proposed for this methodology. This research adopts *Rhinoceros Grasshopper* and *Ladybug* Tools environmental digital design

tools for the design and climate simulation phase, and employs Digital Fabrication techniques and a CNC (Computer Numerical Control) machine for the construction of a scale prototype. The shadow analysis of the scale prototype is conducted by a heliodon.

The stages of the methodological process are outlined as follows:

1. Case study;
2. Strategy;
3. Computational morphogenesis;
4. Prototyping and production;
5. Shadow study;
6. Climatic comfort analysis.

#### Case study

An open area at the University Campus of Parma was selected to test the structure. The Parma region experiences significant heat stress in summer. The typical summer (8-14 June, 8:00 AM to 8:00 PM) and winter (3-9

February, 9:30 AM to 5:00 PM) weeks were identified using climate data and *Rhinoceros*, *Grasshopper*, and *Ladybug* software. UTCI equivalent temperatures are 27.08°C (summer) and 17.48°C (winter). Thus, according to the UTCI scale, summer weeks show moderate heat stress, while winter weeks have no thermal stress. The project aims to improve summer comfort without impairing winter conditions.

#### Strategy

A dual shadow optimisation strategy drives the modular system design. The structure reduces heat gain in summer through shading, while minimising shadows in winter. Additionally, it facilitates airflow and considers visual perception, framing the surroundings with minimal obstruction (Figs. 2). The design optimises climatic and visual comfort, yielding quantitative

- 02 | Vista prospettica del padiglione dal punto focale. Si nota come la vista oltre l'architettura sia incorniciata, ma non ostruita  
*Prosthetic view of the pavilion from the focal point. Notice how the view beyond the architecture is framed, but not obstructed*
- 03 | Studio delle ombre utilizzando il prototipo in scala 1:30 e l'Eliodone. Febbraio alle 14:00  
*Shadow study using the 1:30 scale prototype and Heliodon. February at 2:00 pm*
- 04 | Studio delle ombre utilizzando il prototipo in scala 1:30 e l'Eliodone. Giugno alle 14:00  
*Shadow study using the 1:30 scale prototype and Heliodon. June at 2:00 pm*

La profondità e l'orientamento delle estrusioni dei moduli sono influenzate dai principi di percezione visiva. Un punto focale assicura che la struttura appaia leggera, incorniciando il paesaggio. La visione dei visitatori cambia dinamicamente man mano che si spostano nello spazio, creando esperienze visive variegata. L'ottimizzazione delle ombre si concentra sull'area definita dal piano architettonico, servendo sia come spazio di sosta che come spazio di transizione.

### Prototipazione e Produzione

I fattori di morfogenesi tengono conto della fattibilità strutturale. La divisione modulare considera le dimensioni dei materiali, la produzione, il trasporto e l'assemblaggio. È stato costruito un prototipo in scala 1:30 utilizzando cartone e taglio laser. Sono stati utilizzati flussi di lavoro di fabbricazione digitale, compresi i processi CAD/CAM. I moduli sono stati separati, dispiegati e dotati di linguette per l'assemblaggio. Le linee di taglio e piegatura sono state elaborate tramite taglio laser e l'utilizzo del materiale è stato ottimizzato tramite un algoritmo di nesting.

### Studio delle Ombre

Le ombre sono state analizzate utilizzando un prototipo in scala e un *heliodon*. L'ottimizzazione digitale delle ombre è stata verificata analogicamente. Le ombre di giugno (Fig. 4) coprono completamente il perimetro architettonico, mentre le ombre di febbraio (Fig. 3) permettono alla luce solare di penetrare, raggiungendo la maggior parte dell'area esaminata. Il lavoro ana-

(OTC parameters) and qualitative (visual perception of the context) benefits.

### Computational morphogenesis

The design balances conflicting objectives using parametric tools. Parameters include:

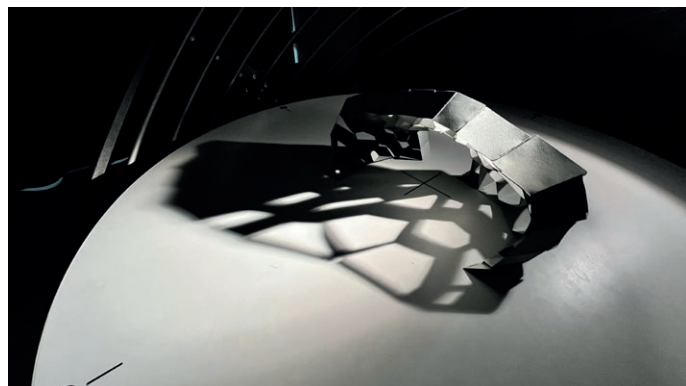
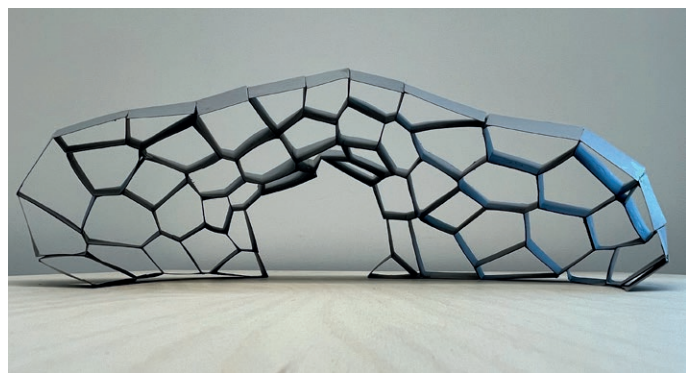
- System form and orientation;
- Module form, orientation, and extrusion;
- Shadow area.

An arched surface aligns with the sun's path to maximise shade in summer. The structure faces north, shielding sunlight effectively. Discretised into a Voronoi grid, each element generates a module with two open bases to allow sunlight and airflow. Module extrusions align with the sun's rays, optimising summer and winter shadows. The openings enhance cooling by allowing airflow during summer.

The extrusion depth and orientation of modules are influenced by visual perception principles. A focal point ensures the structure appears lightweight, framing the landscape. Visitors' views shift dynamically as they move through the space, creating varied visual experiences. Shadow optimisation focuses on the architectural plan's defined area, serving as both a resting and transitional space.

### Prototyping and production

Morphogenesis factors account for structural feasibility. Modular division considers material dimensions, production, transport, and assembly. A 1:30 scale prototype was constructed using cardboard and laser cutting. Digital manufacturing workflows, including CAD/CAM processes, were employed. Modules were separated, unfolded, and equipped with tabs for



assembly. Cutting and folding lines were processed via laser cutting, and material usage was optimised through a nesting algorithm.

### Shadow study

Shadows were analysed using a scale prototype and a *heliodon*. Digital shadow optimisation was verified analogically. In June, shadows fully cover the architectural perimeter (Fig. 4), while in February (Fig. 3) sunlight penetrates through the structure, reaching most of the examined area. The potential for working in an analogue format, which includes spontaneous movements and manipulations, can lead to the emergence of intuitions and useful techniques for future experiments.

### Climatic comfort analysis

For the analysis of climatic comfort, the analysis area corresponds to the

section of ground beneath the structure, measuring approximately 10 x 5 metres, resulting in a total surface area of 50 square metres. The analysis grid is subdivided into squares measuring 0.5 x 0.5 m each, being the structure located at the University Campus of Parma, Italy, thus the EPW climate data of the two representative weeks (summer and winter) for this region are utilised.

### Results

The study conducted has led to the development of a temporary architectural system designed to enhance climatic comfort in summer while not decreasing the actual level of comfort in winter. The system is designed as a pavilion, with a maximum height of 4.26 metres, an average depth of 5 metres, and a width of 14 metres. The climatic influence of the system covers an area of approximately 65 square

*Ladybug.* Queste simulazioni si basano sull'*Universal Thermal Climate Index* (UTCI). L'area di analisi corrisponde alla sezione di terreno sotto la struttura, con dimensioni di 10 x 5 metri, per una superficie totale di 50 metri quadrati. La griglia di analisi è suddivisa in quadrati di 0,5 x 0,5 metri ciascuno. La struttura si trova nel Campus Universitario di Parma, Italia; pertanto, sono stati utilizzati i dati climatici EPW per questa regione. Sono stati selezionati due periodi di analisi: uno rappresentativo di una settimana tipo estiva e l'altro di una settimana tipo invernale, basati sulle statistiche climatiche di Parma. La settimana tipo estiva va dal 6 al 14 giugno, dalle 8:00 alle 20:00; la settimana tipo invernale si estende dal 3 al 9 febbraio, dalle 9:30 alle 17:00.

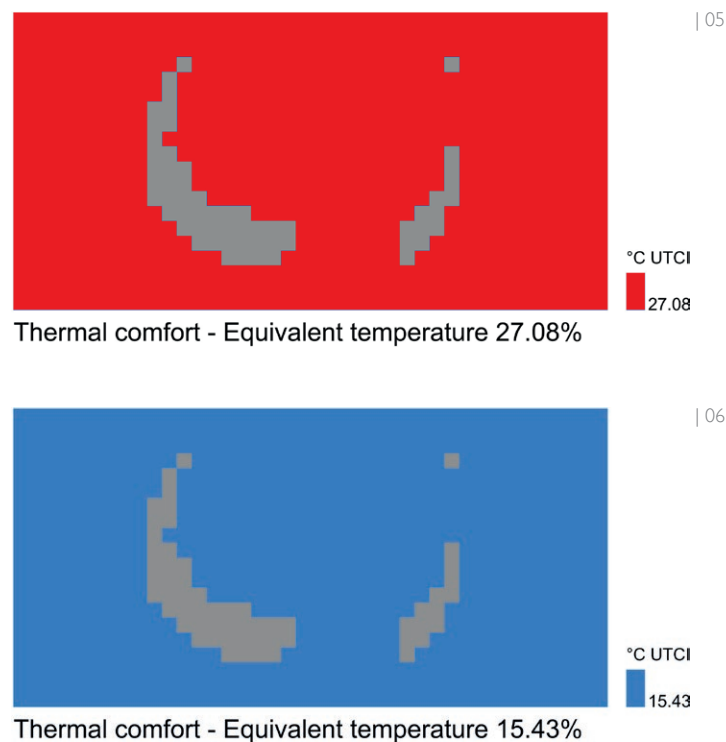
## Risultati

Lo studio condotto ha portato allo sviluppo di un sistema architettonico temporaneo progettato per migliorare il comfort climatico durante l'estate e non diminuire il livello effettivo di comfort durante l'inverno. Il sistema è stato progettato come un padiglione, con un'altezza massima di 4,26 metri, una profondità media di 5 metri e una larghezza di 14 metri. L'influenza climatica del sistema copre un'area di circa 65 metri quadrati, corrispondente allo spazio all'interno del perimetro architettonico. Lo studio delle ombre da parte dell'*heliodon* fornisce una prima verifica empirica del corretto funzionamento del sistema in relazione alla luce solare. Come illustrato nelle Figure 4, è evidente che durante il mese di giugno l'area all'interno del perimetro architettonico è completamente ombreggiata. Al contrario, durante il mese di febbraio (Fig. 3), i raggi solari penetrano attraverso le perforazioni dei moduli, illuminando la maggior parte dell'area di interesse.

metres, corresponding to the space within the architectural perimeter. The study of shadows by the heliodon provides an initial empirical verification of the system's proper function in relation to sunlight. As illustrated in Figure 4, it is evident that the area within the architectural perimeter is completely shaded in the month of June. Conversely, during the month of February (Fig. 3), the sun's rays penetrate through the module's perforations, illuminating most of the area of interest. The OTC simulation results indicate that during the typical summer season, which spans from 6 June to 14 June, in daytime between 08:00 am and 08:00 pm, the equivalent UTCI temperature for Parma is 27.08 °C (Fig. 5). The proposed project reduces the equivalent UTCI temperature to 25.46 °C, with areas achieving temperatures as low as

21.96 °C (Fig. 7). When we relate these data to the UTCI scale, we observe a transition from a moderate heat stress level to a no thermal stress level, successfully meeting the desired objective for the summer season. During the winter season, the typical week in Parma spans from 3 February to 9 February. The daytime operating hours from 09:30 am to 05:00 pm were used. In this period, the equivalent UTCI temperature for Parma is 15.43 °C (Fig. 6). The structure slightly reduces the UTCI equivalent temperature to 13.37 °C, with a maximum of 9.38 °C (Fig. 8). Despite this decrease in temperature, the level of thermal comfort remains within the no thermal stress zone according to the UTCI scale, which is defined as being between 9 °C and 26 °C. The 1:30 scale model is utilised to verify visual perception. This model

I risultati della simulazione OTC indicano che durante la tipica stagione estiva, che va dal 6 al 14 giugno, nelle ore diurne tra le 08:00 e le 20:00, la temperatura equivalente UTCI per Parma è di 27,08 °C (Fig. 5). Il progetto proposto riduce la temperatura equivalente UTCI a 25,46 °C, con aree che raggiungono temperature di 21,96 °C (Fig. 7). Rapportando questi dati alla scala UTCI, si osserva una transizione da un livello di stress termico moderato a un livello di stress termico nullo, raggiungendo con successo l'obiettivo desiderato per la stagione estiva. Durante la stagione invernale, la settimana tipica di Parma va dal 3 al 9 febbraio. Sono state utilizzate le ore diurne di funzionamento dalle 9:30 alle 17:00. In questo periodo, la temperatura equivalente UTCI per Parma è di 15,43 °C (Fig. 6). La struttura riduce leggermente la temperatura equivalente UTCI a 13,37 °C, con un massimo di 9,38 °C (Fig. 8). Nonostante questa diminuzione della temperatura, il livello di comfort termico rimane all'interno della zona di non stress termico secondo la scala UTCI, che è definita come compresa tra 9 °C e 26 °C. Il modello in scala 1:30 viene utilizzato per verificare la percezione visiva. Questo modello utilizza la prospettiva fotografica per dimostrare come, da una specifica angolazione, fornisca una visione del contesto incorniciato unicamente da una griglia (Fig. 2). Il movimento del visitatore attraverso lo spazio crea ulteriori potenziali frammentazioni della visione, dando luogo a un continuo gioco di esperienze visive.



07 | Temperatura equivalente UTCI durante la stagione estiva tipica a Parma, dal 6 al 14 giugno, tra le 08:00 e le 20:00. Post Operam  
 UTCI Equivalent temperature during the typical summer season in Parma, which spans from 6 June to 14 June, between 08:00 am and 08:00 pm. Post Operam

08 | Temperatura equivalente UTCI durante la stagione invernale tipica a Parma, dal 3 al 9 febbraio, con orari operativi dalle 9:30 alle 17:00. Post Operam  
 UTCI Equivalent temperature during the typical winter season in Parma, from 3 February to 9 February, with operating hours from 9:30 am to 05:00 pm. Post Operam

La ricerca ha dato i risultati sperati. In particolare, la struttura testata incorpora un doppio funzionamento estate/inverno per il controllo del clima, migliorando il comfort termico durante l'estate e mantenendo livelli di comfort costanti in inverno. Contemporaneamente, l'architettura stabilisce un rapporto visivo dinamico tra il visitatore e l'ambiente circostante. La fattibilità, sebbene sia stata testata solo con un modello in scala, è destinata a essere implementata utilizzando gli stessi processi di fabbricazione digitale su scala reale.

### Limiti e Sviluppi Futuri

La ricerca presenta alcune limitazioni, riassunte di seguito, principalmente dovute alla sua natura sperimentale.

- *Site-specific*: la natura *site-specific* della struttura è un punto di forza notevole, ma limita l'applicabilità universale del progetto. Sebbene la metodologia di morfogenesi tramite design parametrico sia adattabile, la sua efficacia deve essere testata in ambienti diversi per confermare la sua idoneità.
- Settimane tipiche (estate e inverno): la ricerca si concentra su "settimane tipiche" specifiche per l'analisi climatica, il che fornisce utili approfondimenti, ma non tiene conto delle variazioni su periodi più lunghi. Un'analisi temporale estesa migliorerebbe i risultati.

Alcuni lavori futuri possono superare queste limitazioni, qui di seguito proposti:

- Test in diverse località: per validare la versatilità della metodologia proposta, le future ricerche coinvolgeranno il test del sistema in contesti geografici e climatici diversi, valutandone l'adattabilità e l'efficacia.
- Analisi su intere stagioni: gli studi futuri amplieranno l'a-

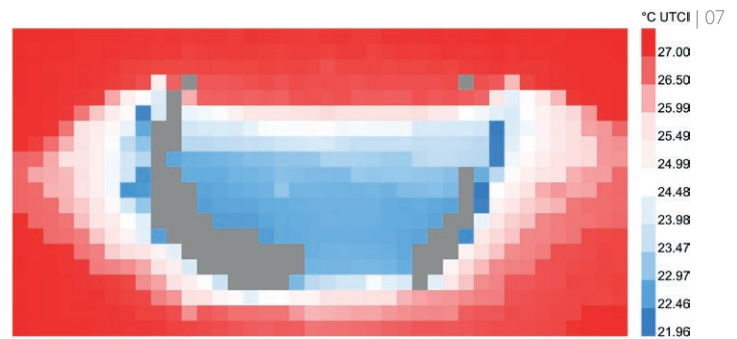
employs photographic perspective to demonstrate how, from a specific angle, it provides a view of the context framed solely by a grid (Fig. 2). The visitor's movement through the space creates additional potential fragmentations of vision, resulting in a continuous interplay of visual experiences. The research has yielded the desired results. Specifically, the tested structure incorporates a dual summer/winter operation for climate control, enhancing thermal comfort during the summer, while maintaining consistent comfort levels in the winter. Simultaneously, the architecture establishes a dynamic visual relationship between the visitor and the surrounding environment. Feasibility, although tested only with a scale model, is intended to be implemented using the same digital manufacturing processes at full scale.

### Limits and future work

The research has certain limitations, summarised below, mainly due to its experimental nature.

- *Site-specific*: the site-specific nature of the structure is a notable strength, but it also limits the design's applicability in other locations. While the morphogenesis methodology by parametric design is adaptable, its effectiveness needs testing in diverse environments to confirm its suitability beyond the case study location.
- *Typical Weeks (Summer and Winter)*: the research focuses on specific "typical weeks" for climatic analysis, which provides valuable insights but does not account for variations over longer periods. An extended temporal analysis would improve the robustness of the findings.

Some future work can overcome these



Thermal comfort - Equivalent temperature 25.46%



Thermal comfort - Equivalent temperature 13.37%

nalisi includendo i dati per le intere stagioni estiva e invernale, fornendo una comprensione più completa delle prestazioni del sistema durante l'anno.

- Fabbricazione e validazione 1:1: sarà intrapresa la fabbricazione su scala reale (1:1) del sistema, consentendo una validazione diretta dell'analisi climatica tramite misurazioni in situ. Ciò garantirà la praticità e l'efficacia del progetto in applicazioni reali.

### Conclusioni

La ricerca presentata dimostra l'obiettivo iniziale di investigare il potenziale delle strutture urbane temporanee e leggere per

limitations. They are proposed below:

- *Testing in Different Locations*: to validate the versatility of the proposed methodology, future research will involve testing the system in different geographical and climatic contexts, assessing its adaptability and effectiveness.
- *Analysis Across Entire Seasons*: future studies will expand the analysis to include data for the entire summer and winter seasons, providing a more comprehensive understanding of the system's year-round performance.
- *1:1 Fabrication and Validation*: a full-scale (1:1) fabrication of the system will be undertaken, allowing for direct validation of climatic analysis through in situ measurements. This will ensure the practical effectiveness of the design in real-world applications.

### Conclusions

The research presented demonstrates the initial aim to investigate the potential of temporary and light urban structures in view of providing outdoor thermal comfort and visual interaction while improving carbon neutrality of the urban environment through the following key points:

- *Designing a Passive System*: Development of a structure that enhances the need for energy consuming applications (misting fans and outdoor heaters);
- *Promoting Climate Adaptation*: Design of a structure that enhances the liveability of urban spaces in the context of climate change, providing improved comfort without energy consumption and minimising

fornire comfort termico all'aperto e interazione visiva, contribuendo al miglioramento della neutralità carbonica nell'ambiente urbano attraverso i seguenti punti chiave:

- Progettazione di un sistema passivo: sviluppo di un'architettura modulare ottimizzata per massimizzare l'ombreggiatura in estate, mantenendo condizioni favorevoli in inverno, eliminando la necessità di fonti energetiche esterne.
- Promozione dell'adattamento climatico: progettazione di una struttura che migliora la vivibilità degli spazi urbani nel contesto dei cambiamenti climatici, offrendo maggiore comfort senza consumo energetico aggiuntivo e riducendo al minimo l'impatto ambientale rispetto ai sistemi di controllo attivo del clima.
- Interazione visiva: la struttura architettonica lavora come filtro alla visione del panorama da parte del passante, che sperimenta un'esperienza immersiva tramite giochi visivi.
- Sfruttamento della sequestro di carbonio: integrazione dell'uso del legno come materiale da costruzione, sfruttando la sua capacità di sequestrare carbonio durante tutto il suo ciclo di vita, contribuendo così alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.
- Ottimizzazione dell'uso dei materiali e della fabbricazione: impiego di strumenti di progettazione digitale e simulazione per migliorare le prestazioni climatiche, riducendo al minimo gli sprechi di materiale, supportato da tecniche di fabbricazione avanzate che garantiscono efficienza.
- Garantire la sostenibilità nell'implementazione: priorità alla provenienza sostenibile dei materiali nella realizzazione del sistema, traducendo la neutralità climatica teorica in benefici tangibili nel mondo reale.

environmental impact compared to active climate control systems;

- Visual interaction: The strong personality of the architectural composition characterises the urban space. Passers-by have a view of the panorama through the architectural structure that changes according to the point of view, achieving an immersive experience;
- Leveraging Carbon Sequestration: Integration of the use of wood as a construction material of the future 1:1 scale structure, harnessing its capacity to sequester carbon throughout its lifecycle, thereby contributing to reduce overall CO<sub>2</sub> emissions;
- Optimising Material Use and Fabrication: Employment of digital design and simulation tools for enhancing climatic performance while minimising material waste,

supported by advanced fabrication techniques that ensure efficiency;

- Ensuring Sustainability in Implementation: Priority to the sustainable sourcing of materials in the system's creation, translating theoretical climate neutrality into measurable, real-world benefits.
- By achieving these points, the research delivers an integrated, sustainable architectural solution that combines passive design with material and performance efficiency, contributing meaningfully to climate neutrality in urban environments and immersive experience for people.

Raggiungendo questi punti, la ricerca fornisce una soluzione architettonica integrata e sostenibile che combina il design passivo con l'efficienza dei materiali e delle prestazioni, contribuendo significativamente alla neutralità carbonica negli ambienti urbani e offrendo un'esperienza immersiva per le persone.

## REFERENCES

- Asato, A. (2018), *Pavilions as Urban Placemakers: Temporary Architecture and Community Engagement*, University Honors Theses, Paper 536, Portland State University, PDXScholar, Portland. Available at: <https://doi.org/10.15760/honors.541> (Accessed on 29/11/2024).
- Bröde, P., Jendritzky, G., Fiala, D., and Havenith, G. (2010), "The Universal Thermal Climate Index UTCI in Operational Use", *Proceedings of Conference Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Windsor, UK, April 9-11, 2010, pp.1-6. Available at: [https://utci.org/resources/windsor\\_vers05.pdf](https://utci.org/resources/windsor_vers05.pdf) (Accessed on 29/11/2024).
- De Luca, F. (2017a), "Solar collection multi-isosurface method: Computational design advanced method for the prediction of direct solar access in urban environments", *Proceedings of CAAD Futures 2017*, Istanbul, Turkey, July 12-14, 2017, Communications in Computer and Information Science, Vol. 724, pp. 170-187. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5197-5\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-5197-5_10) (Accessed on 29/11/2024).
- De Luca, F. (2019a), "Sun and wind: integrated environmental performance analysis for building and pedestrian comfort", *Proceedings of the 10th Annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design SimAUD 2019*, Atlanta (GE), USA, April 7-9, 2019, Simulation Series, Volume 51, Issue 8, pp. 3-10. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3390098.3390099> (Accessed on 29/11/2024).
- De Luca, F. (2017b), "From Envelope to Layout. Buildings Massing and Layout Generation for Solar Access in Urban Environments", *Sharing Computational Knowledge! ShoCK!*, *Proceedings of the 35th International Conference eCAADe*, Rome, Italy, September 20-22, Vol. 2, pp. 431-440. Available at: [https://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017\\_164.pdf](https://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_164.pdf) (Accessed on 29/11/2024).
- De Luca, F. (2019b), "Environmental Performance-Driven Urban Design: Parametric Design Method for the Integration of Daylight and Urban Comfort Analysis in Cold Climates", *Proceedings of CAAD Futures 2019*, Daejeon, South Korea, July 26-28, 2019, Communications in Computer and Information Science, Vol. 1028, pp. 15-31. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8410-3\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-8410-3_2) (Accessed on 29/11/2024).
- Eslamirad, N., Sepúlveda, A., De Luca, F. and Sakari Lylykangas, K. (2022), "Evaluating Outdoor Thermal Comfort Using a Mixed-Method to Improve the Environmental Quality of a University Campus", *Energies*, Vol. 15, n. 4, 1577. Available at: <https://doi.org/10.3390/en15041577> (Accessed on 29/11/2024).
- Gatto, E., Buccolieri, R., Aarrevaara, E., Ippolito, F., Emmanuel, R., Peronnace, L. and Santiago, J.L. (2020), "Impact of Urban Vegetation on Outdoor Thermal Comfort: Comparison between a Mediterranean City (Lecce, Italy) and a Northern European City (Lahti, Finland)", *Forests*, Vol. 11, n. 2, 228. Available at: <https://doi.org/10.3390/f11020228> (Accessed on 29/11/2024).

- Naboni, E., Siani, R., Turrini, M., Touloupaki, E., Gherri, B. and De Luca, F. (2023), "Experiments on Microclimatically adapt a courtyard to climate change", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1196, 012032. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1196/1/012032> (Accessed on 29/11/2024).
- Oxman, R. and Oxman, R. (2014), *Theories of the Digital in Architecture*, Routledge, New York. Available at: <https://www.routledge.com/Theories-of-the-Digital-in-Architecture/Oxman-Oxman/p/book/9780415469241> (Accessed on 29/11/2024).
- Pugnale A. and Sassone, M. (2007), "Morphogenesis and structural optimization of shell structures with the aid of a genetic algorithm", *Journal of the International Association For Shell And Spatial Structures*, Vol. 48, n. 3, pp. 161-166. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/271522718\\_Morphogenesis\\_and\\_Structural\\_Optimization\\_of\\_Shell\\_Structures\\_with\\_the\\_Aid\\_of\\_a\\_Genetic\\_Algorithm#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/271522718_Morphogenesis_and_Structural_Optimization_of_Shell_Structures_with_the_Aid_of_a_Genetic_Algorithm#fullTextFileContent) (Accessed on 29/11/2024).
- Rota, P., Gravante, A. and Zazzi, M. (2019), "Urban Heat Island (UHI) risk maps as innovative tool for urban regeneration strategies. The case of Parma", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 296, 012034. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/296/1/012034> (Accessed on 29/11/2024).
- Santamouris, M. (2014), "Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments", *Solar Energy*, Vol. 103, pp. 682–703. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2012.07.003> (Accessed on 29/11/2024).
- Santamouris, M. (2015), "Regulating the damaged thermostat of the cities – Status, impacts and mitigation challenges", *Energy and Buildings*, Vol. 91, pp. 43–56. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.01.027> (Accessed on 29/11/2024).
- Santamouris, M. (2020), "Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change", *Energy and Buildings*, Vol. 207, 109482. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2019.109482> (Accessed on 29/11/2024).
- Siani, R. (2020), "Materiali Naturali – Progettazione Generativa. Dall'anti-tesi alla sintesi", In Perriccioli, M., Rigillo, M., Russo Ermolli, S. and Tucci F. (Eds.), *Design in the Digital Age. Technology Nature Culture | Il Progetto nell'Era Digitale*, Tecnologia Natura Cultura, Maggioli Editore. Available at: <https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf> (Accessed on 01/02/2025).
- Siani, R. (2023), "Algorithm Morphogenesis by Solar Parameters and Model Fabrication of a Temporary Architecture", *Proceedings of eCAADe RIS 2023*, Tallinn, Estonia, June 15-16, 2023, pp. 183-188. Available at: [https://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaaderis2023\\_52.pdf](https://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaaderis2023_52.pdf) (Accessed on 29/11/2024).
- UN-Habitat (2023), *Urban Energy*, United Nations Human Settlements Programme, Nairobi, Kenya. Available at: <https://unhabitat.org/topic/urban-energy> (Accessed on 29/11/2024).