

Modellazione

PARAMETRICA

tra il

BIG DATA e
FORM FINDING
AMBIENTALE.

Il caso di un

PADIGLIONE per
ESTERNI in Torino.

EDWARD ONIDA



Politecnico di Torino
Dipartimento di Architettura e Design
C.D.L in **Architettura per il Progetto Sostenibile**
a.a. **2020-2021**

Tesi di laurea Magistrale:
Modellazione Parametrica tra il Big Data e Form Finding Ambientale.
Il caso di un padiglione per esterni in Torino.

Parametric Modelling between Big Data and Environmental Form Finding.
The case of an outdoor pavillion in Turin.

Sessione di Laurea di Febbraio 2021

Candidato	Edward Onida
Relatore	Prof. Massimiliano Lo Turco (DAD)
Correlatori	Prof. Roberto Giordano (DAD)
	Prof. Valerio R.M. Lo Verso (DENERG)
	Arch. Andrea Tomalini (DAD)

L'idea di questa tesi è derivata dalla volontà di esplorare e definire un modello di progettazione interdisciplinare e progressivo utilizzando strumenti parametrici di programmazione, con l'obiettivo finale di progettare un padiglione per esterni che migliori le condizioni sociali e microclimatiche di un contesto.

A tal proposito, la struttura della presente tesi è tripartita in macroargomenti che trattano le diverse scale del progetto, partendo dalla scelta analitica del luogo più adatto sul territorio urbano di Torino, continuando con l'ottimizzazione genetica della morfologia schermante, e concludendo il percorso tramite la descrizione dei caratteri produttivi e costruttivi del padiglione.

Gli spazi esterni di una città contemporanea sono caratterizzati da un'eterogeneità e complessità difficilmente comprensibile senza l'utilizzo dei numerosi strumenti digitali che i recenti avanzamenti tecnologici hanno messo a disposizione dei progettisti. Questi metodi innovativi, derivati principalmente della Data Science, offrono nuove modalità di analisi e progettazione degli spazi, basandosi sui dati che vengono prodotti in tempo reale con i dispositivi smart.

In particolare, usando il Big Data della piattaforma Instagram è stato possibile rilevare le tendenze sociali di utilizzo per 51 luoghi esterni di Torino, e di confrontarle con le possibilità offerte dalla costruzione del padiglione, attuando di fatto un sistema di progettazione partecipata, che permette di operare un intervento in maniera mirata per le necessità della popolazione.

Al contempo, l'utilizzo degli spazi esterni non dipende esclusivamente dagli aspetti sociali, ma anche dalle condizioni microclimatiche che influiscono in maniera primaria sul comfort. Di conseguenza, si è proceduto ad analizzare i suddetti luoghi anche dal punto di vista di alcuni aspetti fisico-tecnici; incrociando le suddette informazioni è stato infine possibile valutare oggettivamente quanto un luogo è più adatto alla costruzione del padiglione.

Una volta scelto il contesto su cui operare, si è passati alla definizione della forma del padiglione, continuando ad esplorare i metodi della progettazione ambientale tramite lo sviluppo di un workflow di Form-Finding Ambientale. L'approccio proposto in questa istanza, integra le esperienze di Frei Otto con le ricerche di Gerber e Pantazis, risultando in un metodo che attraverso l'utilizzo dei sistemi partecellari multiagenti (MAS) e di alcuni elementi climatici come il sole e il vento, ha generato una serie di involucri a forme libere ottimizzate dal punto di vista ambientale.

Nell'ultima sezione della tesi si è proceduto a razionalizzare la geometria globale, utilizzando due tipi di moduli discreti, intervincolati e autoportanti. Per garantire il comfort di fruizione, essi sono stati posizionati sulla geometria globale seguendo le strategie ambientali passive e sviluppate fino a questo punto.

Alla fine di questa fase, sono state proposte alcune soluzioni tecnologiche relative alle fasi di produzione e costruzione, principalmente per limitare l'impatto ambientale derivato dalla struttura, e facilitare la costruzione.

In conclusione, anche se il processo parametrico definito in fase di ricerca è stato applicato al caso studio di Torino, in realtà la stessa metodologia può essere applicata automaticamente in altri contesti, fornendo uno strumento di supporto automatizzato per numerose figure che si occupano della progettazione degli spazi esterni.

The idea of this thesis came from the interest of exploring and defining an interdisciplinary and progressive design model by using parametric programming tools, with the final aim of designing an exterior pavilion which would improve social and microclimatic conditions of a context.

In this regard, the structure of this thesis is divided in three separate parts, starting from the analytic choice of the most suited place for construction in the city of Turin, continuing with the genetic optimization of the shading morphology and concluding with the definition of constructive and productive aspects of the pavillion.

The outdoor spaces of a contemporary city are characterized by a complexity and heterogeneity hardly understandable without the implementation of the many tools for designers introduced by recent digital advancements.

These innovative methods, which are mainly derived from Data Science, offer new ways to understand and design the city, by basing the decisions on the data that is produced in real time by smart devices.

By using the Big Data produced by the social network Instagram, it has been possible to understand the social tendencies of use relative to 51 outdoor spaces in Turin, and to compare them with the possibilities brought by the construction of the pavillion, triggering an e-participative method of design, which is entirely based on the needs of the population.

At the same time, the usage of exterior spaces does not rely solely on social aspects, but also on microclimatic conditions which strongly affect the comfort perception. Therefore, the same outdoor spaces were analyzed from an environmental perspective; by crossing the information gathered to this point, it was possible to choose objectively where the pavilion would bring more benefit.

Once a design content was chosen, the next section of the research regarded the definition of the pavillion morphology, which would be based on an Environmental Form Finding methodology. The proposed approach complements the experiences of Frei Otto and Gerber and Pantazis, by using multi-agent systems (MAS) and some climatic elements such as sun and wind, which in the end generated a series of free-form shells, optimized from an Environmental perspective.

In the last section of the work the global geometry of the shells had to be rationalized, by using two types of discrete interlocking modules. In order to guarantee the fruition comfort, these modules had been positioned by following the passive climatic strategies developed to this point. At the end of this step, a few technical and detailed solutions were designed, mainly to reduce the Environmental impact of the structure and to ease up the construction.

In conclusion, even if the parametric process defined during the research phase has been applied to the Turin case study, the same three step method can be applied automatically in other cities, rendering this method a good support tool for many professionals who deal with the design of outdoor spaces.

L'architettura e la relazione con la complessità

Naturalmente, un Padiglione

Gli spunti dell'esperienza dell'urbanismo tattico

Le radici del pensiero parametrico

Le prime esperienze parametriche moderne dal 1900: Antoni Gaudì

Le prime esperienze parametriche moderne dal 1900: Frei Otto

La Svolta Computazionale

La Morfogenesi Digitale e la Computazione Evolutiva

Analisi delle Strutture Leggere Responsive

Data Driven Decision

Prima selezione dei possibili luoghi di progetto

Seconda Selezione: Raccolta Dati e costruzione dei Data Set

Analisi delle Condizioni Ambientali a livello Urbano

Ponderazione criteri analisi e presentazione risultati

Progettare lo Spazio tramite il Form Finding Ambientale

I Parametri Bioclimatici

Analisi Caratteristiche Climatiche e Scelta Parametri climatici per Torino

Ottimizzazione Multi-Parametro e Presentazione dei Risultati della Geometria Globale

L'Architettura dei Sistemi Discreti

Definizione del Modulo Discreto

L'aggregazione digitale e la Produzione dei Moduli

Tecnologia e montaggio del padiglione

Conclusioni e Considerazioni Finali

Bibliografia

8

11

12

19

22

25

31

36

46

53

56

61

65

69

84

87

92

106

116

118

124

131

147

153

FASE METAPROGETTUALE E OBIETTIVI

A_ Quali problematiche Spazi Esterni?

0. Mancanza di comfort di fruizione degli ambienti esterni
1. Mancanza di uno spazio definito per l'aggregazione e ritrovo
2. Difficoltà di comunicazione tra cittadini e municipalità

B_ Perché metodo parametrico?

0. Studio delle esperienze sperimentali di A. Gaudì e Frei Otto. Form finding come metodo analitico di ricerca formale.
1. La modellazione per parametri piuttosto che per coordinate proposta da John Frazer. Vantaggi dell'architettura generativa e responsiva
2. Metodo parametrico permette di essere applicato ovunque e gestire la complessità dei dati in maniera efficiente e integrata
3. Permette di progettare architetture complesse a cavallo tra arte e cultura

PROGETTAZIONE AMBIENTALE E ANALISI BIG DATA

E_ Definizione del metodo del form finding ambientale e ottimizzazione parametri

0. Necessità di generare una morfologia ottimizzata per svolgere attività "sociali e volontarie".
1. Sistema a particelle MAS genera una superficie strutturalmente performante
2. Analisi dei principali fattori ambientali del microcontesto - Radiazione solare, venti - per individuare strategia da attuare
3. Definizione del periodo/i di azione delle strategie
4. Superficie strutturale viene geneticamente ottimizzata secondo criteri multipli dei parametri ambientali
5. Selezione dei risultati dell'ottimizzazione seguendo principio di Pareto

C_ Che caratteristiche del manufatto da costruire? Definizione Obiettivi

0. Architettura temporanea ottimizzata rispetto ai dati sociali e climatici
1. Architettura parametrica intesa come intervento artistico per la rigenerazione urbana
2. Tipologia edilizia del Padiglione multiuso per ospitare piccoli eventi di natura sociale come workshop, esposizioni, conferenze, ecc
3. Assemblaggio partecipato per migliorare dinamiche sociali

D_ Individuazione spazi socialmente e climaticamente critici

0. Selezione di serie di luoghi adatti seguendo criteri che definiscono attività sociali bottom-up
1. Crowdsourcing dei dati sociali per luoghi selezionati: Instagram e Strava
2. Analisi delle condizioni microclimatiche urbane per individuare luogo climaticamente peggiore
- 2A. Possibilità di eseguire un'analisi dei sentimenti, estraendo informazioni utili per il progetto
3. I dati forniscono indicazione sulla natura dei luoghi ricercati, sulle attività e sulle fasce orarie di svolgimento.
4. Scelta del luogo torinese più adatto ad ospitare le attività "sociali e volontarie".

PROGETTAZIONE TECNOLOGICA

F_ Caratteristiche tecnologiche e produttive

0. Analisi dello stato dell'arte delle strutture responsive per definire tipologia di adattività
1. Studio dei moduli discreti e di come possano razionalizzare la struttura ottimizzata
2. Definizione delle modalità di montaggio e smontaggio del sistema
3. Ottimizzazione della produzione dei moduli
4. Definizione di altri aspetti tecnologici del manufatto

Fig 0: Mind Map del percorso intrapreso nella tesi.



INTRODUZIONE

L'architettura e la relazione con la complessità

Nel 1969, Richard Buckminster Fuller pubblica il celebre saggio *Utopia or Oblivion*, uno scritto che ha il merito di riassumere lo stato dell'architettura contemporanea, costretta a misurarsi con radicali mutamenti tecnologici che ne ridefiniscono profondamente il significato. E' quasi un'ovvietà dire che la più grande rivoluzione dei nostri tempi è l'avvento di internet, che in poco tempo ha cambiato profondamente il modo in cui lavoriamo, studiamo, ci relazioniamo.

Poco per volta internet sta sconfinando al di fuori dell'ambiente digitale, andando a contaminare l'ambito architettonico per eccellenza, lo spazio. Recentemente infatti si è vista un'esponentiale produzione e raccolta di dati utili ai fini della costruzione e progettazione; statistiche di utilizzo dei mezzi pubblici, informazioni sullo spostamento dei flussi di persone, digitalizzazione di geometrie di intere città e quant'altro¹.

Attualmente è quindi impensabile svolgere un'attività di progettazione senza prendere in considerazione le banche dati, o quantomeno più fattori esterni possibili per definire quanto più le caratteristiche di un progetto architettonico o urbanistico che sia. Sorge a questo punto un problema metodologico: "gli esperti del settore analitico descrivono il **Big Data** in termini di tre V, cioè volume, velocità e varietà. In altre parole i dati raccolti sono troppo grandi per essere processati con gli strumenti consueti del progettista, la loro raccolta è troppo veloce per un ottimale stoccaggio, oltre che essere troppo eterogenei in modo da essere catalogati e compresi in un rigido schema"².

Diventa quindi necessario adottare una metodologia e una strumentazione adeguata per far fronte ai problemi sempre più complessi che le città e le società pongono agli architetti.

In questo caso, i computer e più specificamente le procedure di computazione sono gli alleati dei progettisti da ormai mezzo secolo. Negli anni '60 hanno aiutato l'architettura a svincolarsi dalle limitazioni della

produzione di massa grazie alla progressiva introduzione di programmi CAD, che a loro volta oggi vengono sostituiti mano a mano dal BIM. La creazione di dati e informazioni del progetto ha portato alla capacità dei programmi di dare un aiuto concreto nel processo progettuale, attraverso simulazioni e analisi dei dati propense alla stesura di uno spazio che rispecchi il più possibile i requisiti ambientali, sociali, economici, strutturali - giusto per fare alcuni esempi.

Come fa notare Mario Carpo, molti degli allora giovani architetti sono rimasti affascinati dalle possibilità che i primi programmi di grafica offrivano, fornendo ispirazione³ per opere come il Guggenheim di Bilbao o il Terminal Internazionale di Yokohama. Questa svolta tettonica della fine degli anni 90 è stata resa possibile a causa di una serie di innovazioni tecnologiche, come ad esempio i modellatori spline, che permettevano di maneggiare curve direttamente dallo schermo, attraverso l'ausilio di punti di controllo e vettori direzionali.

Le procedure di computazione hanno quindi sicuramente contribuito a creare un nuovo linguaggio, che attualmente viene denominato **parametricismo**.

Il termine è stato usato per la prima volta nella Biennale di Venezia del 2008 da Patrik Schumacher, per definire uno stile architettonico visivamente complesso, proprio di certi architetti come Zaha Hadid, Wolf Prix, Frank Gehry, Peter Eisenmann, che sono stati tra i primi a utilizzare massivamente procedure computazionali per le proprie opere⁴. Riprendendo la definizione ufficiale "il parametricismo è la autopoiesi, ovvero un sistema di autocreazione, dove tutti gli elementi sono connessi tra loro, e un fatto esterno influenza tutti gli elementi". In altre parole il parametricismo è uno **strumento di progettazione, basato su strumenti matematico-informatici**, che ha quindi la capacità di includere un ampio range di fattori, detti parametri.

I parametri possono essere di natura più svariata, dai fattori ambientali a quelli strutturali che vengono sempre scelti dal progettista, che li impone al computer come vincoli per la progettazione. Le macchine, a differenza di quello che si pensa, non sono esseri intelligenti, ma possono essere paragonate a una squadra di impiegati senza alcuna iniziativa ma con delle istruzioni da eseguire, che sono in grado di seguire precisamente milioni di volte⁵. Pertanto l'architettura parametrica non è prodotta di un futuro distopico dove l'intelligenza artificiale governa il mondo, bensì è sempre frutto di un calcolo complesso governato costantemente dall'uomo.

Purtroppo l'affiliazione iniziale con il decostruttivismo ha portato il termine parametricismo a essere visto esclusivamente per definire un linguaggio, piuttosto che per un approccio olistico alla progettazione. Di conseguenza, dopo una prima fase di forte espansione, i centri di formazione sono di nuovo tornati a prediligere il neo-razionalismo⁶, fortemente caratterizzato da principi fordisti e molto spesso inadatto ad accogliere le sfide che una società sempre più digitale e complessa pone. Ridurre il parametricismo al puro formalismo sarebbe una distorsione della realtà, in quanto le esperienze dei cosiddetti proto-parametricisti come Isler o Frei denotano chiaramente che espressione e efficienza possono essere sinonimi. Le ricerche dei suddetti personaggi denotano inoltre che pensare in modo parametrico è prima di tutto una metodologia e un workflow, a cui nell'era digitale è stato apposto il nome parametricismo, ma sarebbe potuto essere chiamato diversamente in un'altra epoca.

Attualmente sono in atto numerosissime ricerche per portare avanti strumenti e metodi della progettazione parametrica, suddivisi in macro temi paralleli che spaziano dalla prototipazione rapida fino a modelli di simulazione partecipativi per la progettazione urbanistica, e tutti hanno l'obiettivo di gestire la complessità della società moderna.

Uno dei filoni più interessanti risulta lo sviluppo di intelligenze artificiali (AI) applicate all'architettura. La AI è uno dei pochi strumenti automatizzati in grado di far fronte ai problemi posti da un sistema complesso, nel caso pratico, possono essere i dati dell'ambiente in cui un architetto deve costruire, oppure i sentimenti che esprimono le persone pubblicando un post di Instagram o Twitter.

L'ambiente quindi, è composto da numerosi agenti autonomi (i dati delle persone, della città, dei mezzi ecc) che si interfacciano tra di loro seguendo leggi proprie o dell'ambiente, generando di fatto un sistema complesso, come viene chiamato all'interno della computer science. L'obiettivo dei sistemi complessi, è lo stesso dei sistemi naturali, cioè quello di organizzarsi secondo le condizioni esterne seguendo varie generazioni di genomi⁷ - seguendo lo stesso procedimento che si instaura nella evoluzione biologica. In quanto gli agenti sono in gran quantità e sono difficilmente catalogabili, per elaborare i dati si utilizzano particolari sistemi di intelligenza artificiale, dette reti neurali artificiali. Essi sono in grado di simulare l'apprendimento e il riconoscimento di pattern di un cervello biologico. Sono composti da una serie di neuroni collegati da una rete: ogni neurone ha l'obiettivo di "accendersi" quando misura un prestabilito livello di intensità di un dato, catalogandolo⁸. Questo tipo di struttura logica può essere particolarmente utile nelle simulazioni dove i risultati non hanno una univoca interpretazione secondo criteri espliciti, ma sono basati su dei ragionamenti compositi.

Avendo a disposizione la categorizzazione del dato è possibile infine simularne l'interazione con altri dati in ambiente digitale. Già nel 2011 Marsh e Khan hanno previsto che la simulazione sarebbe avvenuta in ogni fase progettuale, fatto che avrebbe permesso modelli più dettagliati e l'integrazione tra le informazioni dell'edificio⁹. In questo modo gli scenari preliminari di un progetto possono essere valutati rispetto a disparati parametri, tra i quali quelli fisico-tecnici (daylight, shading, airflow, ecc), quelli di fruibilità, e procedere infine con la scelta della strategia migliore. Infatti una volta che i dati sono stati sottoposti a simulazione, si può passare alla fase di ottimizzazione. Questo aspetto è sempre più importante per ridurre l'utilizzo delle risorse nel settore delle costruzioni e per favorire un uso circolare di esse, in una società in cui gli edifici sono responsabili del 40% dei consumi energetici e del 36% delle emissioni di CO₂.¹⁰

È importante ricordare che attualmente gli strumenti di simulazione non sono più ad uso esclusivo di professionisti altamente specializzati, ma che ormai sono facilmente disponibili per tutte le fasce di progettisti e studenti. Inoltre grazie alla cosiddetta "innovazione aperta", intrapresa in particolare dalla software house McNeel, si è creato un ampio ecosistema di programmi ad hoc che permettono la computazione e la connessione diretta del progetto con problemi reali dell'ambiente costruito.

Alla luce di queste considerazioni di varia natura si può affermare che l'approccio parametrico è attualmente l'unico che permette di considerare contemporaneamente una moltitudine di problemi legati alla complessità dell'ambiente antropizzato, ed esprimerli secondo un **analisi oggettiva** che permetterà al progettista di plasmare la propria idea secondo un approccio completo.

Naturalmente, un Padiglione

Oltre a fornire una metodologia comprensiva, il parametricismo possiede anche una fortissima **valenza artistica** ed espressiva, che se applicato in un contesto sufficientemente ampio, è in grado di migliorare l'immagine che si ha di una città, traformandola in un polo di arte e cultura. Questi concetti infatti assumono un'importanza fondamentale per lo sviluppo delle città e delle sue comunità, a causa dell'elevato impatto che un'opera artistica o architettonica può avere. Numerosi sono gli autori che hanno messo in luce, a livello teorico, come il **legame tra sviluppo urbano e arte** - inteso in questa sede come architettura parametrica - sia stringente anche in una prospettiva di "politica dello sviluppo urbano" e come tali concetti diventano centrali all'interno delle politiche di sviluppo da e per la città¹¹. In questo senso, fare politiche di immagine per attrarre visitatori, investimenti, fiere, per organizzare ed ospitare eventi artistici e patrimoni culturali, costruire ad opera delle archistar edifici simbolo, diventerebbe oggi a tutti gli effetti, una delle urgenze delle agende politiche di qualsiasi città¹², come dimostrano le esperienze di numerose città europee - tra le quali Bilbao, Manchester, Rotterdam - che sono state in grado di reinventarsi sfruttando gli investimenti derivati dal tema della cultura, inserita in spazi fortemente caratterizzati.

Ma se da un lato, la politica della cultura favorisce lo sviluppo e la proliferazione delle menti creative, dall'altro, ignora quasi completamente le necessità della popolazione "comune", che è ridotta al servizio delle opere o degli eventi, organizzati molto spesso senza la partecipazione dei cittadini "non creativi"¹³. Di conseguenza, all'interno dello sviluppo della presente ricerca, si ritiene fondamentale assumere un **approccio "dal basso" per la progettazione**, di modo che l'opera progettata sia effettivamente rappresentativa della maggioranza della popolazione. Questo suppone che l'esito finale non rappresenti un grande centro per eventi in grado di ospitare migliaia di persone, oppure una sala proiezioni di proprietà di una grande società, bensì si cercherà di progettare un manufatto che in prima battuta abbia una funzione direttamente ricollegabile ad attività culturali promossi dal basso, in grado di attuare delle politiche di rigenerazione simili a quelle proposte dall'Urbanismo Tattico, e in secondo luogo che rispecchi le metodologie e sperimentazioni del parametricismo, in modo da diventare attraverso l'arte e l'architettura temporanea, un tentativo di riqualificazione. Ricordando le parole "Naturalmente, un manoscritto" di Umberto Eco volte a presentare la più probabile modalità di ispirazione del suo romanzo storico "Il Nome della Rosa", anche in questo caso si ritiene che vi possa essere una sola tipologia edilizia che permetta da un lato la sperimentazione architettonica, dall'altro, garantire un certo interesse sociale, cioè un **padiglione multiuso**. Questo dovrà essere inserito all'interno del territorio della città di Torino, in modo da rappresentare un ruolo "chiave" all'interno del sistema dell'arte contemporanea¹⁴, a seguito di una serie di analisi urbane derivate dal Big Data.

L'obiettivo principale del padiglione sarà quello di ospitare all'aperto una serie di **attività sociali legate al mondo della cultura**, proposte da organizzazioni del terzo settore, cioè tutte le associazioni no-profit che hanno scopi solidaristici. All'interno dell'area urbana di Torino è possibile trovare una moltitudine di queste organizzazioni, ed altrettante attività proposte, per la maggior parte di carattere temporaneo. Al fine di comprenderle meglio, evidenziare una traiettoria di progetto chiara e definire il luogo più adatto ad ospitare la struttura, verrà implementato

un sistema di **analisi basato sui dati derivati da una serie di social network** (Instagram e Strava), attraverso i quali le persone lasciano le proprie tracce digitali, esprimendo indirettamente le proprie aspirazioni e pensieri legate ad un luogo specifico, approfittando delle numerose informazioni che internet offre¹⁵.

Questo metodo quindi non implementa la progettazione partecipata nel senso tradizionale, dove vi è necessità della presenza delle persone per concludere un progetto, ma è basata sul principio che tutte le azioni che compiamo online siano rappresentative di una persona nel suo insieme di idee, convinzioni e preferenze, e che pertanto le "impronte digitali" siano in grado di fornire un feedback simile a quello della persona in carne ed ossa, in quanto l'atto stesso di condivisione di una foto geolocalizzata ad esempio, contribuisce a creare la percezione dell'"Immagine della Città", immaginata o reale che sia¹⁶. Questo approccio, chiamato "**e-participation**" è già stato applicato nell'ambito politico per ascoltare i cittadini, che nel web hanno visto una piattaforma per esprimere e proporre autonomamente le proprie idee¹⁷. Pertanto la prima fase di questo lavoro di ricerca e progettazione sarà quella di individuare una metodologia che sia in grado di proporre una funzione di progetto ambita dalle persone, prodotto dall'analisi dei Big Data, cercando di fatto di creare un connubio tra metodologia parametrica e progettazione partecipata.

Essendo che la maggior parte delle attività proposte dagli enti del terzo settore, in particolar modo considerando le restrizioni del distanziamento sociale imposte dal COVID-19, vengono svolte in **ambienti esterni**, anche l'ideazione del futuro contenitore di eventi avverrà in un ambiente outdoor, con tutte le sfide derivate da questa scelta, principalmente legate alla confortevole fruizione di questi spazi durante l'arco della giornata nei mesi caldi, che verrà garantita da un **sistema adattivo**. L'aspetto della fruizione in un maggior periodo possibile assume pertanto un carattere primario, in quanto permetterebbe un'elevata utilità temporale.

Verranno considerati anche altri aspetti, non meno importanti: dato che la natura e le esigenze per ogni attività sociale variano ampiamente, è necessario prevedere una certa **flessibilità** dei caratteri architettonici e strutturali del padiglione, in modo da adeguarsi alla quantità di partecipanti e dimensioni necessarie per un determinato evento. Allo stesso modo, considerando la natura temporanea degli eventi sociali, che molto spesso avvengono in luoghi differenti, vi sarebbe un valore aggiunto se il padiglione diventasse "**itinerante**", grazie ad una serie di tecnologie che ne permettano un rapido smantellamento e montaggio in un luogo diverso.

percorso con un **corpus metodologico trasversale**, che in certi aspetti segue fedelmente gli obiettivi dell'urbanismo tattico, mentre in altri casi si è preferito prediligere l'oggettività del dato statistico, sempre considerando la popolazione comune come utente finale.

Il primo aspetto di similitudine si rileva dall'obiettivo principale, cioè la volontà di rivendicare e migliorare, attraverso la **progettazione partecipata** gli spazi esterni per **migliorare la qualità sociale, architettonica e ambientale di un luogo cittadino**. Come si è già detto, nelle azioni di urbanismo tattico sono le persone che partecipano direttamente alla fase decisionale, mentre nell'approccio ricercato, il progetto è informato indirettamente dalle persone e dai loro dati. Questo aspetto legato all'innovazione portata dal web 2.0 è già stato oggetto di diversi studi^{18 19}, che hanno individuato dinamiche simili a quelle della tradizionale progettazione partecipata, con il vantaggio aggiuntivo che è possibile formulare soluzioni innovative derivate dai dati del crowdsourcing, che è la modalità assunta per l'analisi preliminare del presente lavoro. Ciò implica che il risultato della progettazione sarà condotto seguendo le linee guida derivate dalla e-partecipazione per gli aspetti funzionali, mentre per quelli tecnici, seguendo la metodologia parametrica.

In questo modo, lo spazio sarà predisposto verso una serie di attività ritenute necessarie dai dati sociali, di cui la scelta resterà in mano la popolazione che esprimerà il proprio giudizio in un processo partecipativo.



Fig 1: Foto degli esiti del progetto ZAC presso Cinisello Balsamo (MI)
Fonte: orizzontale.org

Una simile metodologia di incontro tra l'approccio top-down e bottom-up è già stata applicata all'interno del progetto "Costruire Largo Milano", svoltasi a Cinisello Balsamo (MI) durante il 2013-2014.

In questo caso l'obiettivo era la trasformazione di un parcheggio di un concessionario d'auto in uno spazio utile alla comunità. Durante il 2013, per circa sei mesi, il progetto ZAC-zone artistiche condivise ha invitato i residenti ad esprimersi in merito alle proposte progettuali di alcuni professionisti per lo spazio da riqualificare attraverso una piattaforma web. Lo spazio è stato successivamente costruito con la collaborazione tra professionisti e residenti. Il progetto consisteva nella creazione di diverse strutture multifunzionali, che hanno permesso di trasformare uno spazio vuoto in una piazza cittadina a tutti gli effetti, che può essere usata dai residenti come spazio di ritrovo, gioco e sosta. È stato costruito principalmente con l'impiego di materiali di recupero da cantieri, ma

0.2

Gli spunti dell'esperienza dell'urbanismo tattico

Trattandosi di un microprogetto che ha l'ambizione di migliorare un luogo basandosi sulle opinioni "dal basso", può esserci la tentazione di paragonare il padiglione ad un progetto di urbanismo tattico a causa delle numerose somiglianze, il che non è infondato, in quanto sono effettivamente stati presi spunti da questo modo di progettare, sebbene con diverse peculiarità e differenze. Se da un lato queste esperienze hanno fornito ispirazione per fornire una direzione prevalente del campo progettuale, dall'altro risultano difficilmente conciliabili con certi aspetti propri del metodo parametrico. Di conseguenza è stato intrapreso un

anche da grandi eventi come quello del salone del mobile²⁰.

Un altro aspetto in comune è legato al tema della **scala di progetto**, riscontrabile all'interno del testo canonico "Tactical Urbanism. Short-Term Actions for Long-Term Change" di Mike Lydon e Anthony Garcia, dove gli autori criticano le metodologie dell'urbanismo tradizionale, in quanto basato su strategie pianificatorie a lungo termine e progetti di grandi dimensioni, strumenti che difficilmente rispondono alle esigenze di socialità e fruibilità della popolazione. Nonostante la realizzazione di stadi, musei, parchi e centri culturali necessita di un sostanziale contributo in termini di soldi, tempo e capitale sociale, esse non garantiscono un ritorno economico e sociale nel lungo periodo²¹. Gli Autori del libro infatti supportano fortemente il ruolo di micro-progetti temporanei low-cost come importanti strumenti per assicurare e promuovere la qualità, l'accessibilità e la fruibilità di spazi urbani in ambito quotidiano, cioè gli spazi che i cittadini conoscono, usano e rivendicano. Di conseguenza, si ritiene che la scala di un padiglione possa rientrare all'interno di questo campo di azione, al fine di agire in modo efficace sugli spazi che i cittadini vorrebbero trasformare ed utilizzare.

Esempio lampante di tale pratica è FLPP - Occupazione di un micro-spazio invaso da macchine, che si è svolto nel quartiere di San Donato a Sassari, caratterizzato da una serie di problemi sociali e di mancanza degli spazi esterni, nonostante si tratti di un vicinato centrale. Si è pertanto provveduto a liberare dalle auto lo spazio adiacente ad una scuola primaria e un edificio in rovina, con l'intento di ridare ai cittadini la possibilità di rivivere gli spazi pubblici. In particolare, la micro area è stata recintata da una pergola di materiali di recupero e successivamente arredata con materiali di fortuna, in un lasso di tempo di soli due giorni. In questo modo oltre ad aver guadagnato uno spazio fruibile, la cittadinanza ha anche ottenuto la riqualificazione di un edificio abbandonato, ridando l'identità allo spazio comunitario, grazie ad un semplice ombra-costo²².



Fig 2: Foto del team di costruzione della pergola. Fonte: Paola Bazzu et al, Tactical Urbanism Italy 5, New York, The Street Plans Collaborative, 2016, p 65.

C'è anche da dire che vi sono stati dei casi in cui microprogetti temporanei proposti dalla popolazione hanno innovato l'ambiente con una tale forza creativa, da sfociare negli effetti a lungo termine non previsti direttamente dai legislatori, che a loro volta hanno trovato ispirazione per proporre leggi e politiche intelligenti, inclusive che migliorassero la qualità dell'ambiente alla scala urbana²³.

Come sottolinea Mike Lydon, i cambiamenti nel lungo periodo molto spesso iniziano come piccole azioni che hanno avuto successo nella piccola scala, e si evolvono migliorando certi aspetti dell'idea iniziale. Vi è una certa virtuosità in una municipalità che spende €10,000 in

una struttura temporanea pilota prima di investire €200,000 in quella permanente. Se infatti le migliorie apportate non funzionano o non sono accolte positivamente dalla popolazione, non si spenderà l'intero budget, e pertanto le successive iterazioni dei progetti potranno essere calibrate ulteriormente per fare fronte alle necessità di un contesto particolare.

Quando si lavora nella microscala urbana o in contesti marginali, la qualità formale delle trasformazioni spaziali deve essere considerata non solo come un fine o un capriccio, ma principalmente come uno strumento utile alla rigenerazione fisica e simbolica della città. Molte delle pratiche dell'Urbanismo Tattico rientrano nell'ambito dell'**auto-costruzione**, modalità che si dimostra sempre più efficace nel mettere d'accordo le esigenze della cittadinanza con il contributo professionale dei progettisti. In questo modo si attua un processo partecipativo che opera su due fronti: innanzitutto, permette alle persone "comuni" di sentirsi parte della comunità che stanno letteralmente costruendo, e in secondo luogo, i progettisti possono "progettare facendo", bilanciando la qualità formale con le capacità della manodopera non specializzata.

Anche per quello che riguarda il tema dell'autocostruzione e del finanziamento, l'ideazione del padiglione avverrà in maniera leggermente diversa rispetto alle modalità indicate dall'urbanismo tattico, a causa della maggiore complessità di realizzazione richiesta di una struttura parametrica. La costruzione in particolare, soggetta a tolleranze molto basse per manufatti di questo genere, farà affidamento parziale sulle capacità manuali della popolazione. Allo stesso momento, per evitare di limitare i vantaggi sociali derivati dall'autocostruzione, gli utenti delle associazioni potranno partecipare alla fase di assemblaggio dei moduli e componenti già realizzati in stabilimento, che dovranno permettere numerose modalità accostamento, in modo da poter decidere tramite un processo di **assemblaggio partecipato** quale forma plasmare in questa iterazione delle necessità funzionali. Di conseguenza, più che un padiglione vero e proprio, verrà progettato un sistema di costruzione adattabile ed assemblabile in diverse modalità e configurazioni, di cui è rappresentativo l'esempio del "Bloom Project" di Jose Sanchez e Alisa Andrasek, sviluppato su richiesta del comune di Londra in occasione dei giochi Olimpici del 2012.

Questo progetto similmente al metodo adottato per la costruzione del padiglione di ricerca, unisce l'idea di un **assemblaggio discreto** con le dinamiche sociali di un gioco, generando di fatto un'installazione interattiva che cambia e cresce grazie alle interazioni delle persone. Alla base del progetto risiede un singolo modulo - detto Bloom Cell - che è in grado di essere assemblato e accostato tra le sue copie, generando formazioni sempre nuove. Il concetto sotteso risiede nell'atto di "giardinaggio collettivo", dove nuove tettoniche emergono e scompaiono costantemente sulla base delle interazioni con la folla.



Fig 3: Rendering di una formazione tettonica del progetto Bloom. Fonte: Sanchez J, Andrasek A, Bloom, in Fabricate: Negotiating Design & Making, UCL Press, p 99.

Questo caso studio in particolare permette di capire che quando si ha a che fare con geometrie complesse, non sempre si può percorrere la strada dell'autocostruzione, ma è possibile attuare delle dinamiche di "gioco partecipato" e di autocostruzione tramite l'utilizzo di **elementi discreti** che favoriscono la produzione collettiva di un manufatto, spostando l'interesse della progettazione su sistemi tettonici aperti che racchiudono una grande flessibilità²⁴. Intraprendendo il filone della progettazione parametrica con numerose necessità funzionali adattive, con molta probabilità il risultato sarà un oggetto complesso, e pertanto non sarà possibile utilizzare materiale di recupero e quindi risultare in costi molto bassi, come invece avviene nei tradizionali casi dell'urbanismo tattico. Per questo motivo è necessario che vi siano degli enti, in questo caso gli enti del terzo settore, che si facciano carico del costo di costruzione della struttura/sistema e della gestione in fase operativa il padiglione, con evidenti vantaggi sociali ed economici che la creazione di uno spazio utilizzabile potrebbe portare, specialmente nel caso in cui la struttura fosse facilmente smontabile-trasportabile-rimontabile in luoghi diversi.

Vantaggi di questo genere si possono riscontrare all'interno del progetto temporaneo Pop-Up BMW Guggenheim Lab dell'Atelier Bow Wow, ideato nel 2011. Benchè sia di dimensioni più grandi, anche questo progetto si inserisce nel filone delle strutture temporanee, in quanto il Pop-Up town Hall è a tutti gli effetti un municipio spontaneo, che verrà localizzato a New York, Berlino e Mumbai a rotazione temporanea. L'obiettivo del laboratorio è di promuovere il dibattito su temi civici, trasportando le discussioni direttamente in strada. La struttura infatti permette l'adattabilità per diverse funzioni (dibattiti sul benessere cittadino, conferenze, esibizioni, workshop e giochi) grazie a una serie di arredi, schemi e palchi ritraibili, coperti da una fine mesh in tessuto.



Anche se la progettazione del padiglione è top-down, la funzione è quella di un think-tank e le diverse attività proposte al suo interno incoraggiano i visitatori ad entrare e mettersi in gioco facendo domande, proponendo idee, risposte, o semplicemente ascoltare²⁵.

Dai progetti brevemente presentati nelle pagine precedenti si intuisce che la pratica dell'Urbanismo Tattico è ancora molto aperta, e principalmente viene influenzata dalla buona riuscita di varie pratiche collettive mirate alla produzione di piccole trasformazioni urbane, che siano temporanee, bottom-up, low-cost e facilmente replicabili in altri ambiti²⁶. Nonostante gli obiettivi richiesti dal padiglione siano in gran parte coincidenti con quelli della progettazione partecipata, viene deciso di intraprendere una **strada derivata dall'urbanismo tattico** per quello che riguarda i campi di applicazione e i principi sociali, mentre una tendenza alla formalità parametrica a causa delle migliori metodologie di analisi e progettuali oltre che alla sua tendenza artistico-espressiva che migliorerebbe l'impatto culturale e artistico del progetto.

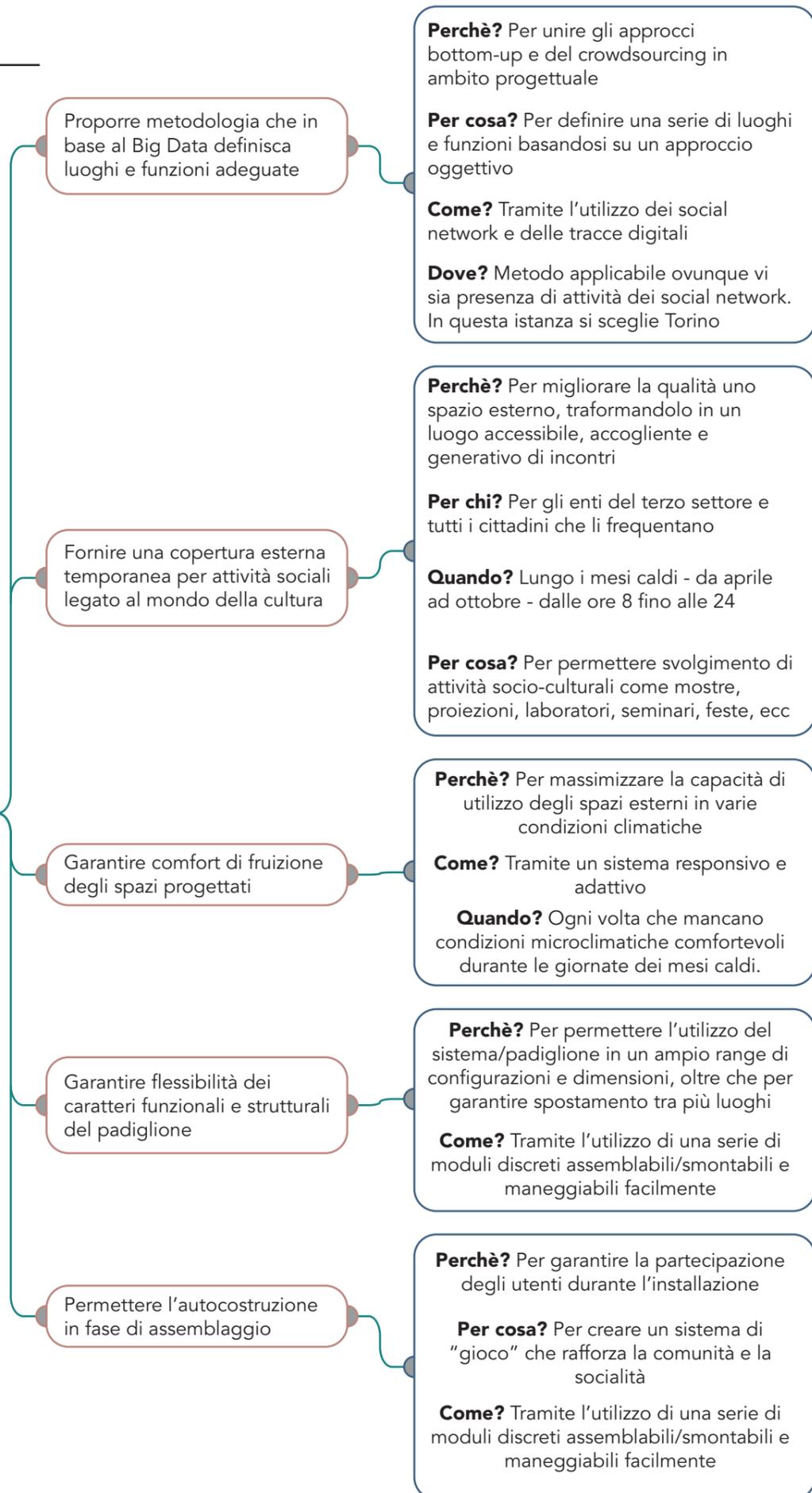
Mischiando infatti i due approcci si potrebbe ottenere una modalità di progettazione completamente nuova, che da un lato sfrutta le potenzialità degli strumenti parametrici di generare variazioni all'interno di un range di soluzioni, dall'altro rafforzerebbe il potere decisionale della popolazione, in quanto sarebbero le persone a definire il dominio di azione e i parametri dell'algoritmo risolutivo, e ad assemblare la copertura. Inoltre, in questo modo si avrebbe la possibilità di avere un manufatto fortemente ottimizzato sotto diversi aspetti: dal punto di vista del programma funzionale in quanto definito dai dati informatici degli utenti, dal punto di vista morfogenetico, in quanto l'algoritmo evolutivo fornisce la soluzione prestazionale migliore per le condizioni climatiche definite, e infine da un punto di vista del feedback dei "clienti", in quanto i cittadini partecipano attivamente alla costruzione del progetto. Essendo quindi un progetto che viene interamente definito a partire dai dati di vario genere, si reputa che il nome più adatto sia **Data Infused Pavillion**.

In conclusione della riflessione sugli argomenti fino ad ora proposti, viene riportata nella pagina successiva (fig 5) una lista riassuntiva degli obiettivi e loro modalità di raggiungimento utili alla successiva progettazione del padiglione.

"L'architettura di domani sarà di nuovo minimale, un' architettura dei processi di auto-formazione e auto-ottimizzazione, suggeriti dagli essere umani".

Otto Frei, 1995.

Fig 5: Schema riassuntivo degli obiettivi.
Propria elaborazione



Le radici del pensiero parametrico.

1.0

Per comprendere al meglio come la metodologia parametrica può influire sullo sviluppo del progetto, si è ritenuto utile approfondire alcuni aspetti teorici e metodologici in merito al movimento parametrico. Anche se il termine parametricismo ha un'accezione contemporanea, sviluppata principalmente nel dopoguerra, il pensiero parametrico in architettura ha radici molto più antiche di quello che si pensa, risalenti addirittura all'epoca romana. Il primo a farne uso infatti fu **Vitruvio** (1 a.C), che scrisse il trattato *De Architectura* senza l'ausilio di immagini, ma solo attraverso un'accurata descrizione verbale di regole sulle proporzioni e sull'accostamento di parti. Certe descrizioni sono talmente sofisticate, che spesso possono essere direttamente paragonate al formato moderno di sequenze logiche "se, allora", risultando quindi direttamente correlate agli "algoritmi procedurali"²⁷. Viene riportata di seguito la descrizione di un capitello corinzio, parte del IV libro²⁸:

"La proporzione del capitello poi è questa: quanta è la grossezza da basso della colonna, tanta è l'altezza del capitello coll'abaco: la larghezza dell'abaco è tale, che la sua diagonale da angolo ad angolo è eguale a due altezze: questa estensione produrrà giuste tutte le quattro fronti: debbono poi essere le fronti incurvate in dentro per un nono di tutta la larghezza di essa fronte da angolo ad angolo"

Fonte Figura: L'architettura di Marco Vitruvio Pollione tradotta e commentata dal marchese Berardo Galiani



Di conseguenza, in quanto non esisteva un modello grafico da seguire, le istruzioni verbali potevano generare una vastissima gamma di soluzioni diverse, ma tutte simili tra di loro in quanto condividevano la stessa logica generativa.

Una simile modalità operativa può essere trovata nei grandi **cantieri del periodo gotico**, dove la geometria pratica e i tracciati geometrici permeavano la cultura dei costruttori. Ne è un esempio l'utilizzo del cosiddetto quadrato $\sqrt{2}$, in cui il quadrato perimetrale ha per lato la diagonale del quadrato interno, visibile nella costruzione geometrica di una ghimberga (Fig 6) di Mathias Roriczer²⁹. Le nozioni di geometria elementare, che è basata su parametri matematici, esattamente come il parametricismo contemporaneo, erano così diffuse all'interno del cantiere gotico da divenire il linguaggio attraverso il quale gli architetti comunicavano con chiarezza con le maestranze. La geometria quindi garantiva la conformità dell'esecuzione al progetto, grazie a tracciati fondati su figure elementari, - angoli retti, quadrati, cerchi - rapidamente riproducibili in qualsiasi dimensione attraverso gli strumenti elementari disponibili a quel tempo. Di conseguenza, nell'architettura gotica i componenti con la stessa funzione sono sempre simili, ma mai identiche: appartengono infatti tutti allo stesso genere, ma ogni componente è individualmente unico.

La deduzione che ne segue supporta che il modo di costruire classico, così come quello medievale, segue un sistema generativo basato su delle regole, ed esattamente come il parametricismo, permette numerose variazioni all'interno di un dominio prestabilito.

La metodologia parametrica medievale e classica vide la sua fine con il

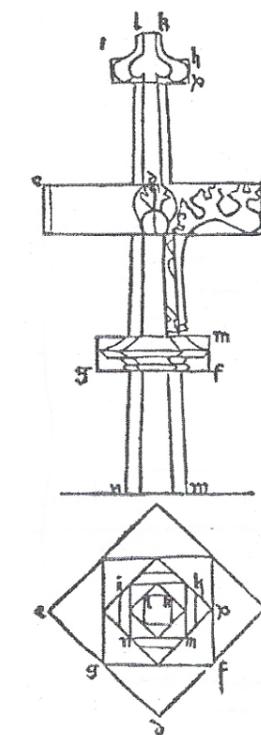


Fig 6: Schema geometrico di una ghimberga medievale
Fonte: MATHIAS RORICZER, *la geometria tedesca*, fol. 6v.

Rinascimento: gli algoritmi generativi vengono sostituiti da una serie di modelli riproducibili, di cui esempio lampante sono i capitelli di Palladio o del Vignola, descritti da disegni pronti per essere identicamente replicati. Per capire lo sviluppo del parametricismo in architettura, inteso come strumento metodologico bisognerebbe guardare ai secoli XVIII-XIX, piuttosto che al XX. Ad esempio nel 1800 vi è un interesse altissimo per lo studio delle variazioni, esattamente come accade oggi.

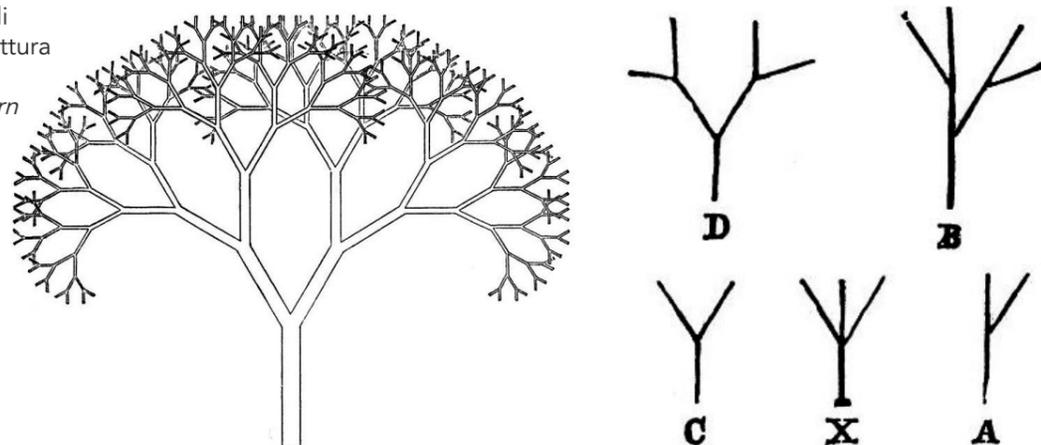
Nel 1757 **Edmund Burke** pubblica il libro **"On the Beautiful and the Sublime"**, dove afferma che "le fonti di ispirazione per l'uomo fanno parte di due categorie, il bello e il sublime. Gli oggetti belli sono solitamente piccoli, delicati, e seguono sempre delle proporzioni che sono state attribuite dal creatore. Il sublime invece è caratterizzato da grandi dimensioni, aspetto cupo e minaccioso, dovuto al movimento di materia e di forze di cui sono composti queste grandi masse. Il levriero, la campanula o una bambola sono oggetti belli che causano piacere, mentre una montagna, un lampo, il mare in tempesta sono sublimi e causano un travolgimento emozionale. L'uomo per sua natura è attratto maggiormente dalla forza travolgente del sublime, nonostante esso possa causare danni alla persona. Burke credeva che l'attrazione verso il sublime è legata alla possibilità di causare dolore, che innesca comportamenti istintivi, simili a quelli che si potrebbero avere in una situazione di pericolo concreto.

Il concetto di sublime ha avuto un'importante ricaduta sulla pittura romantica, che raffigurava l'indomata forza della natura, non più l'oggetto perfettamente proporzionato nelle sue parti.

Già nel 1750 il pittore Willam Hogarth, nel suo libro *The Analysis of Beauty*, aveva già idealmente descritto una **terza categoria di oggetto, il pittoresco**, che sta a metà tra la perfezione del bello e il caos dell'indomato. Il pittoresco è derivato dalla varietà che si può trovare all'interno di un genere o di una tipologia, pertanto non è più l'idealizzazione di una forma o delle proporzioni, ma è la rappresentazione della variabilità, come ad esempio i capelli mossi di una donna o una folla in movimento.

Nel 1856 **John Ruskin** riprende e approfondisce l'idea del pittoresco nel quarto volume de **Modern Painters**, dove descrive il disegno delle montagne con una precisione chirurgica, classificando e indicizzando ogni cresta, pietra e tipologia di suolo. "Questa operazione di scopolazione della natura, che ha un aspetto pittoresco, in elementi ben descritti ha un carattere diagrammatico è applicato allo stesso modo dall'architettura

Fig 7: Schemi di ramificazione dei rami di un albero, presenta evidenti similitudini con gli I-systems usati nell'architettura parametrica.
Fonte: JOHN RUSKIN, *Modern Painters Vol IV*, p61.



parametrica. John Ruskin vede l'architettura come qualcosa di completamente naturale, così come vede la natura come qualcosa di completamente progettato"³⁰.

Secondo Ruskin, Morris, e più tardi Gaudì, il pittoresco permeava nelle arti artigianali e nell'architettura vernacolare, in quanto vi era sempre un elemento di imperfezione e di variazione, contrapposto alla nascente standardizzazione della prima rivoluzione industriale. In questa istanza quindi la variazione insita negli oggetti artigianali e nello stile di vita del popolo operaio assumeva un significato sociale, in quanto rappresentava l'opposizione al mondo industriale, al quale Ruskin e Morris erano fortemente contrari³¹.

Da questo punto di vista Ruskin era un grande ammiratore dello stile gotico, in quanto è stato uno stile che ha permesso la massima espressione della variazione "pittoresca". Il gotico ha permesso infatti una **libera e flessibile organizzazione degli elementi**, a partire dai costoloni fino ad arrivare al dettaglio scolpito dal capomastro. Un altro aspetto interessante per lo sviluppo del linguaggio parametrico, già riscontrato nelle descrizioni del gotico di Ruskin, è la sua **continuità tra le parti**; Esattamente come gli elementi naturali sono continui tra loro, così sono gli elementi che compongono la cattedrale, che viene percepita come un unico grande organismo "mosso dai petali di questa geometria vitalizzata ed espressiva"³².

Questi aspetti non erano invece visibili nello stile classico, anche se quest'ultimo viene considerato come punto di partenza per lo sviluppo degli stili del XX secolo. Nelle architetture rinascimentali descritte da Alberti la struttura era fortemente geometrica e proporzionale, e gli spazi vuoti erano riempiti da ornamenti organici. In questo modo si veniva a creare un'opposizione Kantiana tra la geometria strutturale e l'organico dei putti o delle volute. Lo storico dell'arte Wilhelm Worringer intende questo accostamento come l'opposizione delle due maggiori forze espressive nell'arte, l'astrazione e l'empatia³³, la prima rappresentata dalle forme geometriche, e la seconda da quelle organiche.

Nello stile gotico invece la geometria delle strutture non è rigida, non segue schematizzazioni per elementi, ma è sempre adattabile seguendo forme organiche, secondo ordini e sotto-ordini ben delineati. I costoloni ad esempio, partono da una colonna fasciata e si diramano verso l'alto creando figure e configurazioni fino a diventare una piega di un'unghia in una volta. L'elemento architettonico è sempre definito: il costolone prima fa parte del sistema colonna e poi diventa volta.

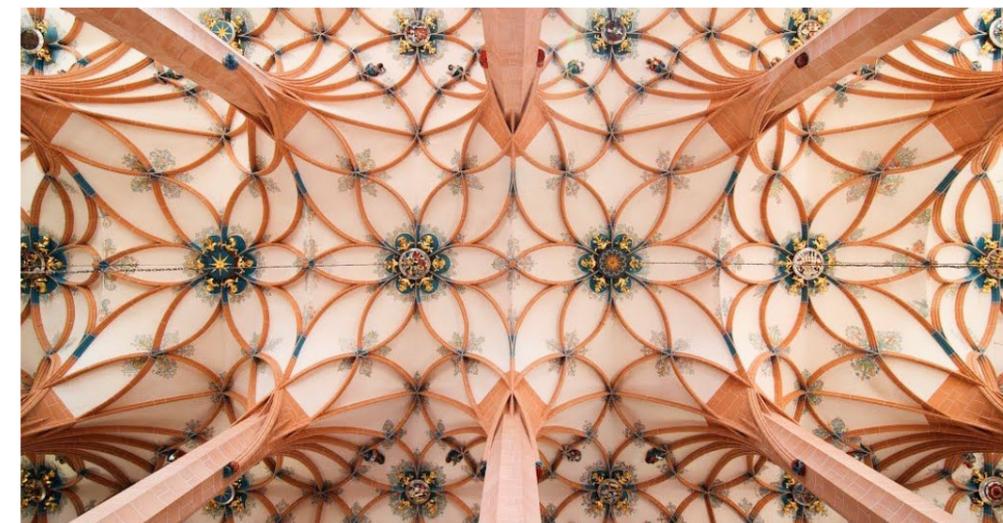


Fig 8: La volta fiammeggiante della chiesa tardo gotica di S. Anna a Annaberg-Buchholz (DE).
Fonte: de.wikimedia.org/wiki/St._Annenkirche_Annaberg-Buchholz

Questa modalità di pensiero continuo non è stata ripresa fino all'avvento dei proto-parametricisti, che attraverso l'osservazione dei sistemi gotici e della formazione nei sistemi naturali, hanno gettato le basi per l'architettura morfologicamente organica e complessa.

1.1

Le prime esperienze parametriche moderne dal 1900: Antoni Gaudì

Nato in Catlogna, Spagna, Antoni Gaudì è stato una figura che ancora oggi è fonte di ispirazione per moltissime opere contemporanee, che come lui, hanno la volontà di legarsi e riprendere i temi della natura e del tradizionalismo espressi in complesse forme espressive. Per lui infatti la natura era la più grande fonte di ispirazione, in quanto credeva che non esisteva nulla di più logico del creato, che attraverso milioni di anni di tentativi ha raggiunto la forma perfezionata³⁴. La sua opera è frutto di un lungo periodo di ricerca e osservazione di forme e strutture naturali che potessero essere trasposte in costruito, sostenendo il **legame inscindibile tra natura-forma-funzione**.

E' stato una figura poliedrica per cui non è possibile fare distinzione tra architetto, interior designer, decoratore, pittore o artigiano, in quanto tutte le competenze di queste professioni confluivano in una sola persona.

Quando si parla di Gaudì non è possibile inserirlo in un'unica corrente stilistica coeva, specialmente considerando che Barcellona svolgeva ruolo di crocevia di culture, e pertanto vi era necessità di un linguaggio architettonico che rappresentasse la cultura catalana e il passato gotico allo stesso modo. Ciò nonostante, Gaudì ebbe una fondamentale influenza dal modo di progettare di Lluís Domènech i Montaner, che proponeva la riproposizione degli ideali storici in forme nuove attraverso l'utilizzo di materiali nuovi, tipici della rivoluzione industriale in atto alla fine del XIX. Progredendo nella sua carriera sviluppò questo pensiero in un proprio linguaggio personale, uscendo del tutto dai confini storicisti³⁵.

A differenza della tradizione architettonica della fine del XX, che basava il proprio linguaggio sulla ripetizione di elementi geometrici puri disegnati con il compasso e riga, Gaudì **fa costante uso di forme organiche** riprese dall'osservazione dei fenomeni spontanei. L'esempio più lampante è l'impiego dei cosiddetti archi naturali, cioè gli archi catenari o parabolici che si formano per resistere meglio alle sollecitazioni meccaniche. La



Fig 9: Modello a catene usato per la volta del piano interrato di Casa Milà a Barcellona.



catenaria è la curva secondo la quale si dispone una catena, una fune o un filo omogeneo flessibile sospeso ai due capi per effetto della forza di gravità. Se la forma prodotta dall'arco catenario era la più prestante strutturalmente, allora era la forma più bella in quanto creata dalla natura stessa. Molto spesso basava la propria opera sull'accurata osservazione di complessi sistemi di **catene caricate da pesi** che potevano essere variati in peso e posizione, definendo il primo processo di form-finding della storia. Capovolgendo questo sistema si otteneva una serie di archi catenari, che hanno la caratteristica di essere sollecitati esclusivamente a compressione, e quindi permettevano l'uso dei materiali tradizionali come il mattone o la pietra.

Un altro elemento del repertorio di Gaudì preso in prestito dalla natura sono le superfici rigate, cioè quelle che si creano dopo che un tessuto fibroso viene piegato e ruotato, mantenendo comunque le fibre dritte. Questi elementi venivano emulati per oggetti minori, come balconi, camini e forme decorative in genere. Le superfici rigate (paraboloidi, iperboloidi, ecc) erano già state studiate da Gaspard Monge diventando oggetti parametrici per eccellenza, e in quanto Gaudì ne faceva uso cospicuo, può essere considerato progettista parametrico per definizione, in quanto le sue geometrie sono frutto dell'intersezione e combinazione di oggetti parametricamente descrivibili, specialmente se si considera l'opera matura.

Nonostante sia stato un progettista fortemente innovativo, non progettò mai al di fuori della Spagna, e la maggior parte delle sue opere sono concentrate all'interno dell'area urbana di Barcellona, dove venne costruito anche il suo capolavoro indiscusso, la chiesa della Sagrada Família, progetto nel quale vennero riversate tutte le competenze e aspirazioni maturate nella carriera dell'architetto.

Quando a Gaudì venne assegnato il compito della costruzione (1884), la costruzione della chiesa era già iniziata da 2 anni, con uno stile prevalentemente neo-gotico. Sebbene per i primi anni della supervisione Gaudì cercò la continuità stilistica con il suo predecessore, ben presto le forme gotiche vennero ulteriormente affinate dal punto di vista strutturale, trasformandosi in uno stile modernista eclettico³⁶. L'ottimizzazione avvenne tramite l'uso dei già citati archi catenari, che a differenza dell'arco a sesto acuto gotico, permettevano l'eliminazione dei contrafforti laterali in quanto vi erano meno spinte laterali, e quindi maggiore possibilità di rendere lo spazio luminoso.

E' proprio l'aspetto di affinamento grazie a modelli fisici che risulta di particolare interesse per lo sviluppo metodologico dell'architettura parametrica, e come si vedrà troverà un forte impiego in questa tesi.



Fig 10 (sx): Scuola della Sagrada Família, 1909.
Fig 11 (dx): Guscio di Tridacna, esempio di superfici rigate in natura.

Fonte: GEORGE COLLINS, *Antonio Gaudì: Structure and Form*, in *Perspecta* Vol 8, MIT Press, 1963, pp. 78.

Con il passare del tempo il progetto della chiesa dedicata a Cristo e ai suoi Genitori, divenne la visione di una cattedrale dedicata a 18 santi, rappresentati dal numero di guglie sulla copertura. Il progetto subì nel corso degli anni molti mutamenti, dovuti dalla forte passione di Gaudì per il tema religioso, per cui ogni elemento doveva avere un profondo significato simbolico, ma anche per la ovvia complessità di realizzazione.

Nel 1926 Gaudì muore investito da un tram, lasciando completa solo la facciata della natività, che viene considerata la parte più espressiva e originale dell'intero complesso, probabilmente a causa della sua complessità visiva e il caratteristico uso del colore. Le guglie in particolare, vennero prese come **ispirazione dal movimento cubista-costruttivista**, in quanto già anticipavano le forme libere di certi architetti di epoca successiva³⁷. Allo stesso momento, Gaudì per svolgere la propria

Fig 12 (sotto): Copertura Voltata del Transetto della Sagrada Familia

Fonte: Alvaro Diàz PH

Fig 13 (in fondo): Dettaglio della facciata della natività

Fonte: Fan Song Photography



opera guardava sempre al passato, al gotico in particolare, elaborandolo con i mezzi e strumenti contemporanei, ottenendo nuove forme espressive che allo stesso tempo risultano legate alla tradizione da mezzi espressivi e materiali, aspetti che pochissimi architetti del suo periodo sono riusciti a rendere propri³⁸.

Le prime esperienze parametriche moderne dal 1900: Frei Otto

Frei Otto è stato un architetto e ingegnere tedesco, considerato da molti progettisti come il **padre delle tensostrutture**. Dedicò tutta la sua carriera allo sviluppo di tende, ombrelli e grid-shells per esterni, oggetti che per funzione e destinazione d'uso sono particolarmente rilevanti per la stesura del presente lavoro di ricerca e progettazione.

Partecipò come pilota della Luftwaffe alla seconda guerra mondiale, e durante la prigionia in Francia costruì ripari con materiali di fortuna come teli e legno. Il concetto di architettura "di necessità" sviluppato in questo periodo fu uno dei temi principali della sua produzione futura. Sull'onda delle sperimentazioni architettoniche di altri architetti tedeschi, come Mies Van Der Rohe, Erich Mendelsohn, Walter Gropius, anche Frei ambiva a creare una nuova architettura, basata sulla leggerezza, trasparenza, minimo uso di materiale e prestazione strutturale, ma soprattutto sul rispetto della natura.

A differenza dei suoi colleghi che ottennero la trasparenza e leggerezza con forme ortogonali, Otto Frei riuscì a costruire strutture organiche grazie all'osservazione dei **processi di ottimizzazione e di auto-formazione che avvengono in natura**, aspetti che risultano di particolare interesse per lo sviluppo del movimento parametrico³⁹.

Il suo lavoro infatti è stato fortemente influenzato dalla osservazione e imitazione delle strutture naturali, non solo da un punto di vista della biomimetica, ma principalmente dalla emulazione dei processi di formazione naturali applicati alle costruzioni.⁴⁰

Nelle sue ricerche Frei si avvale di un team interdisciplinare composto non solo da architetti e ingegneri, ma anche da fisici, biologi, etnologi e filosofi, che esaminarono cellule, ossa, ragnatele, nidi di uccelli, rami degli alberi per ampliare la conoscenza della auto-formazione all'interno della natura e applicarla in architettura, espandendo il repertorio e le possibilità degli essere umani. Nella sua figura permeava una fortissima volontà di rendere l'architettura e in generale le tecnologie di origine umana, un tutt'uno con la natura e il paesaggio, sia da un punto di vista formale che da un punto di vista ambientale. Questo era dovuto dal fatto che Frei Otto vedeva la tecnologia come uno strumento creato dall'uomo, utilizzata contro la natura, e non per preservarla; il suo obiettivo ultimo è stato quello di trovare una tecnologia compatibile con la natura, che poteva essere chiamata "arte"⁴¹.

"Ma noi, esseri umani ancora non vediamo la natura. Pensiamo ancora alla natura e alle sue forme progettate come ad una riflessione di noi stessi. Formiamo la natura in accordo ai desideri che derivano dalla natura progettata.

In questo modo la alieniamo, la rendiamo artificiale e non otteniamo l'arte. Molto spesso tormentiamo ciò che è vivente senza accorgercene. Stiamo distruggendo il nostro mondo, e non ce ne rendiamo conto perchè siamo ciechi.⁴²"

1.2

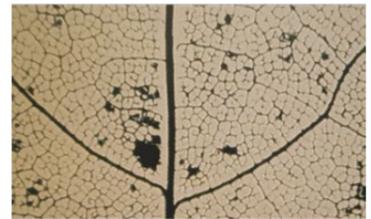
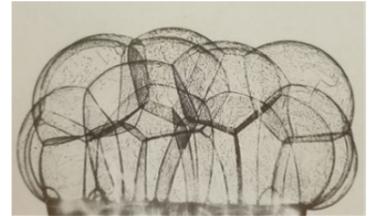


Fig 14: Dall'alto, verso il basso, alcuni processi di auto-formazione nella natura inanimata, animata, nelle tecnologie animali e umane.

1_Bolle di sapone. Formazione causata da pressione interna e tensione superficiale

2_Sistema di percorsi per fluidi e forze nelle foglie

3_Nido d'ape. Micro città di carta di propria produzione

Fonte: FREI OTTO, *Finding Form*, Bayern, Edition Axel Menges, 1995, p25-50.

4_Ponti sospesi di corde. Autoformazione per gravità

Fonte: JEFF HEIMSATH

Nella fase iniziale della sua carriera, Frei si concentrò principalmente sulla produzione di tende di dimensioni contenute con l'obiettivo di ospitare eventi all'aperto. Anche se le poche opere costruite furono fortemente rivoluzionarie, la sua attività principale rimaneva la sperimentazione in laboratorio presso l'**Institute of Lightweight Structures di Stoccarda**. Per la prima grande applicazione delle sue ricerche bisogna aspettare il 1965, quando Otto Frei, Rolf Gutbrod e il costruttore di tende Peter Stromeyer vinsero il concorso per la realizzazione del **padiglione tedesco per l'expo del 1967** a Montreal.

Durante l'esposizione vennero esibiti moltissimi progetti sperimentali dal punto di vista strutturale. Uno tra i più interessanti risulta essere quello di Buckminster Fuller, che costruì un enorme "bolla" geodesica. "Anche Fuller infatti è stato un pioniere delle costruzioni leggere, e può essere considerato anticlassico e innovativo nella traduzione materica, ma non nella geometria, in quanto la cupola era ancora legata ai solidi platonici. Otto Frei invece andava oltre; la sua geometria era legata alla computazione del materiale, permettendo alla forma di trovarsi, esplorando le infinite forze che la natura può proporre"⁴³.



Fig 15: Il padiglione tedesco presentato durante l'expo di Montreal nel 1967.
Fonte: Penccil

Dove possibile, Frei ha cercato sempre di utilizzare la minima quantità di materiale per asservire alle funzioni richieste, e la costruzione delle forme del padiglione, apertamente anticlassico, è ridotta allo stretto necessario. Oltre alle **forme libere**, il padiglione dell'expo colpiva per le sue dimensioni, sostenute da una complessa rete di sottili cavi d'acciaio ricoperti da una membrana in poliestere rivestita in PVC, che a sua volta poggiava su otto alberi di acciaio alti dai 14 ai 37m. Per la definizione della forma del padiglione furono impiegati numerosi modelli fisici in scala: modelli di pellicole di sapone per il form finding, modelli dimostrativi in tulle e modelli di verifica strutturale in mesh di acciaio, percorrendo un processo simile delle sperimentazioni strutturali di Gaudì. Se però Gaudì ha introdotto i modelli fisici per lo studio della forma, Frei Otto ha perfezionato tale processo, rendendolo sistematico nelle sue applicazioni, introducendo il **form finding come metodo analitico di ricerca formale**. Le sue forme non sono perciò frutto di una nozione pregressa o di un disegno, ma sono sempre il risultato di un processo fisico emulato dal mondo naturale. Queste metodologie di ottimizzazione verranno successivamente chiamate "computazione materiale", in quanto

Otto computava - cioè faceva reagire insieme - aspetti dei materiali e delle forze naturali.

Oltre alle alte prestazioni strutturali, il padiglione era caratterizzato da una serie di aspetti altrettanto interessanti. Ad esempio il sistema della copertura è stata concepita per la **completa adattabilità**, e per questo motivo i supporti verticali non erano fissati in punti definiti, permettendo l'assestamento degli elementi della struttura a seconda delle esigenze funzionali della fiera.

Inoltre la struttura presentava spiccati aspetti di sostenibilità legati all'utilizzo e alla sua manutenzione. Ad esempio, il modello sperimentale in scala 1:1 è stato eretto diverse volte in luoghi differenti attraverso una serie di operazioni semplici: la rete di supporto veniva smontata e avvolta attorno al pilastro principale, che veniva trasportato in toto, per poi essere rimontato interamente entro un singolo giorno.

Questo modello sperimentale ospiterà successivamente la sede permanente dell' Institute for Lightweight Structures di Stoccarda, diventando una delle poche tende di Frei Otto ad essere usata nel lungo termine, oltre che ad aver rivestito ruolo di piazza intellettuale nel dibattito dello sviluppo delle strutture leggere.

Durante le fasi di completamento del padiglione tedesco, Frei riceve l'incarico più importante della sua carriera, cioè la progettazione del villaggio olimpico per i giochi estivi di Monaco 1972, svolto in collaborazione con lo studio di Gunter Behnisch. Il sito periferico del parco olimpico era fortemente simbolico, a causa di alte colline di macerie portate lì dopo i pesanti bombardamenti di Monaco durante la seconda guerra mondiale. Il design d'avanguardia riprendeva lo skyline delle colline e allo stesso momento esprimeva chiaramente l'obiettivo principale dei giochi, riqualificare la Germania internazionalmente come una nazione pacifica e all'avanguardia.

Il progetto del villaggio olimpico riprendeva l'esperienza del padiglione tedesco, ampliandone la scala, attraverso due espedienti principali. Trattandosi di una struttura sospesa con grandi forze di tensione in gioco, i supporti crebbero esponenzialmente di dimensione. Le fondazioni in calcestruzzo armato in particolare, raggiunsero dimensioni tali da essere

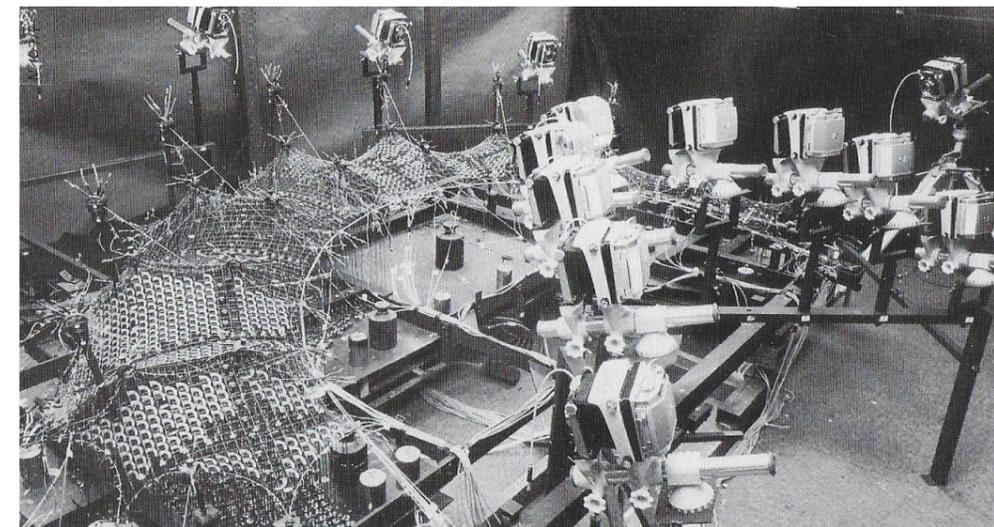


Fig 16: Il grande modello di misurazione del tetto dello stadio olimpico di Monaco mentre viene misurato dalle camere Linhof.

Fonte: FREI OTTO et al, *Finding Form*, Bayern, Edition Axel Menges, 1995, p 107.

equiparate a edifici residenziali monofamigliari.

Anche se il form finding della copertura avvenne come consueto con l'uso dei modelli a catene, l'analisi del modello fisico avvenne attraverso nuovi metodi matematici e computazionali; I modelli in scala venivano caricati

staticamente per poi essere **misurati attraverso la fotogrammetria**, in modo da rappresentare attraverso una foto a doppia esposizione gli spostamenti e introdurre eventuali cambiamenti alla forma⁴⁴. Anche se il contributo principale di Frei Otto rimane nel dominio delle strutture tese, il suo interesse per nuovi approcci per la progettazione delle coperture è molto più ampio. Allo stesso momento tutte le sue sperimentazioni hanno il merito di aver unificato forma e struttura, esattamente come avveniva nelle architetture storiche, abbattendo la separazione tra le due indotta dallo sviluppo del movimento internazionale.

Nonostante il suo contributo principale rimane nel campo delle strutture tese, la sua ricerca era caratterizzata da una poliedricità senza precedenti. Una delle tipologie che lo affascinava maggiormente sono le strutture grid-shell, utilizzata nella Multisala dell'Esposizione Federale del Giardinaggio a Mannheim del 1975. Anche in questo caso per stabilire la forma vennero usati dei **modelli fisici sensibili alla gravità**. Aspetto innovativo in questo caso era che oltre al progetto, anche l'assemblaggio della copertura era determinata da processi di auto-formazione: prima di tutto, il grid shell costituito da elementi piani in legno ordinato secondo scacchiera, veniva messo in piano e poi portato in aria dove gli veniva data la forma. Durante questa operazione i nodi di connessione tra le lamelle rimanevano bloccati, e in questo modo la mesh poteva essere modellata seguendo movimenti tangenziali, risultando in forme a doppia curvatura.

Il risultato fu una grande struttura che copriva più di 7000 m², che



Fig 17: Il padiglione dell'esposizione Federale del Giardinaggio a Mannheim dall'interno.
Fonte: Atelier Frei Otto Warmbronn

dimostrava che anche la compressione se correttamente governata poteva essere usata per coprire grandi spazi. In un'intervista del 2014 però Frei Otto suggerì che "Costruire in compressione è molto più difficile che in tensione. La tensione è sempre stabile, mentre la compressione lo è raramente. Questo è l'insegnamento più grande del nostro secolo."⁴⁵

In conclusione, sarebbe scorretto ridurre la figura di Frei Otto a quella un ingegnere che ricercava la forma strutturale derivata dai processi naturali. La sua figura nel campo della didattica in particolare ha permesso a numerose persone di sperimentare un **nuovo approccio alla progettazione**, non legato ad alcuna morfologia pregressa, aspetto che ancora oggi risulta essere di particolare rilevanza. Dopo lo sviluppo della computazione in particolare, molti dei suoi esperimenti e metodologie riacquistarono un nuovo significato, portando

sempre più persone a fare form-finding legato ai più svariati aspetti dei fenomeni naturali, e a perseguire l'ormai programmatico paradigma della ricerca formale attraverso metodi di ottimizzazione. Come si vedrà meglio nei capitoli successivi della tesi, il metodo di ricerca formale perfezionato da Frei Otto è stato implementato alla base dei processi di definizione morfologica dell'oggetto progettato in questa sede, integrandolo con alcuni aspetti legati al design ambientale, dimostrando la forte flessibilità del metodo di form-finding.



Fig 17a: Ombrelli progettati da Otto Frei per il tour mondiale dei Pink Floyd.
Fonte: FREI OTTO et al, *Finding Form*, Bayern, Edition Axel Menges, 1995, p. I.



Lars Spuybroek
Water Pavillion,
Neeltje Jans, 1997
Fonte: NOX

La Svolta Computazionale

2.0

Con l'arrivo delle nuove tecnologie digitali viene stravolta la figura stessa dell'architetto, nata durante il Rinascimento. Fino a pochi decenni fa l'architetto aveva il compito di "pensare" e di trasmettere nozioni tecniche ai costruttori, che erano gli incaricati alla realizzazione. Oggi questa separazione viene abbattuta di anno in anno: basti pensare che attualmente lo stesso modello digitale può dare informazioni tecniche, rappresentare il progetto ed essere costruito da strumenti a controllo numerico.

La macchina calcolatrice, per quanto stupida e limitata, è in grado di eseguire la stessa operazione tantissime volte in tempi molto ridotti. Ad esempio, nel calcolo strutturale di una trave, il computer in un processo di ottimizzazione topologica può definire le caratteristiche e forma di ogni mm^3 di materiale, a differenza della mente umana che necessita di razionalizzazione e semplificazione del problema in sezioni bidimensionali. Lo stesso Frei Otto durante lo sviluppo del progetto "Sliding Domes" aveva dichiarato che per lo studio e la progettazione di forme complesse - riferendosi ai muqarnas - le **risorse tradizionali dell'architetto non bastavano più**, in quanto sono spesso soggette a leggi matematiche⁴⁶. Se quindi la metodologia parametrica era già stata messa a punto dai precursori del movimento, l'applicazione massiva di tali metodi necessitava di innovazioni tecniche riguardanti la potenza di calcolo dei computer e dei software di comunicazione tra architetto e macchina.

Il calcolatore infatti per poter gestire forme complesse necessita di una serie di istruzioni esplicite affinché possa essere pienamente utilizzato nella pratica progettuale. Sono stati pertanto necessari lunghi anni di sviluppo e ricerca per raggiungere la piena integrazione tra pensiero-realizzazione e modello virtuale, tema che ancora oggi è al centro di molte ricerche, principalmente riguardanti l'applicazione delle tecnologie di realtà aumentata e realtà virtuale nel workflow professionale.

Il primo contributo essenziale allo sviluppo delle tecnologie parametriche, sebbene sia trasversale, si deve al genio universale di Gottfried Wilhelm von Leibniz (XVII sec), che grazie alla sua notazione sugli integrali indefiniti aprì la strada per lo sviluppo algoritmico di tale ricerca. Leibniz infatti assegnò alle funzioni matematiche la scrittura per variabili (x, y, \dots) e parametri (a, b, \dots), e in questo modo la notazione rappresentava una famiglia di funzioni con caratteristiche simili⁴⁷. La cosiddetta **notazione parametrica** è successivamente diventata la base per il linguaggio dei modellatori digitali, in quanto definisce al meglio un oggetto non standardizzato della era digitale⁴⁸.

Il successivo contributo alla svolta digitale avvenne durante la prima metà del XX secolo. Nel 1935, Alan Turing era alle prese con un problema di probabilità, e in uno dei suoi esperimenti concepì l'idea di una **macchina computazionale universale**. Essa funzionava (concettualmente) grazie a un infinito nastro di carta e una testina che si muoveva su di esso, leggendo, scrivendo o cancellando simboli. Il nastro intercambiabile forniva una serie di istruzioni logiche al sistema, che le risolveva, funzionando esattamente come un computer riprogrammabile⁴⁹. Di fatto però bisognerà aspettare la seconda guerra mondiale affinché il

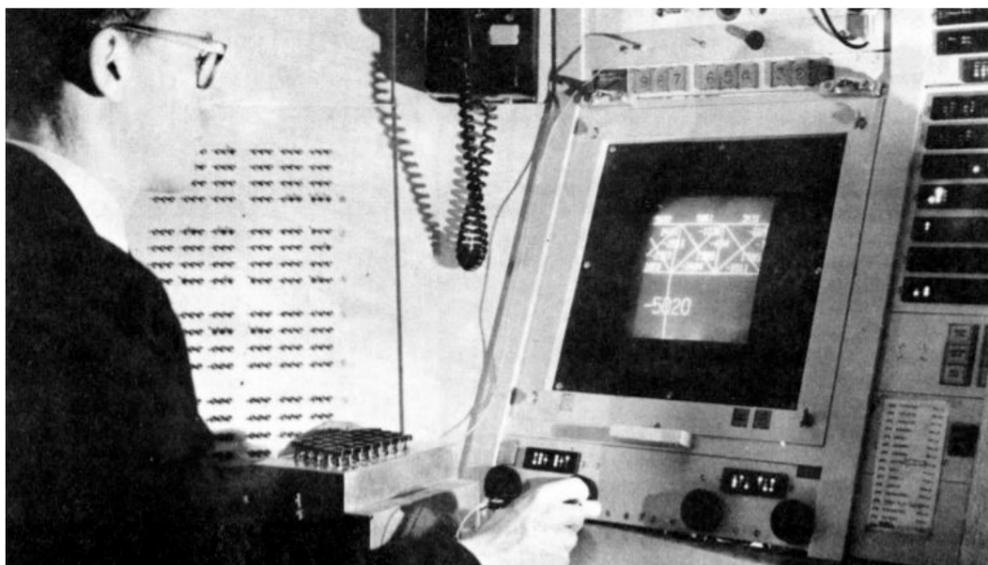


Fig 18: Lo SketchPad in uso.
Fonte: Tesi di dottorato in filosofia di Sutherland, 1963

primo computer programmato venisse costruito. Dopo il progressivo svincolamento dal mondo militare, i computer si sono aperti al mondo del business e dell'architettura, con lo sviluppo e programmazione di software da disegno chiamati **Computer Aided Design (CAD)**, dedicato ai settori dell'aeronautica, della manifattura e dell'ingegneria in generale.

Il primo CAD fu sviluppato da Ivan Sutherland, nel suo progetto di tesi di dottorato al MIT nel 1963. Fu chiamato **SketchPad**, e dava la possibilità di disegnare entità geometriche primitive con una penna ottica. Per i tempi era un sistema fortemente innovativo con un alto grado di interattività. Lo SketchPad infatti fu il primo ad introdurre la GUI (Graphical User Interface), la programmazione non procedurale e la programmazione ad oggetto: tecnologie che vengono utilizzate all'interno di tutti i computer e smartphone di oggi⁵⁰.

A partire dagli anni 80 vennero introdotti CAD capaci di disegnare geometrie bi-tridimensionali sempre più complesse. L'obiettivo primario di questi software però rimaneva la **descrizione approfondita di singole idee progettuali, piuttosto che l'esplorazione di varianti** derivanti da esse. Mancavano infatti gli strumenti digitali per esplorare le capacità di variazione progettuale.

Soltanto verso la fine del decennio il team di John Frazer, al tempo Docente alla Architectural Association di Londra, in una conferenza a Eindhoven introdusse il concetto di "modellazione soft", basata sulle relazioni tra parametri, imposta dall'architetto. In altre parole, gli "operatori di relazione" incoraggiavano l'utente a stabilire legami logici

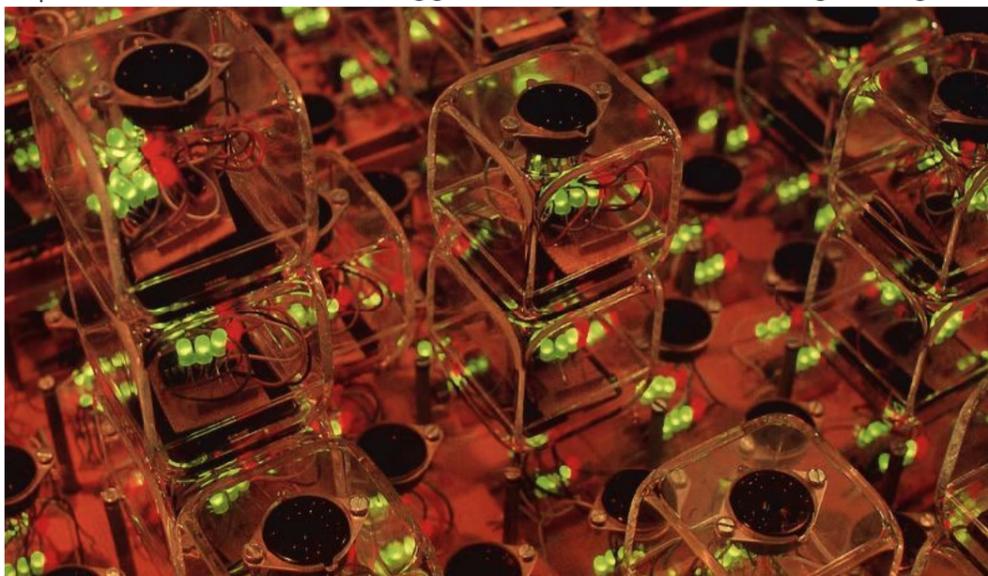


Fig 19: L'Universal Constructor
Fonte: JOHN FRAZER, *An Evolutionary Architecture*.

tra gli elementi geometrici, piuttosto che le specifiche coordinate⁵¹. Applicazione materica di questo concetto si era già vista nel 1979, quando Julia e John Frazer si occuparono del "Generator Project", un ambizioso progetto di un complesso edilizio in Florida, che cambiava forma in base alle esigenze degli utenti grazie ad una gru che muoveva dei moduli prefabbricati. Aspetto centrale della buona riuscita era la presenza di numerosi sensori e di un computer centrale (il generatore) che attraverso una logica di ottimizzazione genetica migliorava l'organizzazione dei blocchi. Allo stesso momento risulta interessante come questo progetto sia stato uno dei primi ad impiegare il concetto di architettura responsiva, cioè quella che cambia morfologia al variare delle condizioni esterne. La stessa logica di ottimizzazione evolutiva è stata utilizzata nel 1990, per costruire il "**Universal Constructor**",

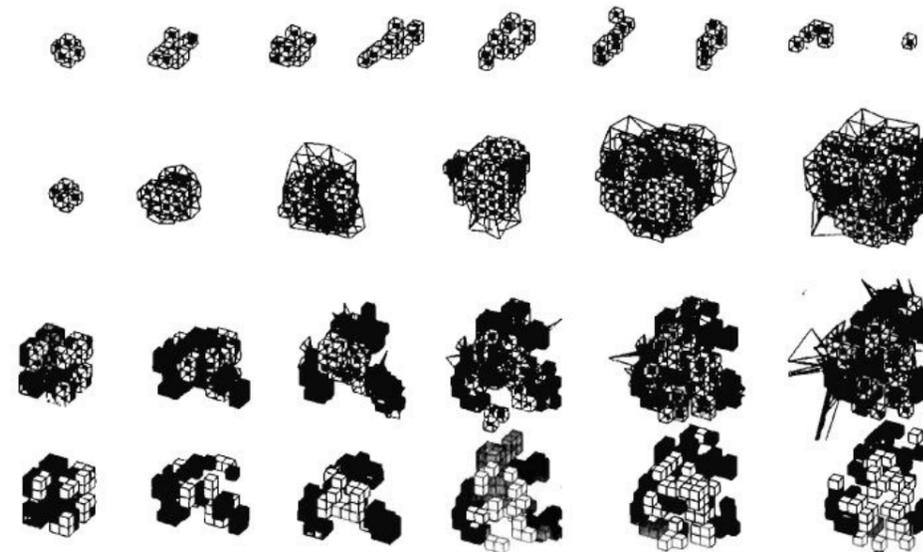


Fig 20: Esempi di aggregazione a seguito di variazione dei parametri
Fonte: JOHN FRAZER, *An Evolutionary Architecture*.

frutto del lavoro del Diploma Unit 11 presso la già nota AA di Londra: si trattava di una schiera tridimensionale di cubi identici, che al loro interno contenevano circuiti elettrici con sensori programmabili, collegati in serie. I cubi, piuttosto che una realistica rappresentazione di un elemento, sono stati scelti per la loro universalità, il che significava che potevano schematizzare qualsiasi forma e funzione.

Ad ogni cubo poteva essere associata una condizione - vento, suono o calore per esempio - alla quale l'insieme dei cubi reagiva tramite dei LED lampeggianti, suggerendo all'osservatore di aggiungere o togliere uno dei solidi dove vi era necessità.

Anche in questo caso il metodo permetteva di creare forme e pattern nello spazio in funzione di agenti esterni; Si trattava di un processo progettuale radicale, che mostrava che gli strumenti digitali avevano la possibilità di rappresentare un prodotto logico nello spazio⁵².

Anche se l'applicazione della AA risulta essere la prima in ambito computazionale, il principio di autogenerazione su cui si basa il Universal Constructor è già stato studiato da diversi matematici e fisici durante il corso del XX secolo, tra i quali John Von Neumann e John Conway, che avevano proposto il cosiddetto Gioco della Vita, un **automa cellulare** che ha lo scopo di governare l'evoluzione di organismi che seguono una serie di regole semplici governanti la loro esistenza, principalmente legate alla prossimità tra gli elementi.

L'esperienza degli studenti dei Frazer ha però il merito fondamentale di aver aperto la strada alle tecniche evolutive in architettura, e secondo lo storico d'architettura Mario Carpo, l'evoluzione delle logiche generative è tra le cause principali della svolta computazionale⁵³.

L'approccio dell'architettura evolutiva ha molti parallelismi con il processo tipico che si è seguito nelle architetture vernacolari, dove archetipi sono stati prodotti per adattarsi ad esigenze locali. Allo stesso tempo per sviluppo di un design morfologicamente variabile, è necessario un **concept architettonico formalmente flessibile**, in grado di essere espresso in una varietà di strutture e configurazioni spaziali, in funzione dell'ambiente costruito. Inoltre è necessario definire con attenzione il criterio secondo il quale operare l'evoluzione, come ad esempio massimizzare le viste di un edificio. In questo modo il codice genetico dei modelli selezionati può essere iterato ulteriormente in maniera ciclica⁵⁴.

A questo punto anche la teoria di progettazione procedurale per parametri è ormai finalizzata, trovando riscontro negli esiti formali di Frei Otto, Zaha Hadid, Lars Spuybroek, Peter Eisenmann. Il tassello finale per il salto nell'epoca digitale è dovuto principalmente allo **sviluppo di nuovi software da disegno**, ma anche a causa di una riduzione del costo del computer e della computazione avvenuta dalla fine degli anni 80. Di particolare importanza in questo caso risulta l'introduzione di Pro/ENGINEER, un programma sviluppato da Samuel Geisberg per il disegno meccanico. Questo permetteva agli utenti di stabilire parametri input, che venivano associati ai componenti disegnati. Ad esempio era possibile creare una coercizione tra un foro ed il suo rivetto: l'utente cambiando le dimensioni del rivetto causava una reazione di modifica dell'intero oggetto tridimensionale. Pro/ENGINEER ha il merito di aver ridotto il costo delle modifiche in corso di progetto, e di aver superato i rigidi limiti della modellazione tridimensionale.

Al tempo stesso, le ricerche accademiche e pratiche d'avanguardia hanno cercato di svincolarsi dalle limitazioni poste dai software: è esemplificativa la già citata esperienza della AA, dove si cercò di manipolare il processo dall'interno, cioè attraverso l'uso della programmazione, ancora troppo poco accessibile per essere diffusa capillarmente al pubblico di creativi.

Molti progettisti si resero conto che programmi più sofisticati con possibilità di **strutturare certe pratiche ripetitive** per la costruzione di modelli tridimensionali, avrebbero avuto la capacità di gestire geometrie complesse al di fuori delle capacità umane, oltre che risparmiare tempo. Questo tipo di modellazione si basa su linguaggi di programmazione che esprimono esplicite istruzioni in una forma che può essere eseguita da un calcolatore, tramite un procedimento step-by-step, cioè l'**algoritmo**. L'algoritmo, termine derivato dal nome del matematico persiano Al-Khwarizmi, è una procedura usata per ottenere una soluzione ad un quesito - oppure per compiere uno specifico compito - attraverso una lista finita di istruzioni. Gli algoritmi seguono l'attitudine umana a suddividere un problema in una serie di problemi più semplici che possono essere computati. Anche se sono fortemente legati al mondo informatico, possono essere definiti indipendentemente da un linguaggio di programmazione⁵⁵. Sono esempi di algoritmi le ricette culinarie, le istruzioni su come accendere un modem o addirittura la serie di passi da compiere per prendere un caffè. Gli algoritmi però rimangono la struttura base per lo sviluppo di qualsiasi software.

Quando le operazioni algoritmiche vengono eseguite da un computer, queste vengono inserite in esso attraverso editor specifici, che possono essere standalone o integrati all'interno di un programma. Esempi di **editor standalone** includono nomi come C#, Python, Java, mentre gli **editor integrati** vengono forniti da programmi come AutoCAD (AutoLisp), Rhinoceros (RhinoScript), Maya (MEL) o altri. Quest'ultima

Fig 21: Esempio di un algoritmo per fare il tè, rappresentato tramite un diagramma di flusso

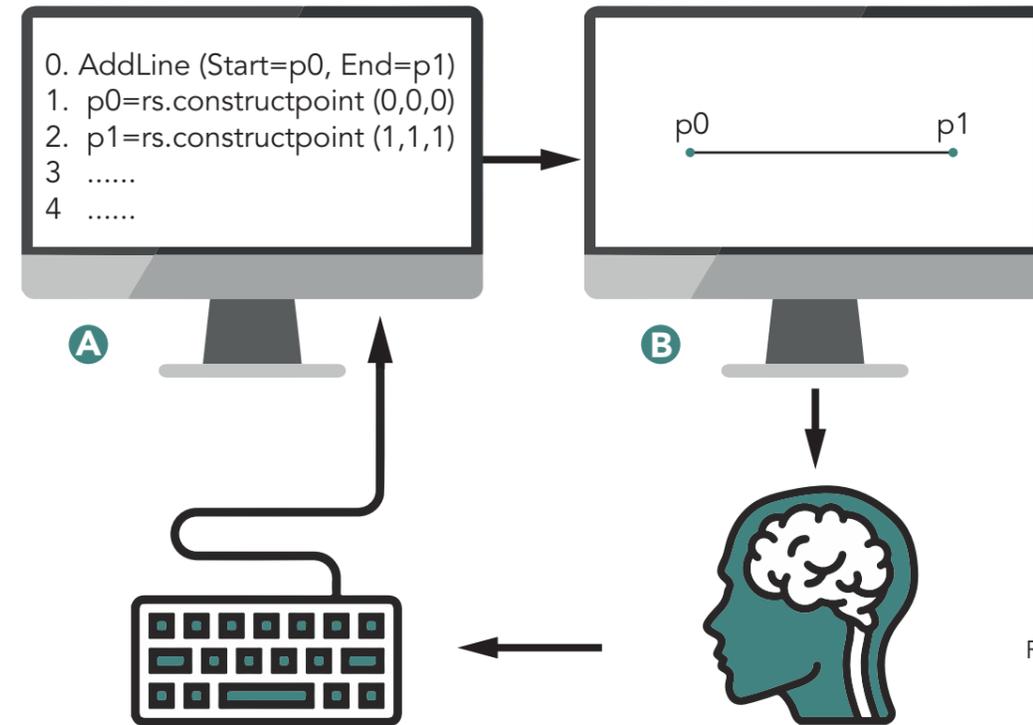
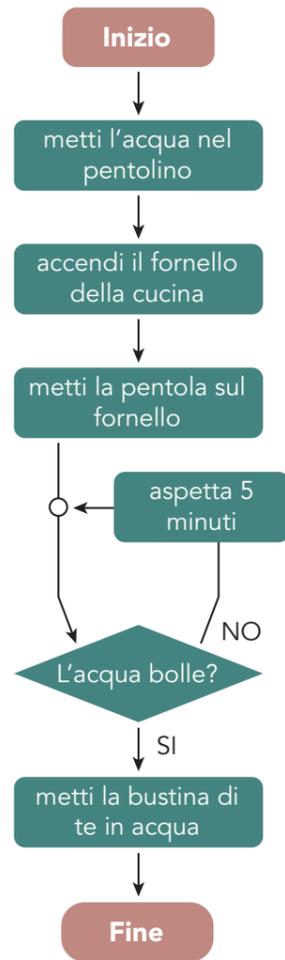


Fig 22: Ambiente di programmazione di entità geometriche all'interno di Rhinoscript, in questo caso, una linea.
Fonte: ARTURO TEDESCHI, AAD, Brienza, Le Penseur, 2014, p24

categoria di editor è la più utilizzata in architettura, in quanto permette di manipolare in modo automatizzato le geometrie fornite nativamente dal software.

Gli editor algoritmici lavorano solitamente con un processo logico esplicito espresso in un linguaggio specifico, che non richiede l'uso del mouse. Per poter visualizzare il processo geometrico è quindi necessario, oltre all'editor (A), la presenza di un ambiente di modellazione 3D (B), rappresentati nella Fig 9.

La linea costruita nell'esempio non è un semplice "segno digitale", ma è un modello digitale che risponde alle variazioni degli input, che manipolano l'intero sistema. Inoltre gli algoritmi possono essere costruiti in maniera tale che gli elementi di costruzione possano essere associati a diverse entità come numeri, geometrie primitive e dati generici. In questo modo si possono generare geometrie complesse, che rispondono ad una serie di istruzioni unidirezionali; la progettazione digitale/algoritmica permette agli utenti di stabilire un processo piuttosto che un singolo oggetto, esattamente come avveniva nelle istruzioni di Vitruvio o Leon Battista Alberti.

In tempi recenti molte software house hanno sviluppato strumenti visuali in modo da rendere la programmazione algoritmica più accessibile alle persone senza conoscenze dei linguaggi di programmazione. Questi programmi prendono nome di **VPL (Visual Programming Language)**, e sono basati sulla trascrizione grafica di relazioni e regole usando i diagrammi a nodi. Esempi di tali sistemi sono Grasshopper (McNeel), Dynamo (Autodesk), Generative Components (Bentley Systems) e altri. Il visual scripting favorisce un processo unidirezionale dove una linea può essere modellata con la connessione di due punti, un rettangolo con la connessione di 4 linee ecc. Questa logica generativa porta alla **"possibilità di costruzione di qualsiasi rete di relazioni, purchè sia all'interno di un dominio di parametri che descrivono l'elemento"**. Questo genere di diagramma parametrico ha la possibilità di creare modelli associativi che rispecchiano diverse configurazioni, attraverso il

controllo di parametri di input. Citando Patrik Schumacher:

“Mentre gli attributi dei primitivi grafici/digitali sono fissati in ogni momento, all’interno del diagramma parametrico essi rimangono variabili. Questa variabilità può essere vincolata all’interno di un range definito sulle basi di funzioni associative che infondono il processo diagrammatico, con un’intelligenza integrata. I diagrammi parametrici hanno un forte similitudine con il modo in cui l’evoluzione ha prodotto la fantastica biodiversità della vita, basata su un numero piuttosto ristretto di schemi dei corpi.⁵⁶”

Il diagramma parametrico quindi può essere considerato uno **smart medium** per il design e l’architettura, in quanto fornisce un’auto-coerenza interna senza precedenti, che trasposta in un linguaggio grafico facilmente modificabile, permette ai progettisti di sfruttare appieno le strategie di progettazione esistenti, e di esplorare delle nuove modalità di generazione della forma. È infatti l’insieme di questi vantaggi ad aver reso possibile la diffusione massiva di progetti architettonici complessi.

2.1 La Morfogenesi Digitale e la Computazione Evolutiva

Si è visto come con il passare del tempo si sono sviluppati programmi appartenenti a qualsiasi area del design, caricandosi di tutte le operazioni ripetitive in modo che il progettista possa concentrarsi sull’atto creativo. Per questo motivo, oltre che per la possibilità di generare variazioni all’interno di un range di soluzioni prestabilito, la metodologia parametrica verrà adottata da questo punto in poi per la stesura del lavoro, in quanto l’obiettivo della tesi non è esclusivamente generare un progetto di un padiglione ottimizzato, ma di **proporre una metodologia autopoietica che possa essere seguita in qualsiasi contesto**. Al contempo, l’utilizzo di questo approccio può comportare l’insorgere di mancanza maneggiabilità del processo o della forma finale, in quanto i progettisti sono spesso dipendenti dal software e dalle sue strutture, pensate dai programmatori. Allo stesso momento, il design computazionale, o design algoritmico, rappresenta un nuovo approccio, un tentativo di far diventare il designer anche un progettista dei processi computazionali, permettendogli di mettere in discussione i modelli esistenti di spazio e di interazione, esplorando completamente le possibilità dei mezzi elettronici⁵⁷, tramite programmazione o VPL.

Nell’ambito del design computazionale l’architetto è la figura che oltre a stabilire la famiglia di variabili da prendere in considerazione, ha il compito di definire le relazioni parametriche (matematiche e geometriche) che descrivono il progetto o i suoi componenti. Il design in questo caso si sposta dal disegno di una geometria, alla creazione di regole di interdipendenza che portano alla differenziazione dei componenti. Nonostante diversi programmi di modellazione 3D permettano lo sviluppo di un modello preciso in tempi brevi, qualsiasi modifica implicherebbe dover ricostruirlo tante volte, fino a quando non si raggiunge il modello definitivo. Il vantaggio degli strumenti parametrici (VPL o BIM) è il poter generare un modello resiliente, che accoglie cambiamenti imprevedibili che avvengono durante il processo di progettazione e che estrae dati precisi per le analisi di vario genere, riducendo sensibilmente i tempi e i costi di stesura del progetto. Questa modalità di lavoro inoltre permette una facile presentazione e modifica del progetto secondo le esigenze della popolazione,

che seguendo i principi dell’urbanismo tattico e della progettazione partecipata, segue e contribuisce attivamente allo sviluppo della forma, mentre gli aspetti puramente tecnici legati alla prestazione vengono lasciati sotto il controllo del designer. Una delle ricadute principali di questo approccio è il cambio del paradigma nello sviluppo delle forme, che non sono più definite attraverso un senso puramente estetico, ma vengono ricercate per ottenere una **prestazione massimizzata**. In questo modo la prestazione diventa elemento principale per la definizione del progetto, aspetto che una volta veniva considerato secondario, a discapito della apparenza⁵⁸, considerata primaria dai movimenti Postmoderni, compreso il Decostruttivismo.

Questo interesse per la prestazione all’interno dell’ambito progettuale si potrebbe descrivere come un processo di **morfogenesi** (derivato dai termini greci “morphe”-forma, e “genesis”- creazione), cioè di generazione di forme e pattern di un organismo tramite processi di crescita e variabilità, cioè il tipico processo di autoformazione e form-finding proprio degli organismi biologici, studiato a fondo da Frei Otto e Antoni Gaudì.

Bisogna riconoscere che nonostante vi siano forti similitudini formali tra i progetti non standard di Frank Gehry, Wolf Prix e altri, l’approccio morfogenetico di studi più contemporanei come ZHA, FOA, NOX è totalmente differente. Ad esempio Gehry rappresenta un tipico approccio post moderno, dove l’architetto è percepito come un genio creatore che impone la propria forma in un approccio top-down. Gli architetti operanti

Fig 23: Alcuni esempi architettonici di architetture derivate da morfogenesi digitale.

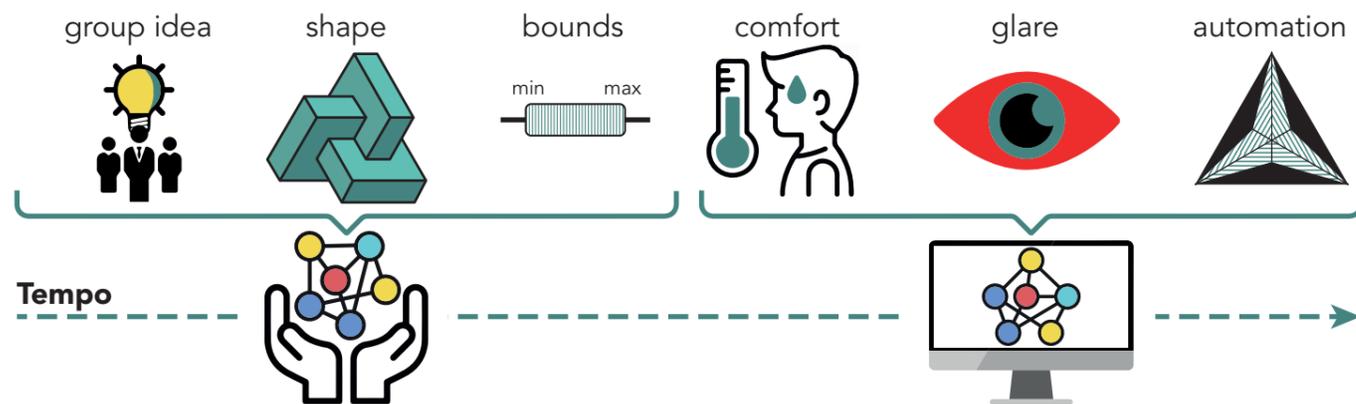
Fonti: WIKIMEDIA, MARCO INTRONI, FERNANDO GUERRA/FG+SG



seguendo la morfogenesi invece possono essere considerati come **supervisori del progresso di formazione**, che facilitano l'emergenza di forme che meglio rispondono a certe condizioni. Nel caso quindi della realizzazione di manufatti temporanei derivati dalle necessità della popolazione, l'architetto svolge il ruolo di "intermediario" tra la macchina che computa le esigenze bottom up dei cittadini, e quindi l'approccio morfogenetico si rivela ancora una volta tra i più adatti ad inserirsi all'interno dell'urbanismo tattico.

A differenza dei proto-parametricisti che ricercavano la forma secondo un approccio principalmente strutturale, la tendenza attuale è l'utilizzo di molti parametri, tra i quali quelli strutturali, ma anche costruttivi, economici, ambientali. Questo approccio non è presente soltanto all'interno di certi "hot spots" della produzione architettonica: le logiche strutturali dello Stadio Nazionale di Pechino (Herzog & De Meuron), così come le logiche dei flussi della Stazione di Alta Velocità di Afragola - Napoli (Zaha Hadid Architects), e infine le logiche ambientali del One Airport Square - Accra (Mario Cucinella Architects) dimostrano che si tratta di un fenomeno globale e applicabile a scale diverse. Allo stesso momento, come si è già accennato nel cap. 0.2, esistono pochi esempi di strutture "parametriche" che siano nate a seguito di esperienze di urbanismo tattico, e quindi si percorrerebbe una strada parzialmente battuta solo dalle esperienze di autocostruzione di padiglioni per esterni svolta all'interno dei centri di formazione universitari o di alcuni studi. Bisogna notare però che molti problemi architettonici sono completamente irrilevanti alla computazione e ottimizzazione, come la computazione è irrilevante a molte domande progettuali. Se certi problemi architettonici sono computabili, il computer può essere d'aiuto, ottimizzando la soluzione progettuale, riducendo lo spreco di denaro, del tempo e delle risorse non rinnovabili. Allo stesso tempo non si può semplificare l'architettura in una serie di problemi matematicamente descrivibili, e di conseguenza è scorretto fare affidamento esclusivo sugli strumenti digitali⁵⁹. Per questo motivo, in questa sede progettuale si farà affidamento sulla **computazione solo per gli aspetti di ottimizzazione** degli aspetti di comfort e della materialità, mentre gli aspetti restanti verranno introdotti all'interno dell'algoritmo come parametri fissi, decisi dalla popolazione o dai dati derivanti da essa. Inoltre non si farà affidamento sulle tecnologie di costruzione robotica, in quanto

Fig 24: Schema del processo progettuale. Propria elaborazione



comporterebbe l'eliminazione completa dell'esperienza sociale della costruzione, che è uno dei principali aspetti che supporta la direzione della progettazione partecipata (vedi cap 0.2).

In quanto si è detto che la forma è derivata dal contesto, per poter procedere alla prima definizione del progetto è necessaria innanzitutto la scelta del luogo in cui inserire il progetto, che verrà posizionato in

base ad un'analisi dei **dati localizzati nella città di Torino**. In particolare verranno presi in considerazione i dati sulla frequenza di utilizzo dei grandi spazi pubblici della città, relazionati con il loro confort in periodo estivo. Una volta stabilito il luogo più rilevante secondo i suddetti criteri, si procederà alla stesura di un'analisi prestazionale legata al contesto e alle richieste degli utenti, che avrà l'obiettivo di fornire un range dei parametri estremi di confort relativi all'irraggiamento, le ore solari, i venti prevalenti, ecc, in modo che il padiglione possa essere verificato secondo essi.

E' in questo contesto che si inserisce il Big Data, che fornisce la possibilità di interpretare i dati forniti dalla popolazione per informare i propri progetti, di fatto colmando il gap tra progettazione attiva e passiva⁶⁰. Infatti, con la diffusione di internet e la nascita dei social network, la **pubblicazione di dati è diventata sempre più diffusa**, che attualmente sono disponibili per numerosi aspetti: si hanno dati liberi sul clima, sulle città, e addirittura dati sulle opinioni delle persone, anche se in maniera indiretta.

Viviamo in un'era dove i dati sono presenti in abbondanza, ma molti di questi non vengono usati per informare efficacemente il design della fase concettuale. Le funzioni e le geometrie iniziali sono raramente analizzate per fattori quali uso di energia, illuminazione naturale, schermature, in quanto l'architetto è impegnato a risolvere altri problemi⁶¹. Praticamente, però è possibile reperire informazione di ogni genere per informare i propri progetti, ed è quindi possibile risolvere moltissimi problemi di natura prestazionale. Questo approccio non è per nessun verso universale e l'unico, in quanto molte aree della progettazione sono ancora fermamente legate a metodi postmoderni, e indubbiamente la cultura e pratica architettonica sarebbe più scarna se tutti gli architetti seguissero lo stesso approccio.

E' semplice infatti dire di fare "architettura derivata dai dati", ma come si fa effettivamente a generare una forma sulla base di liste di dati? Ci sono diversi problemi con questa linea di pensiero ma quello principale è come usarli veramente. La risposta è attraverso la **costruzione di una struttura di dati** che guida i parametri specifici degli elementi costruttivi. Per questo vengono in aiuto software parametrici come Grasshopper, già introdotto in precedenza, oppure software GIS, che permettono di geolocalizzare i dati. Per poter realizzare una struttura ordinata, i dati raccolti devono essere catalogati e ordinati seguendo una logica, specialmente quando si tratta del Big Data raccolto a scala urbana, cioè dei dati informativi raccolti che richiedono tecnologie per l'estrazione dei valori o conoscenze.

La catalogazione e organizzazione del Big Data può avvenire manualmente in software come Excel, se si tratta di pochi dati, oppure in casi dove i dati sono in grande quantità e poco ordinati, utilizzando delle intelligenze artificiali (AI)⁶². Esse hanno anche il grandissimo ruolo di svolgere altri compiti iterativi in modo autonomo, come trovare pattern nei flussi di spostamento, o elaborare dei dati apparentemente inutilizzabili trovandone valori significativi. All'interno di questo ramo della computer science, la **Computer Vision** riveste una particolare importanza per l'interpretazione dei dati, in quanto viene utilizzata per comprendere immagini e dati in settori come la fotogrammetria (i modelli tridimensionali presenti in Google Maps sono stati generati interamente in maniera autonoma a partire da foto aeree), nel settore automobilistico (riconoscimento di ostacoli, oggetti per aumentare la sicurezza sulla strada) e nel settore industriale (per controllare le tolleranze e precisione del prodotto)⁶³.



Fig 25: I risultati dell'analisi svolta dalla computer vision all'interno del progetto Barcelona Street Adaptations presso la IAAC. In Basso un render dell'esito progettuale.
 Fonti: IAACBLOG, ELIJAH MUNN, EVE NNAJI, RASHID GILFANOV, ROVIANNE SANTIAGO

Recentemente si sono viste applicazioni della computer vision anche in ambito architettonico, in particolare per lo studio degli spostamenti delle persone su mezzi privati o a piedi, le cui tracce sono state utilizzate per progettare un arredo urbano che permettesse ai corridoi di mantenere una sufficiente distanza per evitare la diffusione del Coronavirus. Grazie ad una semplice camera e ad un algoritmo per il riconoscimento delle 4 classi di oggetti, è stato possibile tradurre un video di diverse ore in una serie di dati direttamente utilizzabili⁶⁴.

Quello che risulta importante comprendere dalle suddette esperienze è come il **mondo dei dati stia cambiando il mondo di progettare**, che non è più basato su un'analisi statica e personale di una persona, ma su una serie di dati informativi che hanno la capacità di informare il progetto su molti livelli, e quindi di condizionare l'esito finale sotto molti aspetti.

Allo stesso momento, essendo la AI è sempre più impiegata in problemi architettonici, ciò ha fatto credere a molti progettisti che verranno sostituiti dalle macchine in futuro distopico. Secondo lo storico dell'architettura Mario Carpo ciò non succederà per tre diverse ragioni: L'architettura è un problema molto complesso, e che nella maggior parte dei casi non può essere esplicitato in un linguaggio che un computer può comprendere. Infatti molto di ciò che accade nel processo progettuale è basato su intuizioni, sentimento, gusto personale, ideologia, idiosincrasia, fattori completamente soggettivi e non computabili, rendendo la computazione irrilevante per scelte di carattere non tecnico, e specialmente nel caso della progettazione bottom-up.

In secondo luogo si è già detto che il designer computazionale ha l'obiettivo di controllare il processo e scegliere i parametri di ottimizzazione della morfologia, che non potrebbero essere esplicitati al computer senza l'aiuto umano. In ultima istanza, la AI è ancora oggi molto costosa per essere implementata integralmente nel processo progettuale, a differenza della manodopera dell'architettura, rendendo la sostituzione economicamente svantaggiosa⁶⁵. Inoltre, essendo i dati in

questo caso direttamente prodotti dalle esigenze dalle persone, o basati su repository aperte, l'implementazione delle AI all'interno del presente lavoro risulterebbe in un vantaggio marginale. Inoltre, anche se sui dati sociali raccolti nel seguente capitolo si potrebbe eseguire un'**analisi del sentimento**, ossia comprendere che tipo di sentimento è presente maggiormente in un determinato luogo, aiutando di fatto a determinare una soluzione progettuale più adatta, si preferisce non implementare questi algoritmi legati al mondo della intelligenza artificiale, in quanto non si possiedono sufficienti risorse tecniche e temporali.

Una volta inseriti i dati esplicitati e catalogati all'interno del software, essi hanno la capacità di creare moduli che potranno essere tradotti in proprietà geometriche spaziali o elaborati e mischiati tra loro per ottenere altri dati o essere utilizzati per un processo di analisi. Parliamo quindi di **design parametrico basato sui dati** introducendo una nuova profondità nel design architettonico. Il design in questo caso è fondamentale da definire come design di tipo relazionale, con una struttura di geometrie base che hanno il potenziale di essere modificate e alterate nel tempo. La forma prodotta può essere continuamente testata, analizzata e modificata all'interno di una struttura di vincoli, di variabili e di parametri⁶⁶. In questo modo la computazione materiale di Otto e Gaudì è stata trasposta all'interno di un dominio digitale. La trasposizione della fisicità dei materiali da costruzione all'interno di un ambiente totalmente dematerializzato ha generato il termine "tettonica digitale"⁶⁷.

Il vantaggio delle ottimizzazioni data-driven sarebbe limitato se la scelta del valore delle variabili fosse controllata manualmente, ed è per questo scopo che sono stati introdotti **solver evolutivi** come Galapagos, un plugin per Grasshopper (McNeel). Essi considerano una moltitudine di configurazioni e di dati, che vengono computati per restituire un'unica soluzione, che risponde più efficacemente ai parametri prestazionali imposti dall'architetto. L'evolutionary problem solving imita i processi di evoluzione biologici, dove per tentativi viene raggiunta la forma e/o configurazione ottimizzata. Questo processo di ottimizzazione avviene solitamente su certi parametri (geni), che l'architetto ha lasciato "liberi", che però sono collegati ad un algoritmo che ha una struttura tale da generare l'intera famiglia (genotipo) di componenti che seguono la stessa logica di base⁶⁸.

Prima di approfondire l'argomento evolutivo, si ritiene che sia necessario esplicitare i suoi **vantaggi e svantaggi**, compresi già da molto tempo dagli esperti del settore, ma non per questo meno triviali:

1S. Prima di tutto, questo tipo di algoritmo è **molto lento** e richiede tantissime risorse computazionali. Non è inusuale venire a conoscenza di algoritmi evolutivi che impiegano settimane per arrivare ad una soluzione. Ad esempio, una qualsiasi simulazione energetica/ambientale richiede almeno un minuto per iterazione. Se si considera di avere 50 iterazioni da 50 valori da analizzare per iterazione, si va incontro ad un tempo di calcolo di due giorni.

2S. In secondo luogo, gli algoritmi evolutivi **non garantiscono una soluzione**. A meno che non sia specificata una soluzione accettabile, l'algoritmo tenderà a calcolare per un tempo indefinito, di fatto non fornendo una soluzione finale.

1V. All'interno del dominio dei metodi computazionali, gli algoritmi evolutivi presentano un **altissimo grado di flessibilità**, che ne permette l'applicazione in molti problemi. Tuttavia ci sono classi di problemi che non sono in grado di affrontare, ma riguardano tipologie

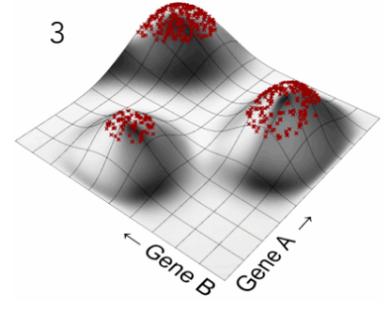
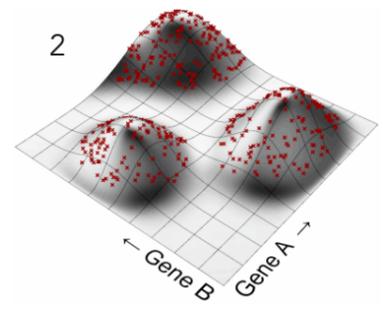
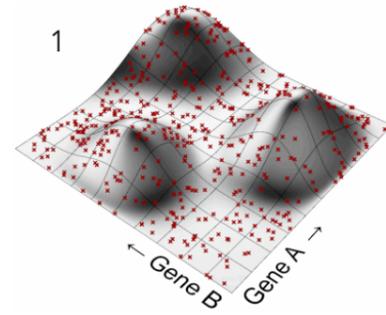
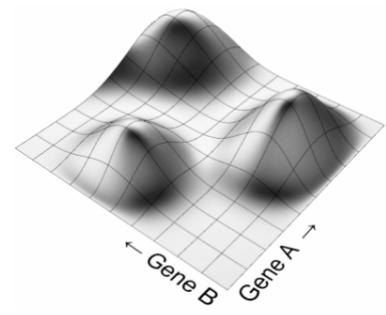


Fig 26: I vari stadi del processo evolutivo.
Fonte: David Rutten, Grasshopper blog.

molto rare nello sviluppo della pratica architettonica.
2V. Inoltre gli algoritmi evolutivi **perdonano facilmente** formulazioni non corrette, e computano senza problemi con genotipo molto stretto. In quanto la correttezza dei risultati è progressiva con il tempo, è possibile ottenere un risultato ottimizzato (ma non finemente) già nelle fasi intermedie del processo.
3V. Infine, gli algoritmi evolutivi permettono un **alto grado di interattività** con gli utenti. Questo perchè la lista di soluzioni generate iterativamente fornisce precisamente tutti i genomi utilizzati, permettendo uno scambio di soluzioni tra la macchina e la mente umana.

Il funzionamento degli algoritmi evolutivi è molto diretto. Ad esempio l'immagine a sinistra rappresenta graficamente l'**ambiente fitness, cioè l'obiettivo** di un particolare modello, che contiene due variabili, in questo caso A, B, rappresentati in ambiente parametrico come un qualsiasi parametro. Cambiando il Gene A, lo stato del modello varia in meglio o in peggio, a seconda di quello che si sta ricercando nella soluzione. Allo stesso momento per ogni valore di A è possibile cambiare la variabile del Gene B, generando di fatto una particolare combinazione fitness, espressa come l'altezza dell'ambiente di fitness. In questo caso il fitness o l'obiettivo dell'algoritmo evolutivo è di trovare il punto più alto all'interno dell'ambiente. Importante notare che nel design computazionale il fitness può essere qualsiasi cosa che risolve meglio un problema. Ovviamente molti dei problemi legati alla computazione dell'architettura non possono essere rappresentati solo con due geni, ma in questo caso non si potrebbe parlare di ambiente nel senso stretto: un modello con 12 geni avrebbe un volume di fitness in 12 dimensioni deformabile in 13, al posto di quello proposto che possiede un fitness in due dimensioni deformabile in 3 piani. Solitamente le variabili del problema sono molte, e quindi il fitness non sarà legato esclusivamente l'altezza massima, ma a tantissimi altri fattori che interagiscono tra di loro, e che eventualmente vengono bilanciati, generando una **soluzione evolutiva che è un compromesso tra tutte le forze in gioco**, che sono binaciate in funzione di un unico ambiente di fitness a cui tendere.

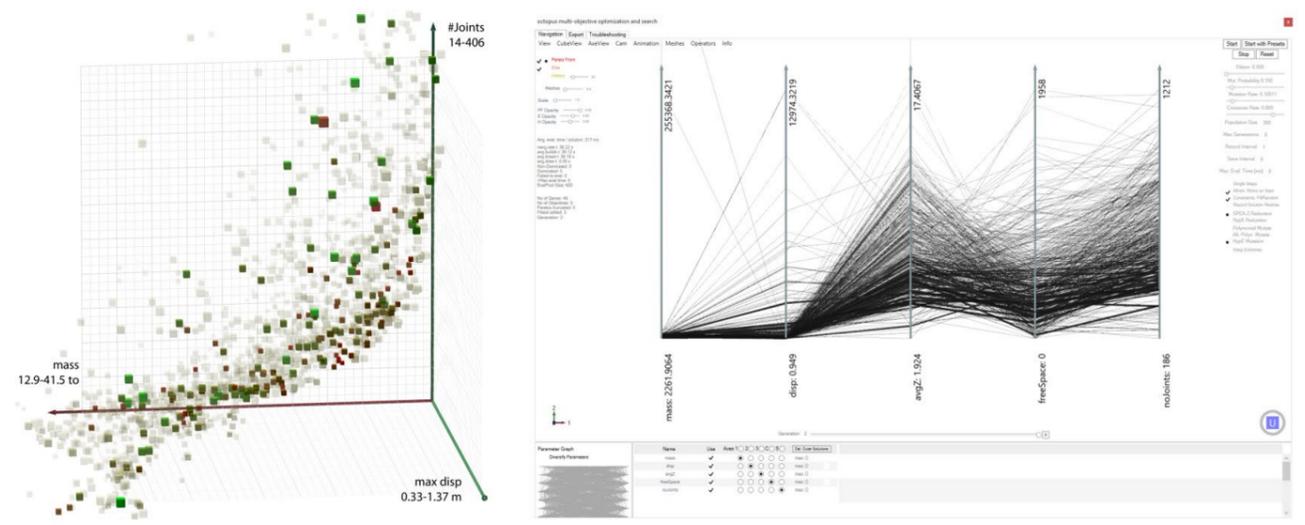
Una volta avviato il solver evolutivo, esso non ha idea delle sembianze dell'ambiente fitness, e pertanto provvede a popolare il modello con una serie di individui, detti genomi, posizionati in modo casuale (1). Un genoma non è nient'altro che un valore specifico per ogni gene, ad esempio {A=0.2 B=0.5}. Una volta popolato l'ambiente, il solver provvede a valutare il fitness di ogni genoma, classificandolo da più alto a meno alto. In quanto l'algoritmo cerca soluzioni con posizioni più alte, si suppone che gli individui con le posizioni più alte hanno un potenziale più alto di avvicinarsi alla soluzione ottimale. Per questo motivo, è possibile scartare gli individui meno adatti, e per aumentare la precisione del solver, oltre che generare la seconda generazione di individui (2) a partire dalle posizioni della prima generazione, che aveva posizione totalmente casuale. La generazione successiva infatti ha probabilità più alta di avvicinarsi alla soluzione, in quanto discendente dagli individui con caratteristiche migliori. Ripetendo il processo di scarto dei genomi meno performanti e allevando i figli di quelli più performanti, si può notare che già dalle prime iterazioni l'intera popolazione si concentra nelle zone alte del paesaggio, avvicinandosi alla combinazione ottimale dei Geni (3)⁶⁹.

In quanto l'obiettivo dei precedenti paragrafi è comprendere il funzionamento degli algoritmi evolutivi in un ottica di ottimizzazione delle caratteristiche di una struttura leggera, sono stati omessi volontariamente gli aspetti puramente legati agli aspetti "biologici", che approfondiscono le modalità operative di selezione degli individui, accoppiamenti, coalescenza (selezione dei geni dei genitori) e mutazione dei geni.

A questo punto è necessario notare che non tutti i solver evolutivi per Grasshopper hanno la capacità di **risolvere problemi a più obiettivi**, tra i quali il già presentato Galapagos, risultando in una semplificazione non trascurabile. Allo stesso momento, i design delle facciate, degli edifici e delle strutture temporanee si sono evoluti significativamente grazie alla applicazione degli algoritmi evolutivi e delle logiche legate alla ottimizzazione all'interno dei campi strutturali, fisico-tecnico e costruttivo. Basti pensare alle sperimentazioni di Frei e Musmeci per comprendere come un approccio performance driven ha influenzato lo sviluppo del linguaggio e la comprensione dell'architettura contemporanea⁷⁰.

Sempre più spesso i sistemi ottimizzati, derivati degli studi parametrici sull'**ottimizzazione, sono integrati nella pratica progettuale**, indicando la crescente importanza di analisi morfogenetiche che permettono di ridurre l'impatto delle costruzioni sull'ambiente, in modo da raggiungere gli obiettivi dell' Agenda 2030⁷¹. Programmi per l'analisi fisico-tecnica come Ladybug e Honeybee per Grasshopper hanno contribuito sicuramente in modo sostanziale a tale sviluppo. Le ottimizzazioni evolutive monoparametro nonostante massimizzano l'efficienza del progetto, non considerano la moltitudine di altri aspetti che unitariamente incidono sia sul manufatto che sui suoi utenti. Considerando invece **solver evolutivi multi-fitness o multi-obiettivo**, è possibile andare oltre la semplice ottimizzazione attraverso la combinazione di un'ottimizzazione pluriparametrica ad un'adattabilità efficiente.

Fig 27: A sinistra viene mostrato il grafico tridimensionale con i dati evolutivi, che sono stati prodotti combinando i fitness imposti (a destra) Fonte: Robert Vierlinger

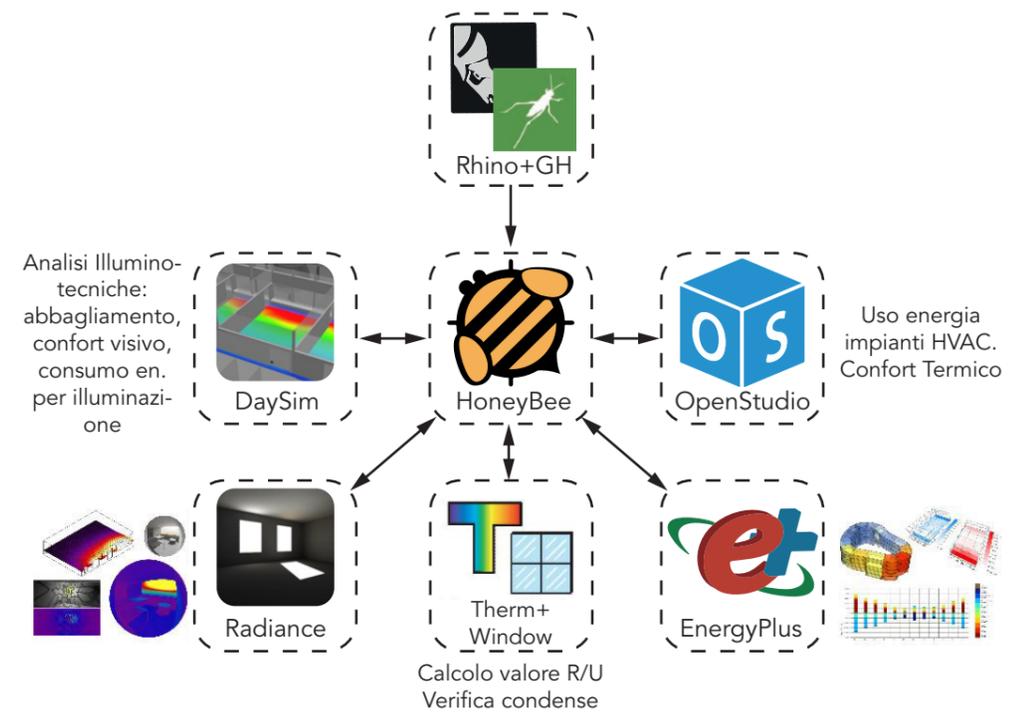


E' infatti impossibile ridurre la moltitudine di tutti i fattori ambientali ad uno solo. Nella realtà infatti, gli aspetti che concorrono a rendere prestazionale un edificio, la sua facciata, o come in questo caso in padiglione per esterni, sono molteplici e multi-dimensionali, cioè non intercambiabili tra di loro. Galapagos può essere d'aiuto nel capire la performance migliore di un singolo parametro di fitness (ad esempio la radiazione solare incidente), ma non è in grado di ottimizzare contemporaneamente tutti i fattori in gioco, come il comfort visivo o il vento. Per questo motivo viene deciso di impiegare il **solver evolutivo**

Octopus, sviluppato da Robert Vierlinger, che permette eseguire morfogenesi evolutive pluriparametriche, cioè è in grado di garantire una mediana di ottimizzazione per diverse condizioni, garantendo allo stesso tempo una soglia di performance per ogni condizione⁷². In questo modo un'ottimizzazione evolutiva multiparametro può essere uno strumento fondamentale per risolvere obiettivi conflittuali di prestazione energetica, costi, necessità del cliente e comfort occupazionale, o quant'altro, bilanciando i parametri seguendo il principio di Pareto, esplicitato in modo più approfondito nel capitolo 4.3.

Nonostante Octopus richieda gli stessi dati di input richiesti dal meno sofisticato Galapagos, esso genera anche una serie di dati informativi, visualizzati attraverso un grafico tridimensionale basato sui fitness specificati, che hanno la funzione di essere valutati visualmente dal controllore dell'intero processo computazionale. Infine, bisognerebbe notare che all'interno di un scenario di adattabilità evolutiva, l'ottimizzazione avviene per situazione piuttosto che globalmente. Il sistema infatti calcola in continuo le performance ottimali in relazione ad un preciso istante temporale che può variare in funzione della necessità, piuttosto che rispetto a momenti prefissati prima dell'inizio della computazione. L'adattabilità del software permette la versatilità di analisi necessaria ad assolvere alle prestazioni diverse causate dai cambi di stagione, variazioni giornaliere di temperatura e addirittura dal cambiamento climatico. Con l'uso di questa metodologia si ha la possibilità di ottimizzare un manufatto edilizio di qualsiasi natura rispetto a qualsiasi istante del tempo, e quindi possiede una flessibilità particolarmente spiccata.

Per quanto riguarda invece la scelta dei software di analisi fisico tecnica da abbinare al solver evolutivo, si ritiene che i più adatti allo scopo di valutare molteplici aspetti siano i plugin **Ladybug, Honeybee e Butterfly**, sviluppati dal team di Mostapha Roudsari. Un grande vantaggio di queste estensioni si ha nel fatto che fanno parte dello stesso ecosistema, garantendo una forte interoperabilità tra le fasi e tipologie di analisi. Inoltre, le analisi sono interamente basate su **dati climatici reali**, contenuti all'interno di file .epw (energyplus weather file) il che permette



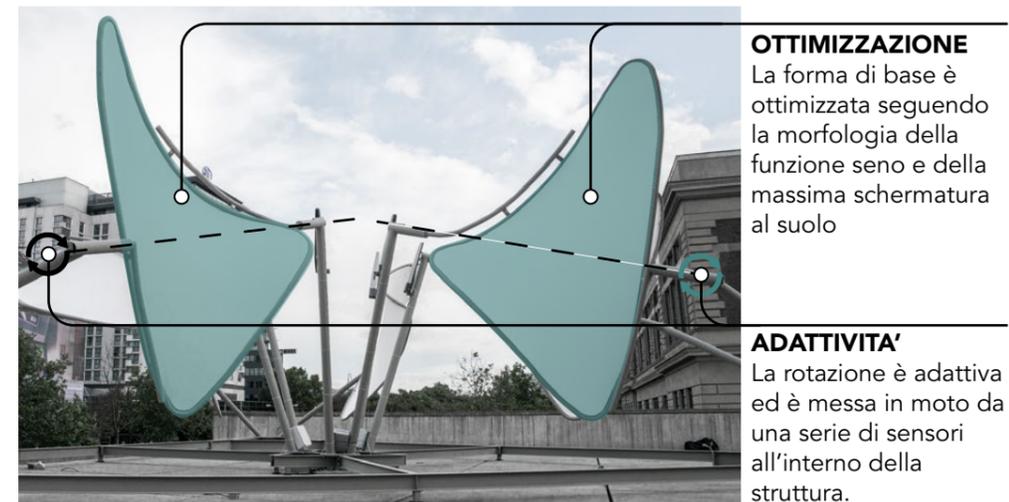
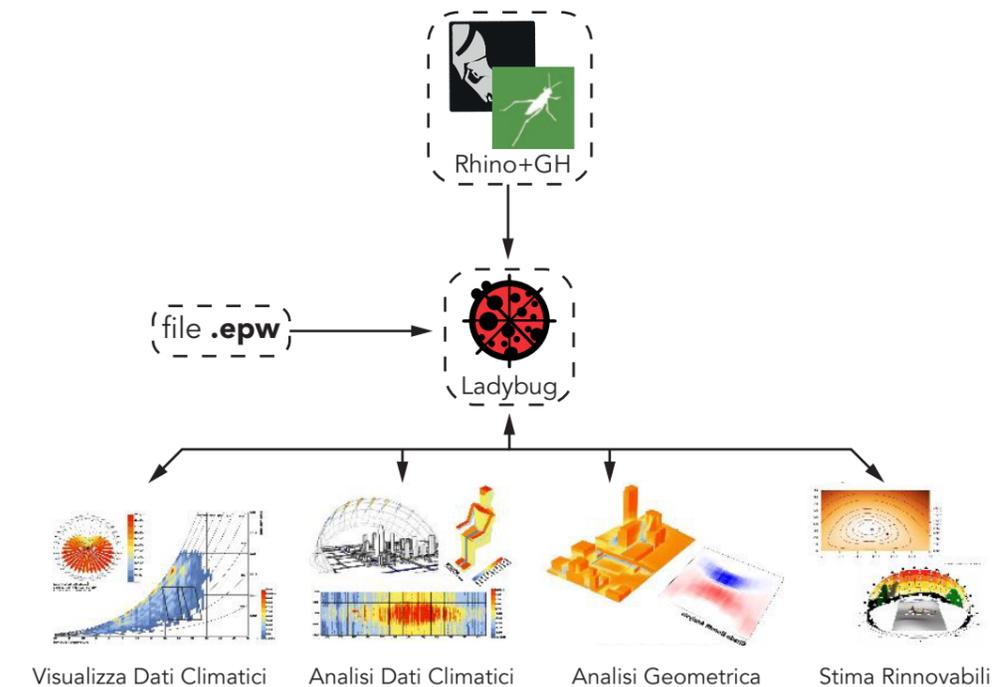
un'alta attendibilità dell'analisi, oltre che un'alta "risoluzione" in quanto è possibile ottenere analisi per ogni ora delle 8760 ore dell'intero anno. Infine, essendo questi strumenti una piattaforma di unione per motori di simulazione riconosciuti, viene garantita un'alta attendibilità dei risultati. Honeybee infatti racchiude al suo interno ben **5 motori di simulazione**:

1. Radiance per analisi illuminotecnica istantanee;
2. Daysim (basato su Radiance) per analisi illuminotecnica prolungate;
3. EnergyPlus per modellazione e analisi del calore, energia elettrica e combustibili;
4. OpenStudio per l'integrazione di Radiance ed EnergyPlus;
5. Therm per l'analisi delle condizioni termoclimatiche e verifica della condensa interstiziale seguendo il metodo di Glaser⁷³;

Pertanto, procedendo all'integrazione tra ottimizzazione evolutiva di Octopus e dei risultati ottenuti in Ladybug si ha in primis l'opportunità di valutare in tempo reale la prestazione del modello digitale già formalizzato e di variane le caratteristiche in tempo reale, ricevendo un feedback in tempo reale sulla sua prestazione. Una seconda ricaduta dei solver evolutivi si ha nel campo del form finding, come risposta formale-concettuale alle prestazioni richieste dai parametri⁷⁴.

Fig 30: Applicazione della metodologia di ottimizzazione e adattabilità per una struttura temporanea leggera - Folias Pavillion (ZHA + Luca Beltrame).
Fonte: Luca Beltrame

Fig 28, 29(pagina a fianco): Diagramma di funzionamento e utilizzi principali di Ladybug (in alto) e Honeybee (in basso)
Fonte: ispirato a MOSTAPHA SADEGHIPOUR ROUDSARI, *Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design*, Adrian Smith + Gordon Gill Architecture, Chicago, U.S.A., 2013



Allo stesso momento, quando si procede all'ottimizzazione di una serie di obiettivi, i dati finali ottimizzati lo sono per una specifica condizione e non per l'intero data set, come ad esempio le 8760 ore annue. Al contrario, l'**adattabilità della struttura garantisce una flessibilità sistematica** che permette lo spostamento continuo verso dati ottimali, causato da un cambiamento delle condizioni esterne. In un certo senso le strutture adattive sono auto-ottimizzanti, in quanto permettono alla pelle esterna di compensare le fluttuazioni climatiche e i cambiamenti di necessità degli utenti.

Quindi, un sistema di questo genere (Fig 30), ha come configurazione mediana quella prodotta da un'ottimizzazione multiparametro, ma ha anche la possibilità di variare l'intensità dei vari parametri (come ad esempio la rotazione di lamelle di schermatura) su richiesta di varie necessità differite nel tempo. In questo tipo di scenario, il sistema è in grado di incrociare diversi obiettivi producendo un unico risultato di base, ma anche di pesare gli stessi fattori e parametri al fine di adattarsi alle condizioni situazionali⁷⁵.

2.2

Analisi delle Strutture Leggere Responsive

Questa adattabilità ed evolutività del modello digitale, descritta nel capitolo precedente però pone in evidenza delle domande spontanee, cioè perchè i manufatti edilizi contemporanei non possono essere intelligenti quanto i software che li producono, e perchè vengono usati questi programmi per generare una soluzione generalizzata, piuttosto che una responsiva che possa rispondere a più situazioni?

Con lo sviluppo di sistemi di **facciate e componenti adattivi**, i progettisti hanno compiuto un importante passo in avanti per rispondere a queste domande, che alimentano costantemente la ricerca delle strutture responsive. Attraverso l'utilizzo di meccaniche dinamiche, un sistema di facciata o copertura può continuamente adattarsi e cambiare la sua risposta nei confronti delle azioni ambientali esterne. Si presuppone in questo caso che questo sistema abbia un'intelligenza integrata, evidenziata dalla flessibilità meccanica necessaria per sopperire alle fluttuazioni climatiche.

E' necessario notare che molto spesso questi sistemi sono molto attivi, variando forma secondo diverse fasce orarie giornaliere, anche se in realtà sono sufficienti cambiamenti mensili per ottenere dei guadagni in termini di risparmio energetico. Inoltre, anche la **modalità del cambiamento di forma può essere di varia natura** (impiego di materiali a cambiamento di fase, scambio tra livelli nella stratigrafia), e basata su principi funzionali differenti (tecnologie attive o passive)⁷⁶.

Infine, bisogna ricordare che questi componenti e strutture sono molto difficili da progettare, in quanto la loro adattabilità influenza diversi aspetti fisici e pratici, che molto spesso sono interdipendenti tra di loro⁷⁷. Per questo motivo le strutture, specialmente se di grandi dimensioni, molto spesso non utilizzano sistemi adattivi per migliorare le prestazioni, ma si limitano all'utilizzo di forme e morfologie ottimizzate, che comunque migliorano sensibilmente le prestazioni.

Questi aspetti che regolano il movimento o l'ottimizzazione possono essere ricondotti a molti temi, anche se la pratica progettuale attuale riguarda principalmente (Fig 31):

1)massimizzazione del comfort visivo, termico e acustico degli utenti, agendo su componenti diverse dal classico impianto di climatizzazione e schermatura.

2)massimizzazione delle prestazioni meccaniche e strutturali, derivate dalla topologia e dalla forma degli elementi stessi;

3)Minimizzazione del fabbisogno energetico di un edificio attraverso strategie ambientali passive e conseguentemente massimizzazione degli apporti energetici nelle zone volute;

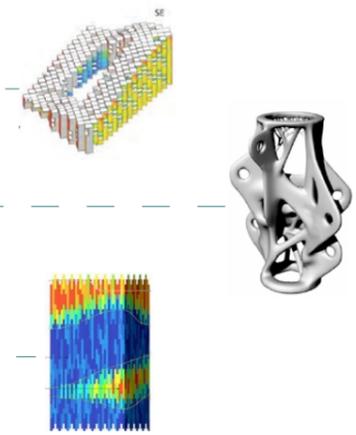
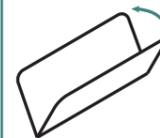


Fig 31: esempi dei campi di applicazione della ottimizzazione. Dall'alto verso il basso: il progetto ST7 (BIG), un nodo meccanico soggetto a compressione e torsione, Hanwha Headquarters (UNStudio)

Per comprendere meglio il funzionamento degli adattamenti e di come migliorano le proprie prestazioni in vari campi, verrà di seguito presentata una lista sinottica di progetti di componenti, strutture leggere, coperture, arredi ed installazioni temporanee, in modo da individuare i trend e le metodologie principali da applicare nelle fasi progettuali della tesi. Il catalogo dei progetti non fornisce in alcun modo una lista comprensiva di tutti i progetti dal carattere cinetico e/o ottimizzato, in quanto la lista sarebbe troppo lunga per il formato della presente. Per questo motivo si è deciso di ridurre il numero dei riferimenti ai soli progetti più rappresentativi, in modo da poter trarre conclusioni significative a fine capitolo. Inoltre, come si è già detto l'obiettivo di questo lavoro di ricerca la progettazione di una struttura leggera di dimensioni ridotte, e pertanto non verranno prese in considerazione strutture di ampia metratura, ma solo le piccole realizzazioni che migliorano gli aspetti ambientali, strutturali e la fruizione da parte della popolazione.

Ciascun progetto verrà categorizzato secondo il criterio delle classi legate ai temi della responsività e ottimizzazione, in particolare:



-Cinematica; Questa classe contiene progetti che fanno uso di tecniche meccaniche (come gli origami) o sfruttano alcune proprietà dei materiali (come la dilatazione termica) per rendere possibili i movimenti delle parti che compongono la struttura;



-Packing e Rapida Messa in Opera: Questa classe include quei lavori che si basano sul movimento delle parti per ridurre le dimensioni della struttura nelle fasi di stoccaggio, trasporto o per la semplice ottimizzazione spaziale. Sono inclusi anche i manufatti che sfruttano il movimento per essere messi in opera in poco tempo;



-Struttura: Questa classe comprende i lavori che hanno impiegato strategie di form finding per definire la forma e migliorare le prestazioni meccaniche o ambientali alla base, senza l'impiego di meccanismi cinetici e di adattabilità nella fase di uso.



-Comfort: Classe che riguarda i progetti che hanno fatto uso del movimento o costruito il manufatto per aumentare il comfort dei fruitori dello spazio confinato;



-Low Tech: L'ultima classe riguarda quelle soluzioni che non prevedono soluzioni motorizzate per ottenere i movimenti, riducendo il consumo energetico e il rischio di rottura dei meccanismi.

_2006
 _DB Folding
 Disco!
 _BR
 _Fernanda Do-
 labella Dubal
 designboom.com

_2009
 _Cardboard
 banquet paper
 pavilion
 _Cambridge -
 UK
 _Cambridge U.
 iconeye.com

_2011
 _Ice Skating
 Shelters
 _Winnipeg - CA
 _Patkau Archi-
 tects
 archdaily.com

_2004
 _Ha-Ori Shelter
 _London - UK
 _IDEOlabs
 dome.mit.edu

_2010
 _Move Choreo-
 graphing You
 _London - UK
 _Amanda Levete
 dezeen.com

_2011
 _Resonant
 Chamber
 _University of
 Michigan - USA
 _RVTR + ARUP
 archdaily.com

_2014
 _Shrumen Lu-
 men
 _Black Rock City
 - USA
 _IDEOlabs
 ideo.com

_2012
 _Canary Wharf
 Kiosk
 _London - UK
 _Make Archi-
 tects
 makearchitects.com

_2012
 _The Bowooss Tem-
 porary Pavilion
 _BR
 _Saarland Uni-
 versity + Pohl
 Achitekten
 arch2o.com

_2012
 _Arum Shell
 _Venezia - IT
 _ZHA
 archdaily.com

_2016
 _Arch(k)inetik
 _Stuttgart - DE
 _Univerisity of
 Stuttgart + Axel
 Koerner
 axelkoerner.com

_2014
 _AMi Chair
 _Mosca - RU
 _Alice Mikina
 behance.net

_2013
 _Cardborigami
 _Santa Monica
 USA
 _Tina Hovsepien
 newatlas.com

_2013
 _Plate House
 _Oxford - UK
 _Joe Gattas
 joegattas.com

_2013
 _Pop Up Dome
 _Delft - NL
 _University of
 Technology
 buckylab.blogspot

_2018
 _InVert
 _Los Angeles - USA
 _DO|SU
 archdaily.com

_2017
 _Stand Alumilux
 _Barcelona - ES
 _Joime Prous
 Architects
 archdaily.com

_2018
 _Porous Manifold
 _Tokamachi - JP
 _FADS Studio +
 Fujiki Studio
 archdaily.com

_2017
 _O-Twist
 _Delft - NL
 _BuckyLab
 buckylab.blogspot

_2017
 _Minima|Maxima
 _Astana - KZ
 _TheVeryMany
 buckylab.blogspot

_2017
 _AVES
 _Delft - NL
 _BuckyLab
 buckylab.blogspot

_2014
 _Underwood
 Pavillion
 _Muncie - USA
 _Kennesaw
 State University
 researchgate.com

_2011
 _Bloom
 _Los Angeles - USA
 _DO|SU
 dosu-arch.com

_2014
 _Urban Urchin
 _Holon - IL
 _DO|SU
 dosu-arch.com

_2017
 _ModuShade
 _Delft - NL
 _BuckyLab
 buckylab.blogspot

_2017
 _Wing Shelter
 _Delft - NL
 _BuckyLab
 buckylab.blogspot

_2014
 _Folded Bam-
 boo Concept
 _CN
 _Ming Tang
 archdaily.com

_2012
 _HornBeam Leaf
 _AT
 _EmTech
 axelkorner.com

_2017
 _Flectofold
 _Stuttgart - DE
 _ICD-ITKE Stutt-
 gart
 axelkorner.com

_2019
 _Queensland
 State Library
 Canopy
 _Queensland-AU
 _PoliTO + Tebe
 + DAD
 solarlits.com

_2017
_Elytra Filament
Pavillion
_London - UK
_ICD-ITKE
Stuttgart
achimmenges.com




_2000
_M House
_Gorman - USA
_Michael
Jantzen
arcspace.com



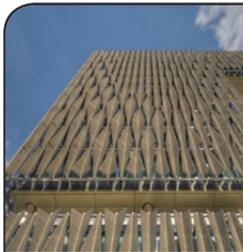

_2008
_Cafe OPEN
_Amsterdam -
NL
_De Architekten
CIE
Rob Hoekstra




_2012
_Torri Al Bahar
_Abu Dhabi -
UAE
_Aedas Archi-
tects
arch2o.com




_2010
_Q1 Thyssen-
rupp
_Essen - DE
_JSWD + CMA
archdaily.com




_2010
_Kiefer Technic
Showroom
_Bad Gleichen-
berg - AT
_Ernst Giselbre-
cht + Partners
archdaily.com




_2013
_Hygroskin
_Orléans-la-
Source - FR
_Archim Menges,
Oliver Krieg,
Steffen Reichert
archdaily.com




A⁺⁺

_2014
_SDU Campus
_Kolding - DK
_Henning Lars-
en Architects
archdaily.com




_2010
_Jumbo Origa-
mic Arch
_Tokyo - JP
_Atelier Bow
Wow
bow-wow.jp





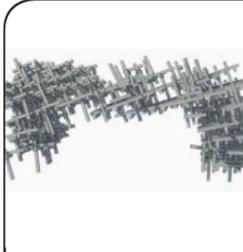

_2018
_Aggregate
Pavillion
_Stuttgart - DE
_Archim Menges,
K. Dierichs
icd.uni-stuttgart.de





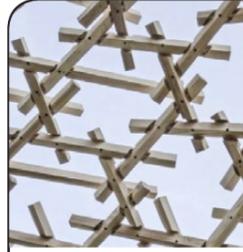
A⁺⁺

_2019
_Plane Aggre-
gation
_Barcelona - ES
_IAAC
iaacblog.com




A⁺⁺

_2012
_Project Frame-
work
_Massachussets
- USA
_MIT
mitarchitecture.com



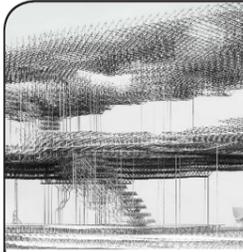

A⁺⁺

_2017
_Tallin Biennale
Pavillion
_Tallin - EST
_Gilles Retsin
retsin.org






_2016
_Wirevoxels|In-
terlace
_London - UK
_Meizi Li
ucl.com






_2016
_Chronomimo
_Los Angeles -
USA
_José Sanchez
plethoraproject.com





Procedendo all' analisi dei casi studio e alla loro catalogazione, è stato possibile **individuare dei trend**, in modo da comprendere meglio le problematiche e i punti di forza all'interno del contesto delle strutture adattive e/o ottimizzate.

Su un totale di 39 progetti, la classe meno rappresentata è quella Low-Tech, indicando una mancanza di interesse verso questo tema da parte della sperimentazione, probabilmente causato dalla mancanza di fondi per l'utilizzo di materiali adattivi (come il bimetalli, usato in molte opere di Doris Sung) oltre che dalla evidente difficoltà di applicare prototipi di materiali innovativi su scale intermedie come quella del padiglione. Allo stesso momento, i dati hanno reso evidente come il tema del comfort esterno adattivo sia diventato sempre più attuale, principalmente risolto attraverso sistemi di movimento meccanici ispirati ai tradizionali pattern degli origami, che oltre a rendere la struttura cinetica, permettono di aumentare la rigidità intrinseca degli elementi grazie a semplici principi geometrici.

In altri casi gli origami sono stati usati per migliorare le prestazioni meccaniche della struttura, anche se nella maggior parte di questi casi viene preferito l'utilizzo di forme organiche per migliorare sia gli aspetti ambientali che quelli strutturali, rispecchiabile in Minima|Maxima di Marc Fornes (TheVeryMany).

Infine, vi è un discreto numero di progetti (20) che ha applicato principi di rapida messa in opera permessa dal movimento e accostamento delle parti, visibile principalmente in realizzazioni temporanee che hanno tra una delle necessità principali quella di essere facilmente trasportabili, montabili e smontabili. Di particolare interesse sono le cosiddette architetture discrete, che attraverso **l'assemblaggio di moduli hanno la possibilità di creare architetture di diversa scala, complessità e funzione**, aspetto che si può ritrovare negli obiettivi della presente ricerca.

Osservando questa breve lista di progetti ci si rende facilmente conto che nella maggior parte dei casi il cinematismo è stato ricondotto a pattern tradizionali degli origami e a soluzioni standard, già utilizzati da moltissimi progettisti, con il rischio di cadere nella banalità e ripetitività delle soluzioni. D'altro canto, vi è un interessante ma ristretto filone di sperimentazione per lo sviluppo di soluzioni High-Tech che sfruttano proprietà fisiche dei materiali per rendere le strutture adattive, con una serie di evidenti vantaggi, primo tra i quali quello di impiegare meno energia per il movimenti delle parti. In secondo luogo questi meccanismi sono più semplici da un punto di vista meccanico, con minori rischi di rottura e quindi minore costo per la manutenzione. Inoltre, essi sono prodotti in stabilimento sotto forma di moduli accostabili, il che ne aumenta la qualità di costruzione e la flessibilità di applicazione. Infine, la capacità di dilatarsi e cambiare forma, caratteristica dei bimetalli in particolare, garantisce la possibilità di adattamento senza alcun sensore aggiuntivo. Nonostante questa categoria offra numerosi vantaggi, la sua implementazione in un contesto legato all'assemblaggio partecipato risulta di difficile applicazione, e pertanto si decide di **implementare all'interno del presente progetto la categoria delle architetture discrete**, che offrono vantaggi simili a quelle high tech, ma hanno il vantaggio di essere sistemi facilmente assemblabili in cui l'adattività è permessa dalla facilità con cui si possono ricombinare il moduli.

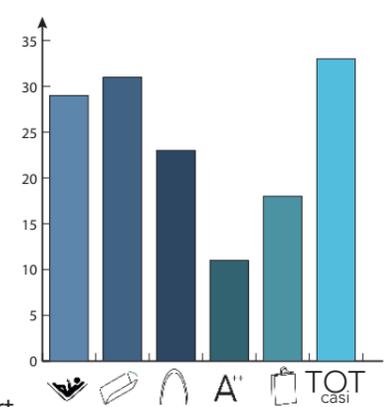


Fig 32: Graficizzazione dei dati ottenuti catalogando gli esempi di architetture cinetiche/adattive. Propria elaborazione

La grande quantità di dati che una città produce sono fondamentali per la buona riuscita di ricerche e per i legislatori che si occupano del tema della città. Esempio di questi dati sono le distribuzioni spazio-temporali della popolazione e la sua attività economica, che svolgono sempre più spesso ruolo di guida essenziali per i ricercatori degli ambiti urbani, economici e ambientali, in quanto aiutano a comprendere le attività di una città⁷⁸.

La principale fonte dei dati socioeconomici sono vari tipi di sondaggi. Per esempio, il censimento fornisce dati demografici completi, mentre i dati sulle strutture e modalità di consumo sono rappresentati nel paniere. Tuttavia, a causa dell'alto costo di queste analisi, esse non possono avere contemporaneamente un'alta inclusività della popolazione e frequenza; infatti, la frequenza con cui viene condotto un censimento non supera i 10 anni.

Essendo quindi la raccolta tradizionale dei dati ad alta risoluzione condotti con cadenza bassa, i ricercatori, progettisti e i legislatori sono alla costante ricerca di approcci alternativi per misurare i dati nei loro rispettivi campi di interesse⁷⁹. Ne sono esempio le "Luci Notturne", dove le immagini satellitari sono state usate per comprendere il funzionamento delle attività commerciali su scala regionale⁸⁰, oppure la raccolta dei numerosissimi dati prodotti dai social network, dai cellulari e dalle piattaforme e-commerce, che sono stati implementati per studiare il carattere⁸¹, tassi di disoccupazione⁸², ricchezza⁸³, e le modalità di consumo⁸⁴ di ogni individuo della popolazione.

Inoltre, i correnti sviluppi degli algoritmi di machine learning e intelligenza artificiale hanno permesso ai dati "non strutturati" (immagini satellitari/streetview e testi) di diventare un importante contributo nel dedurre aspetti sociali^{85 86}.

In questa istanza progettuale sono di particolare interesse i "**dati sociali urbani**", che da un lato racchiudono e rappresentano la società che li genera in modo diretto - come nei social network - o indiretto tramite l'osservazione delle azioni che compiono le persone. Dall'altro lato questi dati sono urbani perchè si inseriscono nella pertinenza dello spazio-tempo della città. Ricapitolando, questi "dati sociali urbani" sono generati direttamente o indirettamente dalle persone e dalle loro azioni e possono essere raccolti tramite fonti emergenti come sensori, telefoni cellulari e servizi di geolocalizzazione. Questi dati sono multidimensionali per definizione, in quanto sono spazialmente e temporalmente definiti, e quindi sono adatti a descrivere aspetti spaziali, temporali e sociali dei movimenti, attività e connessione sociale degli esseri umani. Infine, sono meno strutturali e più semanticamente ambigui rispetto ai dati urbani tradizionali⁸⁷. Nonostante però tutti questi avanzamenti e applicazioni, l'accessibilità, l'aggiornamento e l'interpretabilità di queste sorgenti di dati rimangono degli aspetti di difficile risoluzione; quanto più sono necessarie informazioni riferite ad un luogo specifico, tanto più difficile diventa la raccolta e interpretazione dei suoi dati. Allo stesso momento i dati urbani sociali sono gli unici che forniscono informazioni in tempo pressochè reale relative agli spazi cittadini, a differenza dei metodi tradizionali di raccolta dati come questionari⁸⁸.

In ogni caso, le analisi del Big Data offrono un'opportunità senza precedenti di seguire le tendenze dei comportamenti umani nel contesto dell'ambiente costruito, e di conseguenza poter realizzare architetture che

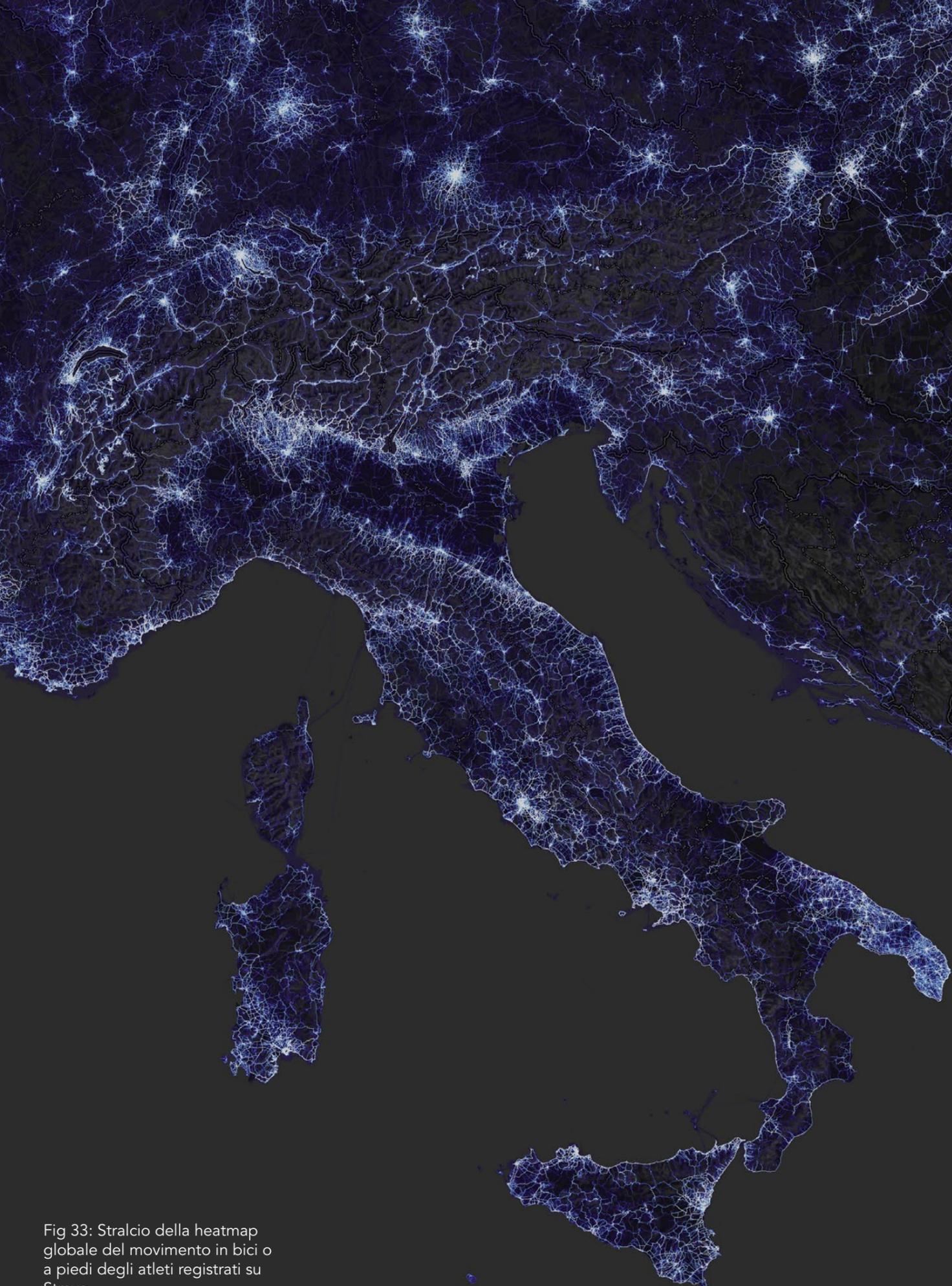


Fig 33: Stralcio della heatmap globale del movimento in bici o a piedi degli atleti registrati su Strava.

Fonte: strava.com/heatmap

meglio si adattino ai pattern individuati dalle analisi. La trasposizione di questi dati in un progetto segue un approccio quantitativo, e quindi non sostituisce ma integra il classico approccio intuitivo alla progettazione. E' importante notare inoltre che le analisi dei dati nell'ambito dell'urbanistica e dell'architettura sono ancora in fase di passaggio tra un'analisi descrittiva e diagnostica di ciò che sta accadendo e una modalità prescrittiva e previdenziale che aiuta a prendere scelte durante il progetto vero e proprio⁸⁹.

Proprio a causa di queste motivazioni e fenomeni si è deciso di **implementare le potenzialità offerte dal Big Data**, e in particolare dei dati sociali urbani, per la costruzione del padiglione. L'obiettivo è quello di comprendere quali siano i luoghi di Torino più adatti ad ospitare un oggetto caratterizzante che oltre a migliorare le caratteristiche microclimatiche di un'area, ne implementi la struttura sociale attraverso delle azioni tipiche della progettazione partecipata. Infatti, da un lato la struttura potrebbe ospitare un semplice riparo al sole nel pieno centro città, mentre in un contesto periferico potrebbe diventare un centro di ritrovo identificativo, una base per future attività di quartiere o quanto altro potrebbe venire in mente alla popolazione residente.

Come base per tutte le analisi verranno utilizzati i dati aperti della città di Torino, disponibili liberamente al sito <http://aperto.comune.torino.it/>. All'interno di questo data set sono già inclusi informazioni sull'ambiente, sul catasto, sulle destinazioni degli spazi pubblici, sull'istruzione, sulla demografia e sul tempo libero, fornendo di fatto un'ottima base per successive integrazioni. Queste informazioni geolocalizzate verranno successivamente incrociate con ulteriori Data Set sviluppati autonomamente per informare le successive scelte progettuali:



1) Dati raccolti dal social network Instagram, in particolare i dati relativi alle statistiche georeferenziate di una serie di luoghi pubblici situati all'aperto. Questo dataset ha in primo luogo l'obiettivo di mostrare attraverso dei dati quantificabili quali siano gli spazi aperti più utilizzati dai torinesi e turisti. In seconda istanza, i dati estratti permetteranno di comprendere le fasce di utilizzo prevalenti e di conseguenza provvedere a elaborare una lista di requisiti prestazionali più adatta agli utenti finali;

2) Dati registrati dal sito internet Strava, che attraverso la sua applicazione per smartphone e smart devices, raccoglie informazioni sugli spostamenti e biometrie durante un'attività sportiva, in particolare ciclismo e corsa. L'organizzazione ha consentito l'accesso solo ai dati sugli spostamenti degli atleti, rappresentati tramite una heatmap globale, accessibile e consultabile liberamente⁹⁰. Implementando queste informazioni nei precedenti dataset si avrà quindi la possibilità di comprendere il grado di passaggio un preciso luogo, oltre che definire in maniera più precisa i requisiti prestazionali, cioè quanto uno spazio è usato da atleti e quanto da persone comuni. Una volta raccolto e pulito questi data set, essi verranno inseriti all'interno del programma per la gestione delle informazioni geografiche QGIS, al fine di valutare graficamente l'effetto dei dati sullo spazio fisico di una mappa.

3) L'ultimo dataset riguarda gli aspetti climatici e microclimatici della città di Torino e dei luoghi selezionati, calcolato attraverso lo strumento di simulazione Ladybug per Grasshopper. Per comprendere infatti quanto è necessario un padiglione responsivo in un certo luogo sarà necessario valutarne le condizioni microclimatiche, e quindi partendo

dai dati open source inclusi all'interno dei "energy plus weather file" - .epw, adattati in funzione delle specifiche condizioni locali, sarà possibile determinare le varie condizioni di confort a cui lo shelter dovrà provvedere.

Le suddette modalità di raccolta dei dati non sono le uniche disponibili sul territorio digitale di Torino, in quanto vengono escluse tutte le metodologie per la raccolta dei dati in real time (RTD) e i dati non pubblici. Questo approccio e la combinazione di questi dataset ha come obiettivo il supporto alla progettazione tradizionale empirica, permettendo di basare le proprie scelte su una base statistica oggettiva e di registrare le attività cittadine in maniera continuativa, senza dovere effettuare rilevazioni in situ, oltre che porre le basi per la costruzione di un modello digitale che consideri le modalità di utilizzo degli spazi pubblici.

Prima di procedere con la presentazione dei primi risultati dell'analisi, è necessario fare un'ulteriore premessa metodologica sull'efficacia di utilizzo in ambito architettonico dei dati contenuti all'interno dei social network, Instagram in particolare. Dalla nascita di Instagram (2010) ad oggi, solo in Italia il numero degli utenti ha raggiunto 20 milioni, cioè quasi un terzo della popolazione dello stivale⁹¹, il che è una testimonianza evidente della diffusione che sta avendo in tutte le fasce della popolazione, non solo tra i giovani come è consuetudine credere. Senza entrare troppo nel merito delle dinamiche psicologiche che governano la causa della pubblicazione di fotografie online, si può in ogni caso affermare che ciò che viene pubblicato sul web solitamente segue dei trend e delle dinamiche sociali diffuse.

Pertanto, basare le proprie ricerche su questi dati significa semplicemente usarli in un contesto diverso da quello della loro provenienza per comprenderne nuovi significati e dinamiche, similmente al concetto di **opportunità sensico**, proposto da Carlo Ratti nel 2017⁹². Infatti i post georeferenziate di Instagram potrebbero non essere visti come data set puri, in quanto sono dati tutto ciò che osserviamo per ottenere informazioni e conoscenze.

Allo stesso tempo, l'approccio prevalentemente visivo legato alla piattaforma è di particolare interesse per studi analitici della natura urbana per due ragioni: In prima istanza, una persona che pubblica una foto georeferenziata condivide allo stesso tempo la sua impressione della città, di fatto generando un "immagine ambientale" utilizzando le parole ed il concetto di Kevin Lynch⁹³. Nonostante la condivisione di una foto sia un prodotto contemporaneo, il gesto di comprendere e condividere ciò che accade in città proviene dal passato, e veniva indicato con la parola "flânerie", come evidenziato da Amin & Thrift nel 2002⁹⁴.

Anche il secondo aspetto è legato all'immagine della città, bensì sotto un'accezione di immaginazione di quello che la città potrebbe diventare. Diversi studi hanno sottolineato come la pubblicazione di un post su Instagram è preceduto da un'attenta selezione di immagini e descrizioni, al fine di rappresentare un'immagine idealizzata della realtà, escludendo gli aspetti meno piacevoli⁹⁵. In questo modo, ogni utente esprime un'idea personale delle proprie aspirazioni, contribuendo a generare **"un ambiente generato dalle personali rappresentazioni della realtà"**⁹⁶.

Di conseguenza, l'utilizzo di dati dei social network permette di creare un sistema di "sensing partecipatorio" basato sulle tracce lasciate dagli utenti in ambito digitale⁹⁷, che aiuta a comprendere le dinamiche urbane, in pieno rispetto dei valori della progettazione partecipata proposta dal framework proposto.

Il pattern che ne risultano pertanto possono essere usati per individuare le attività di routine dei cittadini e i luoghi di maggiore attività, e quindi rivelare le funzioni necessarie ad essere implementate in uno spazio⁹⁸. In conclusione, non considerare i dati prodotti da Instagram e dai suoi utenti equivale a non considerare gli aspetti elencati all'interno di un'analisi urbana.

3.1 Prima selezione dei possibili luoghi di progetto

Gli spazi pubblici all'aperto possono ospitare una moltitudine di funzioni e altrettante tipologie di utenti, ma in quanto l'obiettivo della presente tesi è la progettazione di un sistema/padiglione che ospiti attività sociali con valenza culturale, è necessario selezionare dei luoghi con delle caratteristiche specifiche, delimitando il campo di analisi.

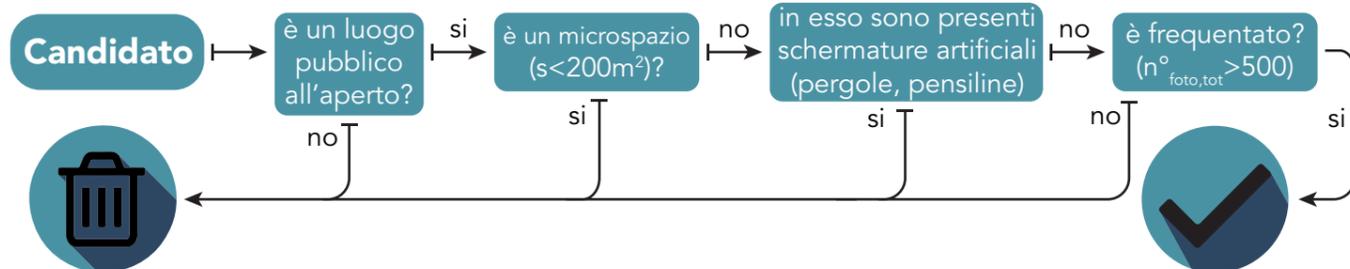
Come base di partenza per individuarli all'interno dell'area del comune di Torino, verrà utilizzato il database dei dati della città su **piattaforma GIS**, che permette di visualizzare, analizzare, interrogare ed elaborare qualsiasi tipologia di dato georeferenziato. Questo è permesso in quanto il GIS è uno strumento che unisce i sistemi di visualizzazione delle geometrie CAD ai database relazionali (DBMS - Data Base Management System)⁹⁹, rendendolo perfetto per applicazioni cartografiche e di analisi dei dati. Inoltre, la scelta di utilizzare il GIS in questa fase iniziale è dovuta anche alla possibilità di visualizzare singolarmente o in toto più livelli di informazione, permettendo quindi la sovrapposizione e verifica dei dati necessari a definire se il luogo è adatto o meno ad ospitare il futuro manufatto.

In particolare per Torino, i livelli di informazione riguardano i dati georeferenziati degli azzonamenti, i vincoli, dei dati ambientali, catastali, sul commercio, socio-sanitari, statistici, topografici, urbanistici, sulla viabilità, istruzione, culto, servizi pubblici e tempo libero, fornendo un'unica piattaforma con data base comprensivo per quanto riguarda la verifica delle prime condizioni da rispettare. Nel caso le condizioni non siano rispettate, il luogo candidato viene escluso dalle successive iterazioni analitiche e progettuali.

Nonostante le modalità metodologiche e progettuali proposte fino a questo punto siano caratterizzate da un elevato grado di automazione, la prima scrematura e selezione degli ambienti di progetto avverrà secondo un metodo di ricerca combinando piattaforma GIS e successiva verifica manuale dei seguenti criteri (fig 34):

- Sia un luogo esterno appartenente alla **sfera pubblica**, accessibile a chiunque;
- Abbia delle **dimensioni minime di 200m²**, al fine di garantire la flessibilità delle attività socio-culturali che si svolgeranno all'interno del padiglione;
- All'interno di esso non siano già state progettate strutture schermanti per migliorare il microclima;
- Sia sufficientemente frequentato dalla popolazione, verificando i dati prodotti dai post geolocalizzati di instagram;

Fig 34: Graficizzazione delle prime condizioni di verifica per la selezione dei luoghi. Propria elaborazione



È necessario evidenziare che in certi casi, alcuni luoghi si trovano a una distanza molto ravvicinata e pertanto si è scelto di unirli in una singola location rappresentativa, come ad esempio nel caso del Museo Egizio e di Piazza Carignano, di cui i dati sono stati inseriti all'interno di Piazza Carlo Alberto.

Una volta individuata la lista delle prime località secondo i criteri sopra descritti, si procederà ad estrapolare i dati da Instagram e da Strava per definire quantitativamente i suoi usi prevalenti e quanto quel luogo sia potenzialmente fruibile allo scopo, in quanto l'obiettivo finale di progetto è creare uno spazio di socialità e di raccolta fruibile in un lasso di tempo maggiore possibile in funzione delle condizioni climatiche del sito.

Per verificare che le località scelte durante la prima scrematura siano effettivamente utilizzate dalla popolazione, come evidente dall'implementazione dell'ultimo criterio, si è deciso di incocciare fin da subito i primi dati estratti dal social network Instagram. In particolar modo sono stati analizzati i dati sulle pubblicazioni totali di un determinato luogo, così da includere le posizioni presso le quali sono stati registrati almeno 500 post.

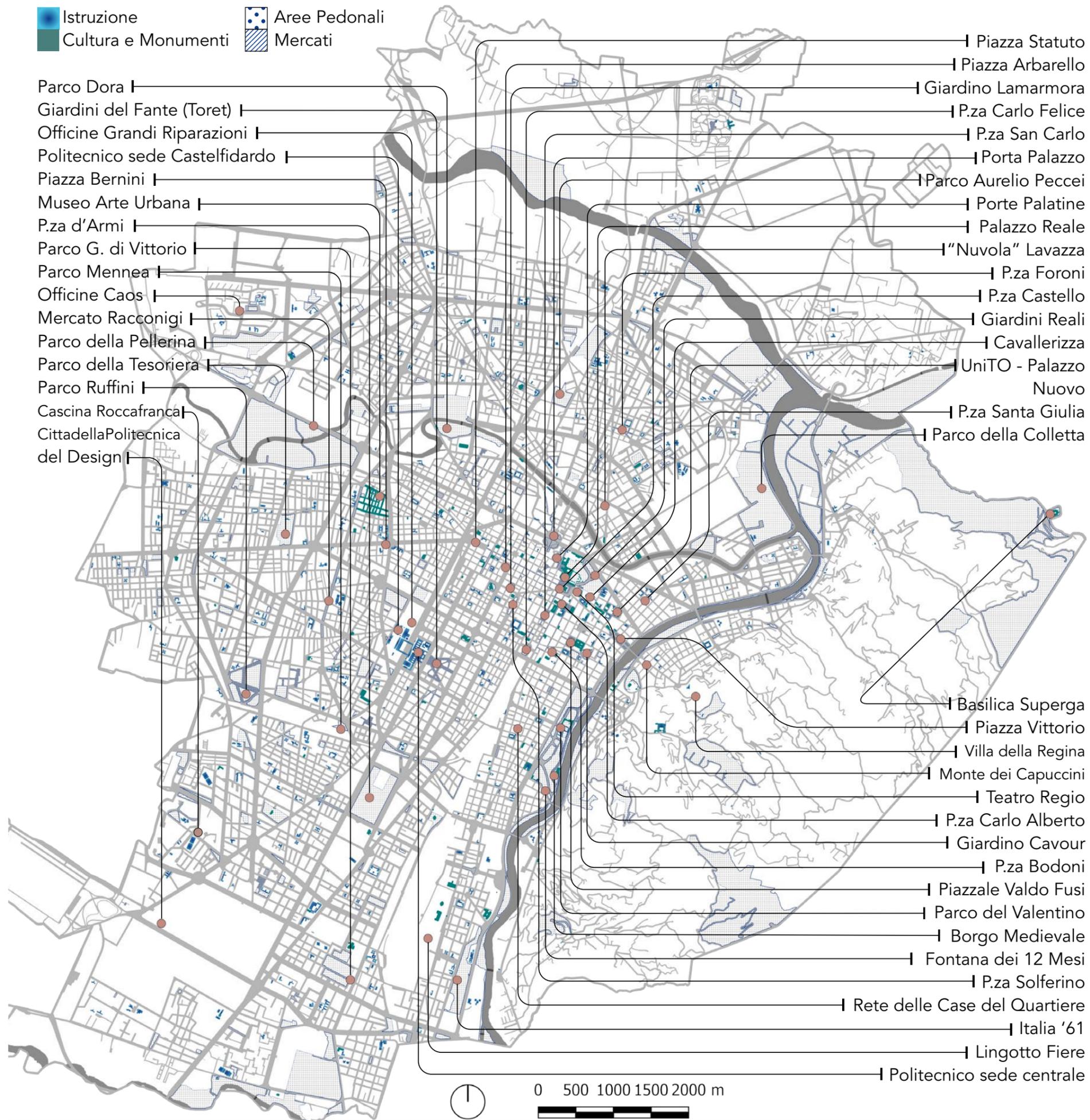
La raccolta di questi dati è stata permessa dai **DevTools** inclusi nel browser Google Chrome. In generale, gli strumenti per gli sviluppatori hanno la funzione di modifica e di troubleshooting delle pagine web direttamente dal browser, in quanto questi strumenti permettono di accedere ai codici CSS, HTML, DOM, JavaScript e JSON utilizzati nello sviluppo di esse¹⁰⁰. In questa istanza però l'utilizzo dei DevTools di Chrome è limitato a visualizzare le statistiche totali di una località ispezionando i dati in entrata dell'API di Instagram.

In un programma di qualsiasi natura, web o stand-alone, le **API** (Application Programming Interface) sono l'insieme di tutte le procedure, moduli e librerie del linguaggio di programmazione che ne permettono il funzionamento¹⁰¹. Per accedere ai dati statistici di una specifica località è sufficiente fare una richiesta (query), cioè una semplice ricerca o scorrimento delle pagine, e visualizzarne la risposta dell'API tramite

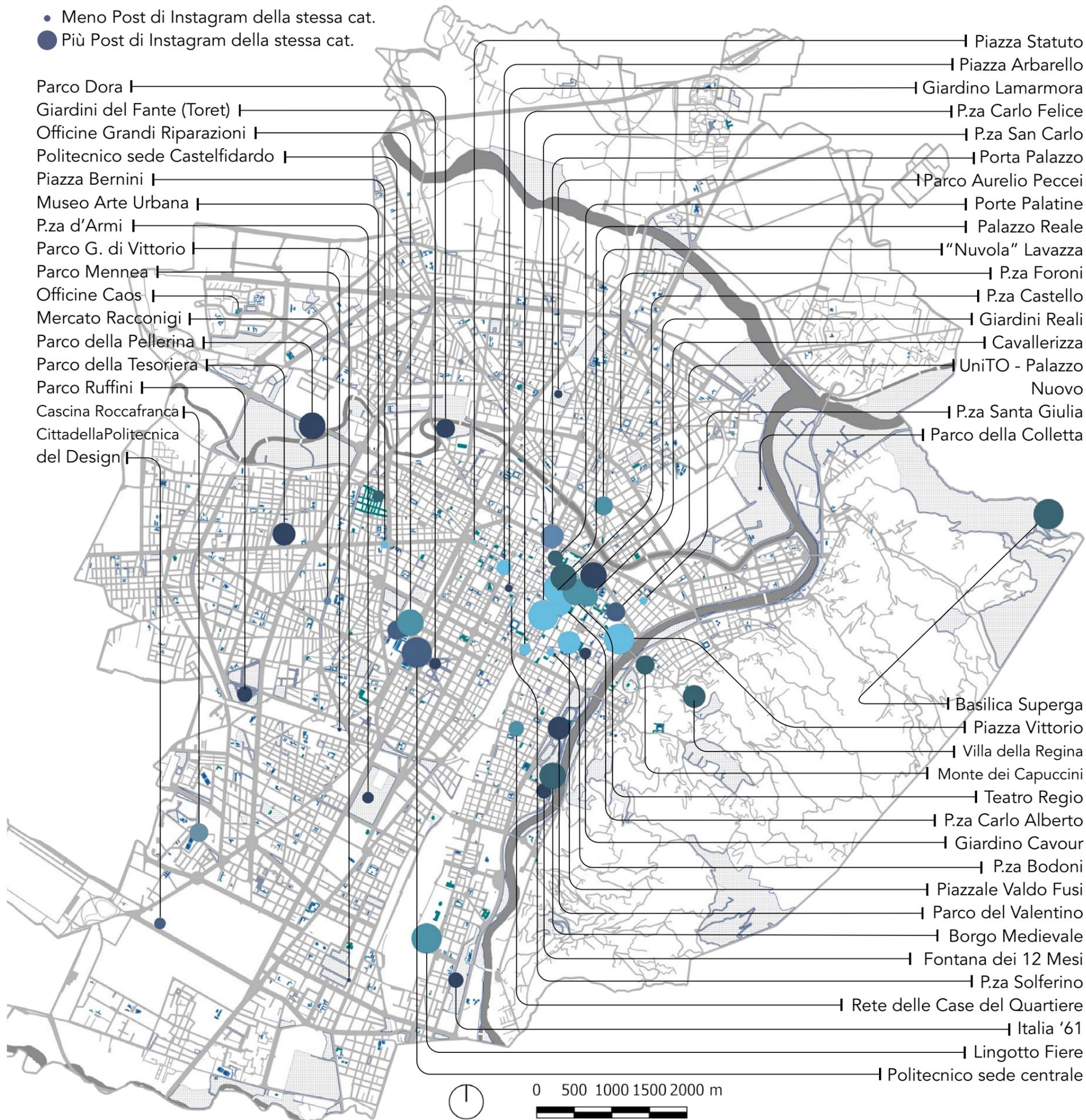
1. Query attuata con lo scorrimento della pagina
2. Visualizzazione risposta API in ambiente XHR
3. Dati generici sulla località
4. Post totali in quel luogo

Fig 35 (sopra): Screenshot della prima procedura di estrapolazione dei dati da Instagram. Propria elaborazione

Fig 36 (pag successiva): la mappa che mostra 49 luoghi pubblici di Torino presso i quali sono stati registrati un numero di post maggiore di 500. Propria elaborazione.

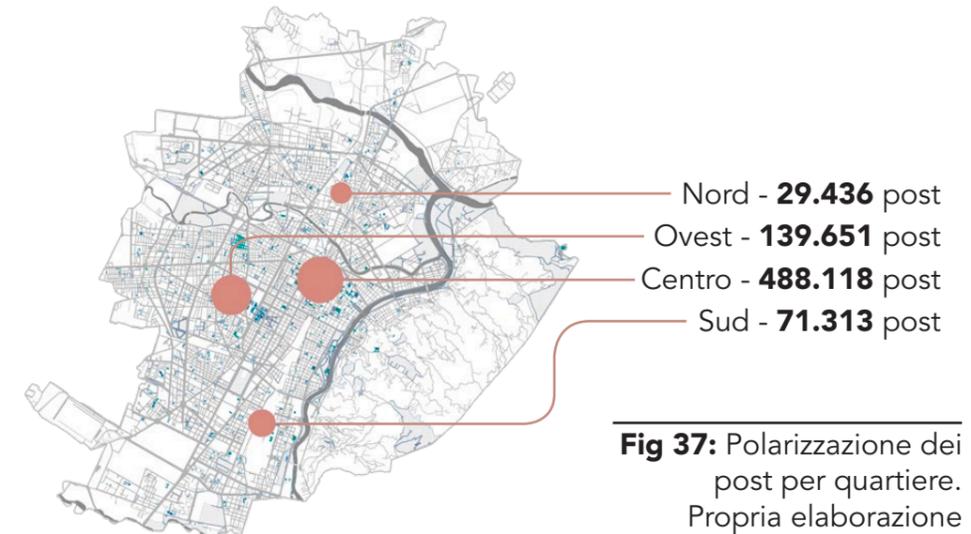


- Meno Post di Instagram della stessa cat.
- Più Post di Instagram della stessa cat.



ambiente XHR (XMLHttpRequest), che fornirà tutti i dati disponibili sul luogo, pronti per essere copiati su un foglio di calcolo (Fig 35). Ripetendo questa operazione per ogni singola posizione che rispettasse i criteri di Fig 34, è stato possibile risalire a 50 luoghi con numero di post maggiore di 500, visualizzati nella mappa della Fig.36. La tendenza che si rileva attraverso una prima osservazione dei dati localizzati è che vi è un'alta concentrazione di frequentazione dei quartieri centrali, che risultano pertanto le località con più attrattività. Allo stesso modo, ciò non significa che le località più frequentate e turistiche siano quelle più adatte ad ospitare un padiglione per attività bottom-up, condizione che verrà verificata nel capitolo successivo.

Integrando i dati precedenti con il numero dei post totale per ogni luogo, questa tendenza risulta confermata e ulteriormente polarizzata: Su un totale di 722.165 post analizzati, 488.118 provengono dalla circoscrizione del centro, corrispondendo quasi al 68%. Ciò dimostra quanto il centro di Torino sia un polo di attrazione per un elevatissimo numero di persone. Lo schema seguente (Fig 37) mostra la distribuzione della frequenza dei post dividendo la città in 4 macrozone, centro, semicentrale, Nord e Sud. Nonostante i dati provenienti dal centro sono di gran lunga



prevalenti, anche la zona semicentrale ha registrato un buon livello di attività, probabilmente ad attribuire alla presenza del Politecnico che attrae un vasto numero di persone.

Osservando la mappa più specifica sulla sinistra (Fig 38) è possibile rivelare dalla dimensione dei simboli le località specifiche che sono maggiormente utilizzate. In questo caso la polarizzazione di utilizzo dei luoghi centrali rispetto al resto della città è ancora più evidente, suggerendo una chiara **direzione progettuale che riquilifichi e valorizzi i luoghi meno "fortunati"**.

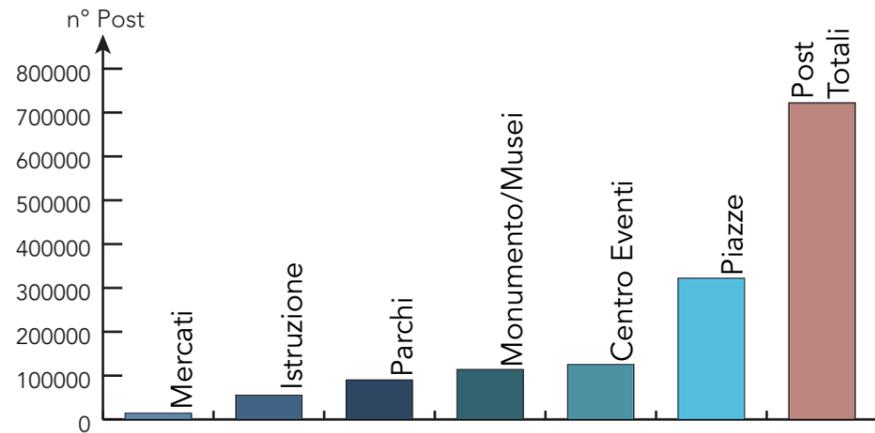
Come già accennato nel capitolo precedente, non per forza un

Fig 38: la mappa che mostra la gradazione del numero di post rispetto ai 50 luoghi selezionati. Propria elaborazione.

luogo dovrà essere molto affollato - cioè avere un numero di post di Instagram maggiore di 5000 - per essere incluso nella lista. Nel caso dei quartieri a prevalenza residenziale infatti ci possono essere spazi che non sono pienamente utilizzati per una serie di problemi di fruizione, ma che possono diventarlo tramite un'azione di riqualificazione bottom-up come potrebbe essere questo padiglione.

Per quanto riguarda le tipologie dei luoghi presentati, essi sono stati categorizzati secondo 6 caratteristiche intrinseche degli spazi scelti, rappresentate nel grafico sottostante e con gli stessi colori anche nella mappa della pagina precedente.

Quello che risulta da questa analisi è che la maggior parte delle

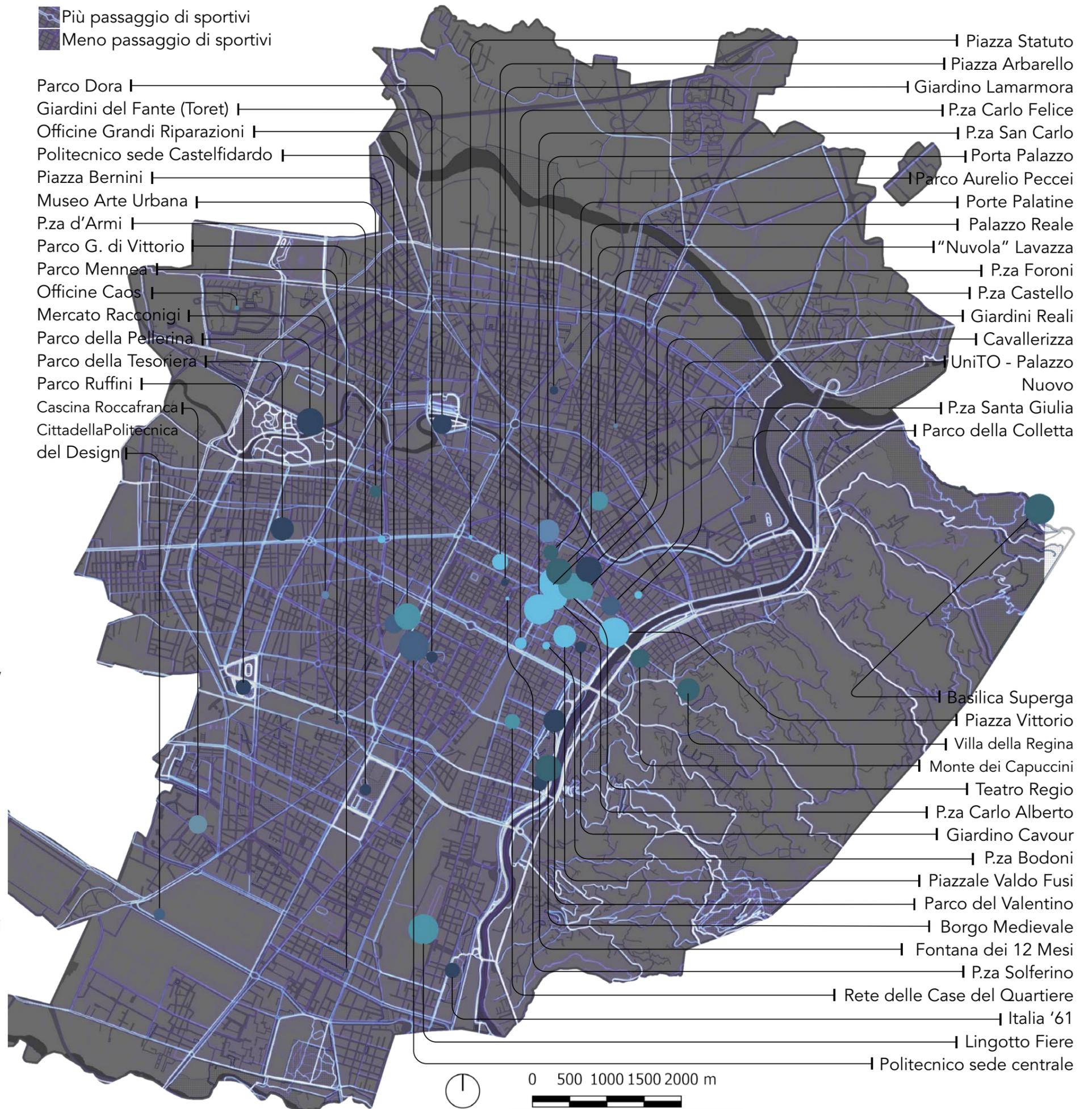


attività all'aperto avvengono presso le grandi piazze cittadine, dove sono collocate un gran numero di attività commerciali e ricreative. Interessante è notare come i centri per gli eventi quali spettacoli teatrali, eventi culturali (anche di natura locale) siano pressochè allo stesso livello di utilizzo degli spazi consolidati dei musei, il che suggerisce un alto potenziale di tali luoghi.

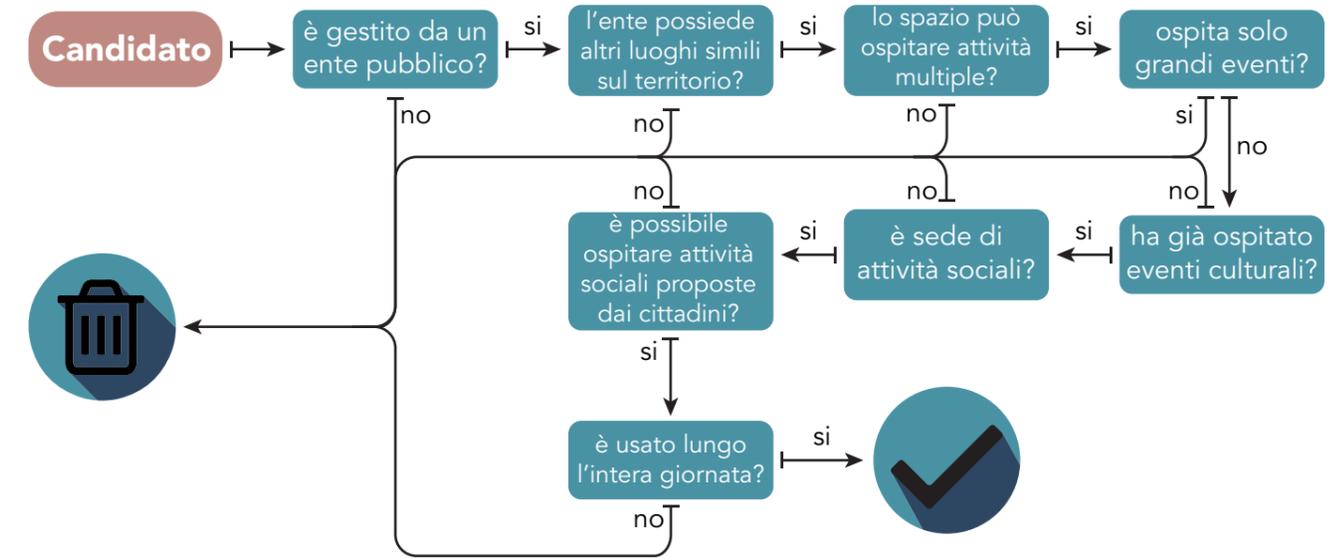
Poco più sotto nelle statistiche sugli utilizzi si trovano i parchi, con un prevalente utilizzo da parte degli sportivi, evidenziato nell'analisi basata sui dati geolocalizzati di strava, riportata a destra (Fig 39). Nonostante i parchi urbani sono dei luoghi con buona attività sociale, vengono principalmente utilizzati per attività sportive. Inoltre, essi non sono in grado di ospitare attività bottom up, in quanto mancano degli enti del terzo settore radicati nei parchi che possano fare da tramite tra la popolazione e il comune al fine di organizzare gli eventi culturali. Per questo motivo di natura funzionale, la categoria dei parchi non verrà considerata per ulteriori analisi di approfondimento.

In ultima posizione secondo le statistiche di uso ricavati dai post geolocalizzati, si trovano i mercati cittadini, che allo stesso modo dei parchi, da ora in poi non verranno considerati per le successive analisi dei dati, in quanto non forniscono terreno per poter ospitare un padiglione per attività di interesse sociale, ma anche perchè probabilmente non si rivelerebbero problemi di confort estivo causati dalla presenza dei tendaggi dei commercianti, oltre che da un effettiva mancanza di spazio semi-permanente da adibire ad eventi culturali bottom-up.

Fig 39: la mappa che mostra le attività degli sportivi in Torino, relazionate ai luoghi di maggiore attività on-line. Propria elaborazione.



A questo punto del processo sono stati selezionati preliminarmente dei luoghi adatti ad ospitare il Data Driven Pavillion. Al contempo, al fine di informare in maniera più precisa la successiva progettazione, è necessario fornire una maggiore definizione delle caratteristiche di questi luoghi. In quanto l'analisi dei luoghi avviene attraverso l'implementazione del Big Data, che richiede grandi risorse computazionali per essere implementato, si reputa che una ulteriore scrematura e sub selezione dei criteri può essere d'aiuto affinché questa metodologia venga efficacemente utilizzata anche in altri casi.



Queste condizioni hanno l'obiettivo di garantire che le località selezionate dovranno avere un'elevata accezione sociale, adatta ad ospitare eventi e laboratori, oltre ad essere in grado di essere usata su un ampio range temporale, in modo da svolgere ruolo attivo e costante sul territorio circostante. Verificando le caratteristiche dei luoghi con i dati forniti dalla popolazione si avrà una lista ridotta di località con le rispettive caratteristiche, tra la quale verrà scelto un luogo che meglio si presta ad ospitare un padiglione multiuso che ne possa migliorare lo spazio. Nonostante l'analisi dei dati sia in grado di fornire le risposte alla maggior parte delle suddette domande, nel caso ciò non fosse possibile si procederà ad una verifica manuale delle informazioni reperibili con metodi tradizionali.

Scartati i luoghi non usabili dal punto di vista funzionale, si passerà alla verifica delle condizioni ambientali. A tale scopo verranno costruiti diversi modelli digitali dell'area urbana successivamente limitrofa all'area potenziale di progetto, che poi verranno verificati nelle loro condizione di comfort ambientale tramite una simulazione condotta usando Grasshopper+Ladybug, approfondita nel capitolo successivo.

A questo punto dello studio dei dati è necessario fare uno step successivo per ottenere maggiori informazioni che ci permettano di caratterizzare ulteriormente i luoghi scelti, analizzando i seguenti dati provenienti dai post geolocalizzati di Instagram:

3.2 Seconda Selezione: Raccolta Dati e costruzione dei Data Set

In questo capitolo verranno esaminate le modalità e i criteri di analisi del Big Data in modo più approfondito, da unire successivamente con le analisi climatiche per il luogo specifico. L'obiettivo di questa fase è la **comprensione degli utilizzi prevalenti degli spazi selezionati, relazionate alle fasce d'uso**, dedotte dai dati dei post geolocalizzati del social Network Instagram. Al fine di comprendere la natura del luogo e le sue dinamiche di utilizzo si procederà ad analizzare i termini principalmente utilizzati all'interno delle descrizioni dei post, attraverso un algoritmo che procederà a contare il numero delle parole identiche usate per lo stesso luogo. In questo modo, i spunti e i pattern derivati dalle analisi delle tendenze di utilizzo saranno direttamente correlate dalla volontà delle persone. Ciò favorirà la creazione di una metodologia bottom-up che ha come obiettivo principale la progettazione basandosi sulle aspirazioni delle persone, cioè la cosiddetta **e-participation**. L'obiettivo di essa è di proporre una metodologia da implementare e stimolare dibattito su questo tema ancora troppo poco esplorato sui nuovi modi di vedere e studiare la città.

Lo svantaggio di questo metodo è la difficoltà di reperire - cioè fare data scarping - i dati completi prima di essere bloccati dai server del sito ospitante, che non fornisce autorizzazioni per il massivo scaricamento dei dati pubblici. In generale il **data scraping** è l'insieme di tutte quelle procedure che automatizzano l'estrazione di informazioni (testi, immagini, metadati, hashtag, ecc) da siti basati sul web. Al fine di evitare questo problema, ridurre i tempi di calcolo delle analisi climatiche, ma principalmente per ridurre ulteriormente il campo di ricerca del luogo più adatto per le attività dello shelter, viene deciso di introdurre ulteriori criteri prima di procedere con ulteriori analisi. Tali condizioni sono:

- Gestione dello spazio da parte di un ente pubblico o associazione appartenente al terzo settore;
- Il possesso da parte dell'ente di altri luoghi simili sul territorio, in modo da garantire la possibilità di spostamento del padiglione;
- Essere in grado di ospitare diversi generi di attività culturali;
- Non ospitare esclusivamente grandi eventi, favorendo la proliferazione di attività bottom-up;
- Aver già ospitato in passato eventi di natura culturale;
- Essere già sede di attività sociali, affinché vi sia un'identificazione del luogo con esse;
- Avere la possibilità di ospitare e organizzare attività proposte dalla popolazione;
- Essere utilizzato lungo l'intera giornata dei mesi caldi, cioè da Aprile ad Ottobre;

-Ogni post pubblicato possiede un proprio codice **"timestamp"** che permette di comprendere l'istante preciso in cui è stato pubblicato. Di conseguenza, attraverso l'analisi di tutti i post del luogo è possibile comprenderne le statistiche delle principali fasce di utilizzo;

-In secondo luogo, anche la descrizione dei singoli post può essere usata in questa ricerca. Come si è detto in precedenza, l'atto di pubblicare una foto geolocalizzata corrisponde ad un atto di condivisione della realtà che circonda la persona, oltre che a quello che la persona vorrebbe vedersi intorno nel caso la foto sia stata selezionata. In questo contesto si può pertanto assumere la **descrizione di un post come un commento personale** che aiuta a comprendere la natura di quella località e le sue principali modalità di uso. Questa analisi in particolare sarà propedeutica nella fase successiva, quanto sarà necessario stabilire un quadro esigenziale/prestazionale del luogo che ospiterà il padiglione.

Fig 40: Graficizzazione delle seconde condizioni di verifica per la selezione dei luoghi. Propria elaborazione

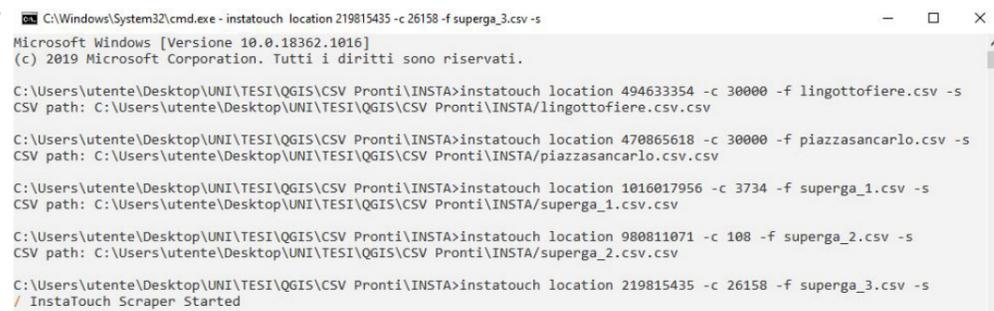
Nonostante anche questi dati possono essere accessibili da un qualsiasi browser (Fig 35), la trascrizione di essi richiederebbe un impiego di tempo spropositato, oltre che essere contrario ai principi di automatizzazione supportati dal movimento parametrico e dalle pratiche ricorrenti del data science. Di conseguenza per procedere con il data scraping relativi ai luoghi selezionati verranno usate delle procedure di automazione, che attraverso l'utilizzo di codici eseguibili, scritti in **Javascript e Python**, è possibile compilare automaticamente un file .csv che contenga tutte le informazioni utili dei posti geotagati.

Dato che la personale conoscenza dei linguaggi di programmazione non è sufficiente per scrivere interamente un codice che automatizzi la procedura, viene scelto di basarsi sullo strumento denominato "**InstaTouch**", sviluppato da Andrew Nord, disponibile gratuitamente sulla piattaforma GitHub¹⁰², che è stato modificato in parte per permettere di ottenere come output i file .csv. Attraverso l'utilizzo delle API di Instagram, lo script basato su Javascript e Typescript, eseguibile attraverso un terminale standard del sistema operativo, permette di estrapolare:

- lista di informazioni da una location, hashtag o utente;
- lista di commenti di post specifici;
- lista di utenti che hanno apprezzato un post;
- le foto di un utente, location e hashtag in una cartella zip;
- creare file JSON/CSV contenenti le informazioni richieste;

Quest'ultima funzione è fondamentale al fine di riuscire a inserire queste informazioni all'interno del programma GIS, in quanto esso permette di visualizzare qualsiasi dato, purchè georeferenziato. In generale, ogni procedimento di data scraping restituisce come output un singolo file .csv per ogni località contrassegnata da un ID, pertanto se all'interno di un luogo sono state inserite altre località, sarà necessario eseguire la procedura/comando di scraping tante volte quante sono le località.

Fig 41: Schermata del funzionamento finale del codice di data scraping, eseguito sul terminale di microsoft windows. Propria elaborazione



Una volta aperto il file csv all'interno di un programma di elaborazione di fogli di calcolo saranno visibili tutte le informazioni estratte dai post. In quanto il primo obiettivo di questa fase di analisi del Big Data è comprendere le fasce di utilizzo del padiglione, la colonna dei dati che è di particolare interesse è "taken at timestamp", che esprime attraverso la formattazione UNIX Timestamp un qualsiasi istante temporale in cui la foto è stata caricata. Il UNIX Timestamp esprime i secondi che sono trascorsi dal 1° Gennaio 1970 fino al momento temporale, e quindi non è direttamente comprensibile senza un'opportuna conversione, che verrà eseguita su Excel usando la seguente formula:

$$=((\text{Id Cella UNIX Timestamp}/60)/60/24)+\text{DATE}(1970,1,1)$$

Avere la disponibilità di ogni preciso istante temporale in cui è stato

pubblicato un post è molto utile, però al fine di essere catalogato efficacemente, ogni istante temporale dovrà essere espresso seguendo un range orario più limitato, ma che comunque sia in linea con le attività svolte in quella fascia oraria. Viene pertanto scelto di dividere la giornata in **sei spazi temporali** (Fig 42):

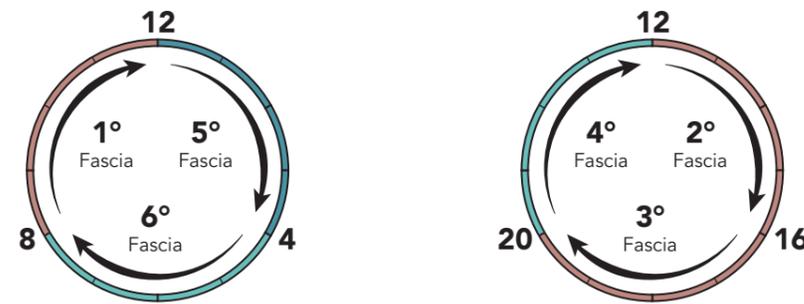


Fig 42: Fig X: Schema delle definizioni delle 6 fasce orarie individuate. Propria elaborazione

E' possibile fare anche questa operazione all'interno di excel, con l'appropriata funzione arrotonda combinata alla formula:

$$=\text{ARROTONDA.MULTIPLO}(\text{Cella espressa HH/MM/SS}*24;6)/24$$

A questo punto, avendo a disposizione i dati degli orari di pubblicazione formattati correttamente, è possibile caratterizzare i luoghi scelti dal punto di vista degli orari prevalenti di utilizzo e tipologie dei luoghi, in modo da scegliere un luogo che sia usato uniformemente lungo tutta la giornata.

Per quanto riguarda le funzioni e attività prevalenti attualmente presenti nelle location, verranno esplicitate da un **analisi di frequenza**, cioè quanto una parola o un hashtag sono ricorrenti rispetto al numero totale di post. Gli **hashtag**, cioè le parole precedute dal simbolo "#" per facilitare le ricerche tematiche tra gli utenti, hanno una migliore efficacia per descrivere un determinato tematismo del luogo, perchè appunto vengono usati allo stesso modo da una grande quantità di persone. Allo stesso momento, non considerare le **descrizioni** senza hashtag significherebbe ridurre di molto il raggio di azione, peggiorando quindi l'attendibilità dei risultati. Anche in questo caso lo strumento che viene utilizzato è basato su un codice di programmazione, compilato in Python

```

4 # Aprire il percorso del file in modalità lettura
5 text = open("sample.txt", "r")
6
7 # Creare dizionario vuoto
8 d = dict()
9
10 # Eseguire il loop per ogni riga del file
11 for line in text:
12     line = line.strip()
13     line = line.lower()
14
15     # Dividere la riga in base agli spazi
16     words = line.split(" ")
17
18     # Iterare ogni parole nella riga
19     for word in words:
20         # Testare se la parola è già presente nel dizionario
21         if word in d:
22             # Incremento della parola di 1
23             d[word] = d[word] + 1
24         else:
25             # Aggiungere la parola al dizionario con indice 1
26             d[word] = 1
27
28 # Stampa dei contenuti del dizionario
29 for key in list(d.keys()):
30     print(key, ":", d[key])

```

Fig 43: Codice usato per il conteggio delle parole uniche all'interno delle descrizioni dei post. Propria elaborazione

(Fig 43), che permette di contare il numero delle parole o hashtag uguali: indicando il percorso del file da analizzare all'interno del codice, questo restituirà automaticamente le parole più utilizzate secondo un ordine decrescente. Per evitare di includere tra i risultati gli articoli o particelle grammaticali, è stato impostato un filtro che analizza solo le parole con un numero di caratteri maggiore di 4.

Per ottenere un risultato che abbia una rilevanza statistica, all'interno dei risultati verranno incluse solo le **20 parole o hashtag più utilizzati**, in modo da comprendere la tendenza di utilizzo prevalente del luogo specifico. Prima di procedere alla presentazione dei risultati delle analisi, è necessario approfondire le modalità metodologiche con cui sono stati eseguiti gli studi microclimatici dei singoli luoghi, che forniranno l'ultimo criterio per comprendere dove sia meglio posizionare la struttura.

3.3

Analisi delle Condizioni Ambientali a livello Urbano

Come si è già detto in precedenza, la struttura schermante verrà concepita in modo adattivo, in modo da essere in grado di regolare la radiazione solare incidente e la trasmissione della luce. Questo permetterà di **garantire adeguati livelli di comfort visivo e termico agli occupanti**, indipendentemente dalla quantità della radiazione solare diretta e dalla variabilità delle condizioni climatiche. E' logico pertanto considerare che un ambiente che presenti condizioni microclimatiche particolarmente avverse, o semplicemente peggiori rispetto ad altri luoghi, possa diventare un migliore candidato per ospitare un riparo da queste condizioni.

Nonostante sia possibile studiare anche gli aspetti di comfort visivo essi non verranno considerati in questa sede di analisi, in quanto si ritiene che essi non contribuiscono in modo sostanziale a creare una comparativa efficace tra i luoghi selezionati nella fase precedente, e quindi a comprendere le differenze illuminotecniche tra gli ambienti esterni, le quali possono essere risolte efficacemente durante il progetto architettonico di dettaglio.

Di conseguenza, per valutare il potenziale contributo che potrebbe dare lo shelter nel caso della sua costruzione, si è deciso di studiare gli aspetti microclimatici sin dalla fase di definizione del luogo di progetto. A questo proposito verranno principalmente studiati aspetti termici legati alla biometeorologia tramite l'utilizzo dell'indice **UTCI** (Universal Thermal Climate Index¹⁰³), basato sulla temperatura "percepita" dalle persone, comunemente denominata **MRT** (Mean Radiant Temperature), ottenuta da un calcolo delle temperature sulle superfici dell'area urbana. Trattandosi di una simulazione che avviene in ambiente digitale è stato necessario in primo luogo ricostruire il contesto dei luoghi. L'automatizzazione del processo di costruzione dei contesti è avvenuto con uno script di Grasshopper e del Plugin Elk (fig 44), che si basa sui dati geolocalizzati, liberamente accessibili, contenuti nei database GIS di

OpenStreetMaps, che fornisce indicazioni sulle geometrie, dimensioni, tipologie e in certi casi le destinazioni d'uso e materiali degli edifici e degli spazi esterni. Anche in questo caso è interessante osservare come i dati urbani siano stati inseriti sulla piattaforma per la maggior parte dalla popolazione interessata, di fatto applicando lo stesso principio di e-partecipazione anche nel caso della semplice ricostruzione geometrica di una località.

Esattamente come avviene in altre analisi con fini progettuali, lo studio delle condizioni microclimatiche è una delle prime fasi per la definizione del progetto, che in questo caso verranno visualizzate attraverso Grasshopper e la suite Ladybug Tools, già introdotta. In questo caso però la valutazione delle condizioni ambientali avverrà parallelamente all'analisi del Big Data proveniente dai post di Instagram.

Al fine del calcolo delle condizioni climatiche, le analisi di questi strumenti sono basati su **file climatici .epw**, che di fatto sono database di registrazioni climatiche per ogni ora dell'anno, che quindi forniscono dati in relazione alle temperature del bulbo secco/umido, umidità, pressione atmosferica, velocità e direzione del vento e infine alla radiazione solare. La quantità e tipologia dei dati dipende dalla stazione meteorologica che li registra, che solitamente è posizionata presso l'aeroporto cittadino. Infatti, per una determinata località questi dati possono essere disponibili o meno, come possono essere liberi o a pagamento. In quanto le future scelte con le derivate conseguenze vengono basate dall'attendibilità dei dati climatici, diventa di primaria importanza la fonte dei dati, in quanto non sempre essi sono misurati, ma possono essere il risultato di un'interpolazione delle rilevazioni avvenute nelle città limitrofe. Nonostante anche i dati interpolati possono essere utilizzati per le simulazioni, è sempre consigliabile, al fine di ottenere una maggiore precisione, reperire i dati delle misurazioni effettive.

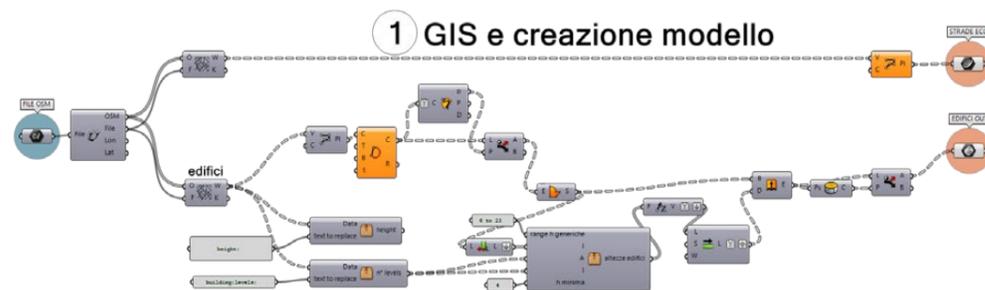
Esistono infatti numerosi siti che forniscono informazioni climatiche tra i quali NCEI, Weather Source, Meteonorm, White Box Technologies, Weathershift, Climate.OneBuilding, anche se quello più utilizzato rimane il sito **energyplus**, che fornisce gratuitamente i dati per tutto il mondo.

Per quanto riguarda le misurazioni climatiche da utilizzare per l'analisi dell'intero comune di Torino, verranno utilizzati come base i dati registrati tra il 2009 e 2019 presso l'aeroclub di Torino, appena fuori dall'area urbana della città, che però è considerabile come area rurale. Questi dati - 160595 - sono stati reperiti presso il sito Climate.One building, che è specializzato nel fornire dati climatici specifici per le simulazioni in ambito edile.

Pertanto, a partire dai dati di input forniti dai file climatici .epw e .stat per la città di Torino, il motore di calcolo grazie alle formule di diffusione del calore¹⁰⁴, è in grado di calcolare la temperatura media radiante (MRT) delle superfici. Allo stesso momento, l'utilizzo dei file .epw scaricati dal sito energyplus non considera le **condizioni effettive dell'ambiente urbano**, e per questo motivo viene considerato utile implementare l'estensione **Dragonfly**, in particolare lo strumento Urban Weather Generator presente nella suite di Ladybug Tools, che permette di modellare l'effetto dell'isola urbana di calore. Nello specifico, essa permette di modificare i dati rurali dei file .epw in modo che essi siano rappresentativi delle condizioni medie della "città", che è definita a partire da una serie di proprietà:

- Geometrie degli edifici - altezza, copertura del suolo, rapporto tra area urbana e superfici delle facciate;
- Uso prevalente degli edifici - programmi funzionali e derivati orari di

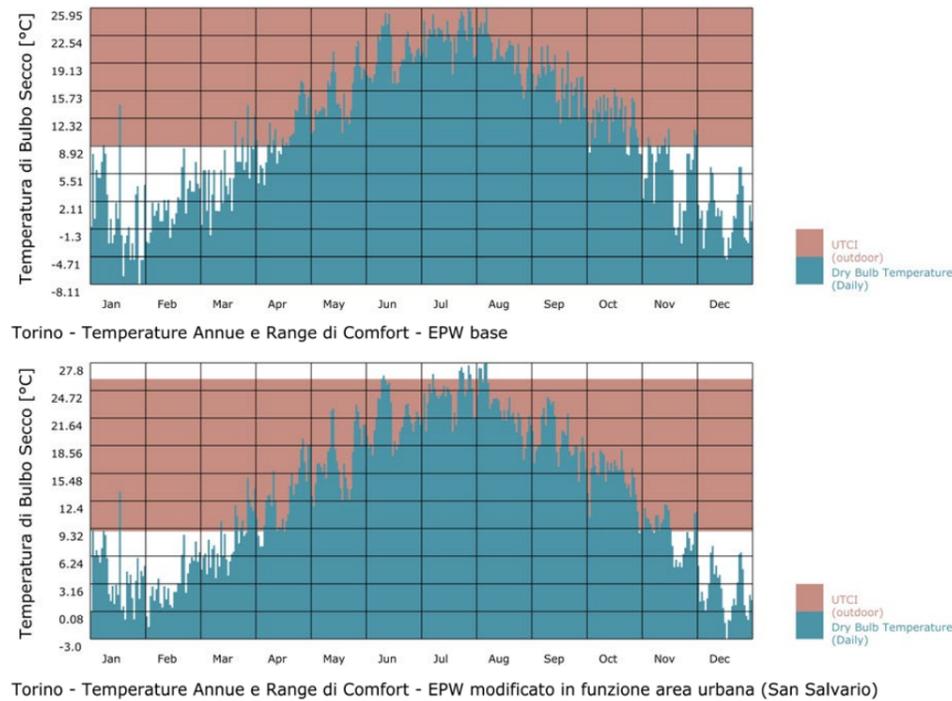
Fig 44: Script di Grasshopper che automatizza la creazione di un qualsiasi contesto purchè siano presenti dati OpenStreetMaps. Propria elaborazione



- occupazione, tipologie impiantistiche e di climatizzazione;
- Materiali area urbana - masse termiche, albedo, emissività di strade, muri e tetti;
- Calore antropogenico derivato da programmi degli spostamenti;
- Quantità vegetazione al suolo¹⁰⁵;

Dalla pubblicazione della tesi di dottorato di Bruno Buena nel 2012, scritta per l'utilizzo sul programma MATLAB, questa metodologia è stata validata 3 volte ed è stata implementata su python all'interno dei Ladybug Tools nella sezione Dragonfly. Di seguito (Fig 45,46) vengono riportati i grafici delle temperature a bulbo secco medie del territorio di Torino, in condizioni di partenza, cioè quelle registrate presso la stazione meteorologica, e in condizioni urbane ricavate dal programma Dragonfly. Interessante in questo caso è notare quanto le temperature vengono influenzate dall'effetto di isola di calore, che le fa variare fino a 5°C, risultando in un contributo massivo e di importante implementazione per comprendere le necessità di confort della popolazione che usa gli spazi che verranno dedicati al padiglione.

Fig 45,46: Grafici che mostrano la relazione tra la temperatura considerata da UTCI confortevole (in marrone) e la temperatura in condizioni rurali e cittadine. Propria elaborazione

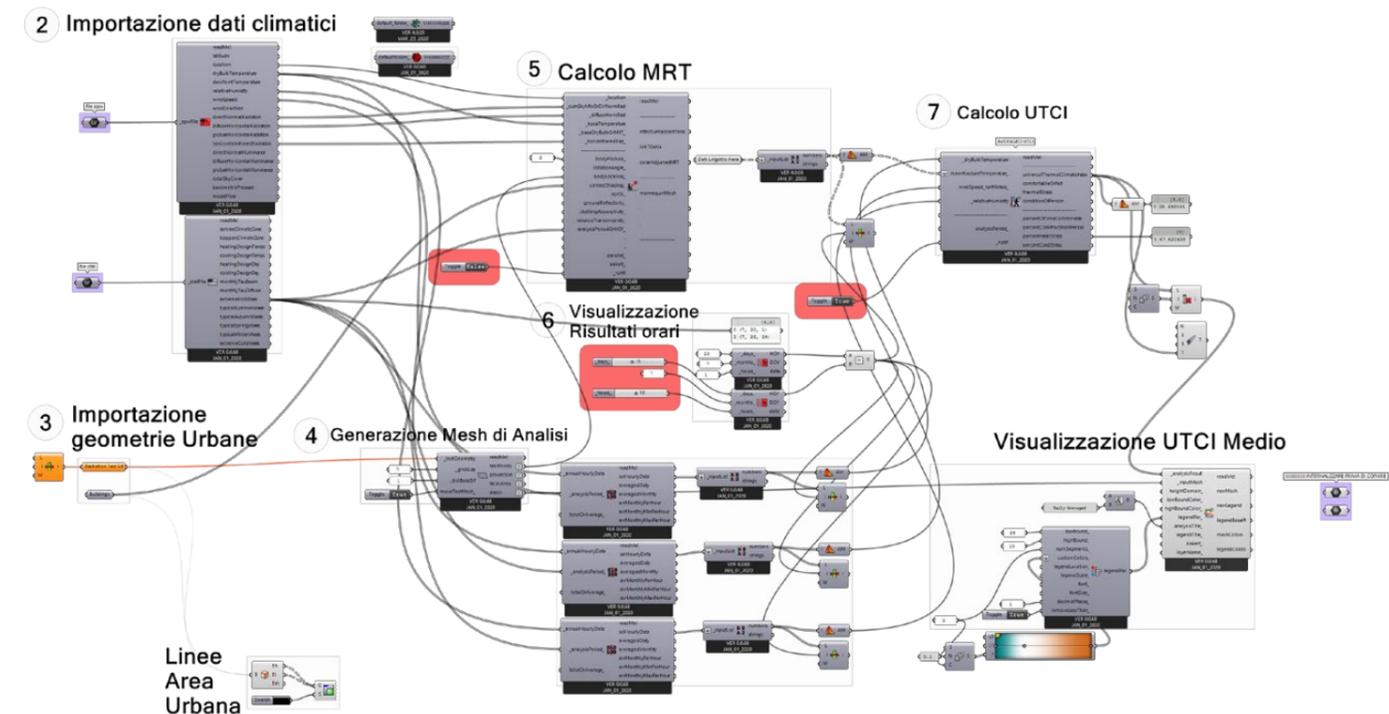


Una volta definiti i primi aspetti climatici, si passerà successivamente a valutare gli aspetti relativi al confort tramite il calcolo delle temperature percepite, basate sulla analisi della radiazione proveniente dal sole. In generale, il concetto di MRT spiega i fenomeni di come gli esseri umani percepiscono la radiazione proveniente dall'ambiente e solitamente è un componente impegnativo da calcolare al fine di valutare le metriche di confort outdoor¹⁰⁶. Per il calcolo di quest'ultimo, il team di Mostapha Roudsari - creatore di Ladybug - ha scritto il codice del motore di calcolo in modo che questo tenga conto della radiazione long/short wave del sole e del'emisfero celeste. I risultati delle analisi dell'MRT sono successivamente usati per valutare le condizioni confort dei fruitori sulla base delle metriche di temperatura a bulbo secco, umidità relativa e velocità del vento. Come si è già accennato, la metrica usata in questa metodologia è il UTCI, che sulla base delle precedenti variabili le inserisce in un modello di **bilancio energetico** del corpo umano che restituisce una temperatura che è indicativa dello stress termico percepito da una persona negli spazi all'aperto. Più in generale, il UTCI è semplicemente un indice riconosciuto internazionalmente per standardizzare la sensazione della

temperatura esterna, e può essere usato per tutto il range annuo dello studio della biometeorologia in quanto considera fattori significativi per lo scambio di calore all'interno degli ambienti esterni. L'indice UTCI pertanto è in grado di definire il grado di confort di un ambiente, attenendosi alle seguenti indicazioni sulle **fasce di temperatura**:

- Una temperatura UTCI tra i 9 e 26°C indica assenza di stress termico, pertanto una condizione di confort;
- Una temperatura UTCI tra i 26 e 28°C indica un leggero stress termico da calore, sopportabile per brevi periodi. Tra i 28 e 32°C si parla di moderato stress da calore, che però non viene considerato pericoloso. Tra i 32 e 38°C si ha a che fare con un forte stress termico, che può diventare pericoloso nel caso di prolungata esposizione. Infine, sopra i 38°C si tratta di uno stress termico molto forte, il più pericoloso e problematico in questa scala di valutazione;
- Una temperatura UTCI tra i 0 e 9°C indica un leggero stress termico da freddo, sopportabile per brevi periodi. Tra i 0 e -13 °C si parla di moderato stress da freddo, che però non viene considerato pericoloso. Tra i -13 e -27°C si ha a che fare con un forte stress da freddo, che può diventare pericoloso nel caso di prolungata esposizione. Infine, sotto i -27°C si tratta di uno stress termico molto forte, il più pericoloso e problematico in questa scala di valutazione¹⁰⁷;

Di seguito (Fig 47) viene riportato lo script di Grasshopper che ha permesso la visualizzazione e il calcolo delle temperature e condizioni dei luoghi della seconda selezione secondo l'indice UTCI.



In quanto il presente progetto tratta gli ambiente esterni come luoghi pubblici utilizzabili per attività bottom up, viene considerato utile ridurre lo spazio temporale di analisi al **periodo caldo dell'anno**, individuato dalle figure 45,46 per i mesi **da Aprile ad Ottobre**, in modo da analizzare e proporre soluzioni per i periodi effettivamente utilizzati, in quanto è difficile che uno spazio esterno sia utilizzato anche nei mesi invernali a causa delle evidenti difficoltà di mantenere un livello di confort

Fig 47: Screenshot dello script di Grasshopper+Ladybug che ha eseguito il calcolo delle temperature secondo l'indice UTCI. Propria elaborazione

accettabile solo con una copertura.

Per questo motivo, al fine di determinare le condizioni climatiche peggiori, nella presentazione dei risultati verranno riportati i dati della **temperatura media UTCI** e la percentuale media di tempo in cui si percepisce lo stress termico (**% heat stress**), riferito ai 3 periodi suddivisi in **Aprile-Maggio, Giugno-Agosto, Settembre-Ottobre**.

Per quanto riguarda la visualizzazione grafica delle temperature localizzate viene deciso di visualizzare esclusivamente le condizioni dei mesi estivi in quanto sono quelli che, all'interno del range temporale analizzato, presentano condizioni di comfort termico peggiore e quindi più rappresentativo ai fini decisionali in questa fase di analisi climatica preliminare.

3.4

Ponderazione criteri analisi e presentazione risultati

A conclusione di un percorso di analisi sicuramente non lineare, in cui vengono considerati numerosi criteri e obiettivi di natura diversa, oltre che una quantità di dati sostanziosa, viene considerato utile riepilogare e **sintetizzare il pensiero metodologico** (Fig 48) al fine di comprendere appieno in che modo si è arrivati alle conclusioni che verranno presentate in questo capitolo.

Partendo dalla volontà di unire l'approccio parametrico alla progettazione partecipata si è deciso che un padiglione per esterni permettesse da un lato la sperimentazione artistica, formale e tecnologica e dall'altro avesse una funzione sufficientemente flessibile per adattarsi alle proposte della popolazione o alle necessità di un ente del terzo settore. In quanto questo intervento ha tra gli obiettivi principali la volontà di riqualificazione di un luogo Torinese, fin dalle prime fasi di definizione di questo metodo si è voluto ricercare attraverso una modalità analica quale potesse essere questo spazio, in grado di fornire una solida base di partenza per lo svolgimento partecipato delle attività sociali e al contempo avesse delle condizioni climatiche tali da non permettere un'agevole decorso di tali funzioni. Per individuare i luoghi con queste caratteristiche è quindi stata fatta una prima selezione, individuandone 50.

Trattandosi però di una selezione manuale, le località non erano ben caratterizzate da un punto di vista sociale e funzionale, il che rendeva necessario una seconda battuta di criteri da applicare, questa volta di natura più stringente. Ma dato che non è possibile rispondere a delle domande specifiche sulla categorizzazione funzionale-oraria o semplicemente sull'attrattività del luogo, le possibilità offerte dall'analisi del Big Data e in particolare dei dati sociali urbani sono state considerate rilevanti per implementarle nel workflow di analisi. Inoltre, affiancato al proprio segno digitale della pubblicazione, ogni persona esprime indirettamente una propria opinione e visione rispetto al contesto della foto, risultando in una metodologia indiretta di e-partecipazione.

Di conseguenza per l'analisi sono stati implementati una serie di data set, tra i quali i dati sociali urbani provenienti dai social network Instagram e Strava, i dati geometrici e tipologici della piattaforma GIS, e infine i dati climatici per la città di Torino.

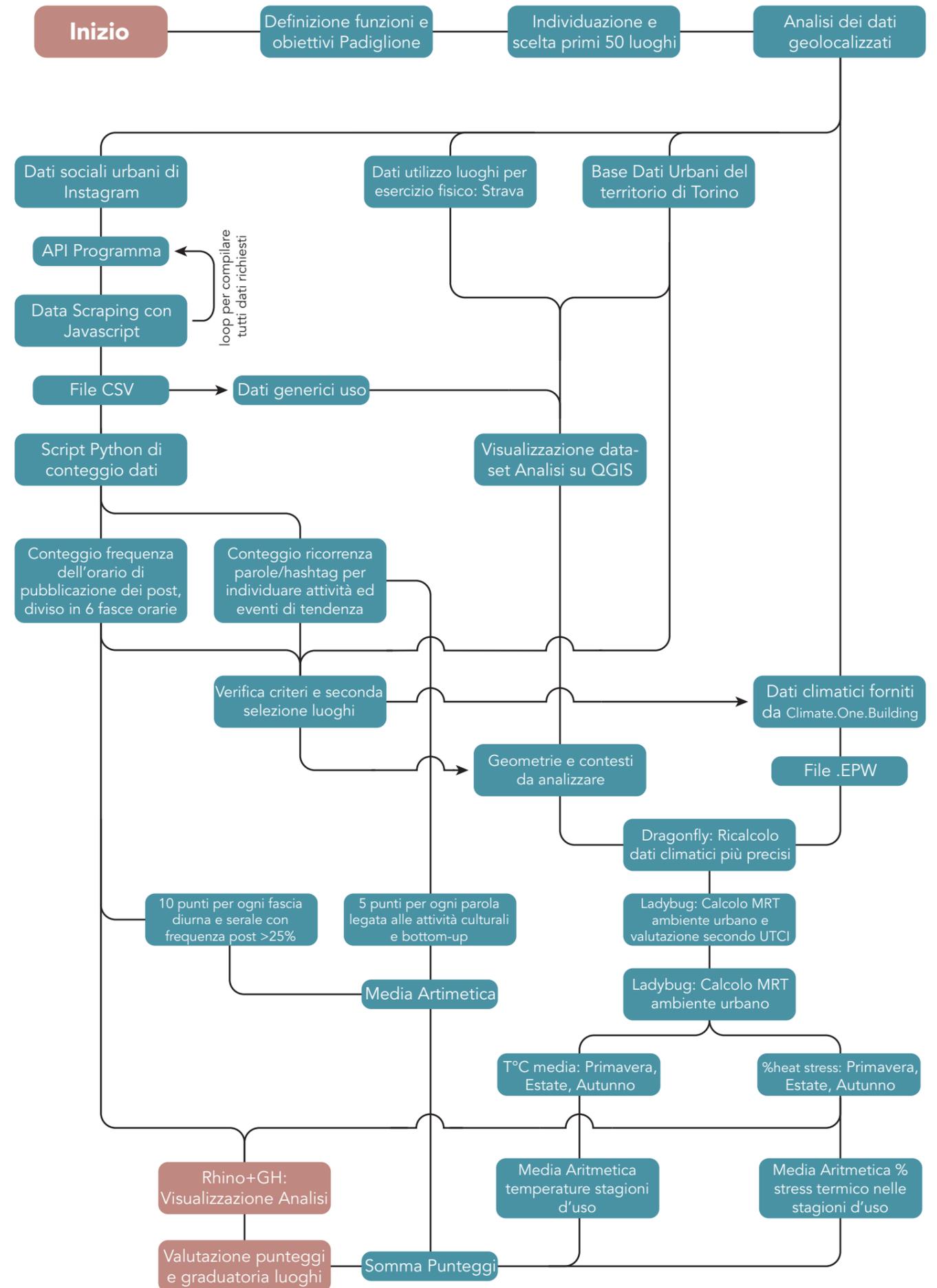


Fig 48(pagina a fianco): Graficizzazione della metodologia e delle fasi implementate per l'analisi e la definizione dei luoghi più adatti ad ospitare il padiglione. Propria elaborazione.

In quanto il fine ultimo di questa analisi è quello di valutare oggettivamente le caratteristiche del candidato, è stata introdotta la necessità di assegnare un certo **punteggio** per ogni criterio. Sommando infine i punteggi ottenuti da ogni criterio per ciascun luogo selezionato si ottiene come un unico risultato un numero, che può essere relazionato ai punteggi ottenuti dagli altri luoghi, permettendo di stilare una graduatoria dei luoghi più adatti ad ospitare un padiglione per attività sociali e bottom-up.

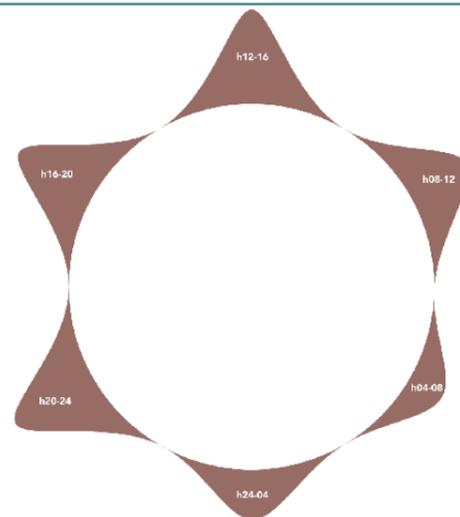
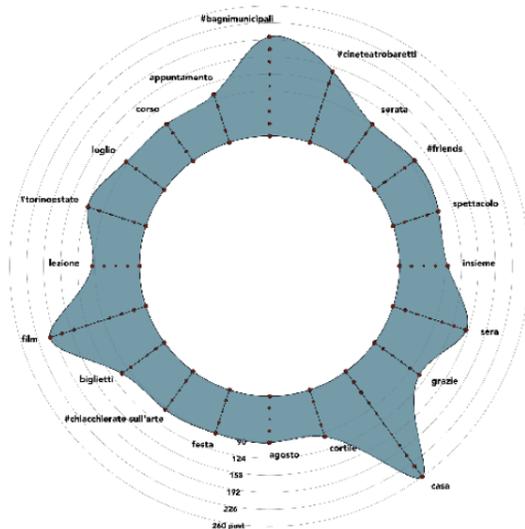
I **primi due criteri** derivano dai dati estrapolati dalla valutazione del Big Data di Instagram, che hanno aiutato a comprendere due aspetti: il primo relativo alle funzioni principali di utilizzo, ricavati dalle descrizioni, e il secondo relativo alle fasce di utilizzo da parte della popolazione del luogo specifico, estrapolati dalla data e ora di pubblicazione di ciascun post. Allo stesso modo questi dati sono stati utili per rispondere ai requisiti imposti dalla seconda selezione (vedi Fig 40). L'analisi dei dati sociali urbani ha permesso quindi di individuare la natura dei luoghi e le loro principali fasce di utilizzo, visualizzate grazie ad un **grafico simil-radar** che rappresenta:

-(Fig 49) Le 20 parole tematiche (o hashtag) più utilizzate per la descrizione del luogo o delle sue attività da parte dei fruitori, ordinate secondo la loro decrescente frequenza di utilizzo, in modo da rendere visibile le tendenze di utilizzo dello spazio.

Per quanto riguarda l'attribuzione dei punteggi, sono stati assegnati **5 punti** per ogni tematismo rilevato nei post che coincidesse con le necessità individuate dagli obiettivi di uno spazio cultural-sociale multiuso, come le parole o hashtag "musica, eventi, giochi, festa, progetto, libro, serata, amici, teatro, laboratorio, workshop, arte, artista, pittura, installazione, danza, performance, show, quartiere, spettacolo, cultura, sera, progetto, film, proiezione, insieme, lezione, corso".

-(Fig 50) La quantità di post pubblicati divisi per le 6 fasce di utilizzo definite in precedenza, che permettono di comprendere i periodi principali per l'analisi climatica, oltre che a definire delle fasce di utilizzo principali. In quanto la volontà della presente ricerca è fornire uno spazio utilizzabile per un periodo giornaliero e annuo più ampio possibile, per quanto riguarda l'attribuzione dei punteggi si ritiene efficace assegnare **10 punti** per ogni fascia oraria diurna e serale - quindi le fasce 2,3,4 - che supera il 25% dei post totali analizzati per quel luogo, favorendo di fatto l'utilizzo dalle ore 12 alle ore 24.

Fig 49(sinistra), 50(destra): Componenti dei grafici simil-radar che mostrano i risultati dei dati sociali urbani derivate da Instagram. Propria elaborazione



La visualizzazione dei grafici è stata resa possibile dall'implementazione dei programmi Rhino e Grasshopper, che hanno recepito i data set in formato .csv estrapolati dai social network e dalle analisi climatiche.

Conclusa l'analisi del Big Data proveniente da Instagram, incrociando con le informazioni reperite dal database GIS e Strava, il numero dei luoghi adatti alle funzioni del padiglione si è ridotto da 50 a 12. A questo punto si è proceduto a valutare le località rimaste da un punto di vista delle **caratteristiche microclimatiche**, individuando in particolare la temperatura media radiante MRT e percentuale da stress termico per i mesi primaverili (Aprile-Maggio), estivi (Giugno-Agosto) ed autunnali (Settembre-Ottobre). L'obiettivo dello studio microclimatico preliminare è quello di fornire una scala di valori legate ai comfort di fruizione dei luoghi, che a seconda delle loro condizioni, indica quantitativamente l'esigenza di migliorarle attraverso la costruzione del padiglione, che ha tra le esigenze primarie la volontà di fornire uno spazio confortevole di fruizione per gli ambienti esterni in un lasso di tempo più ampio possibile. Anche in questo caso la visualizzazione delle analisi è stata eseguita tramite Rhino e Grasshopper, rappresentando su una mesh del terreno le temperature MRT medie della settimana più calda dell'anno, cioè la seconda di luglio secondo i dati di energyplus. Al fine di unire i risultati della visualizzazione climatica (Fig 51) a quelli socio-urbani, è stato deciso di unire i due contributi nel già presentato grafico a radar.

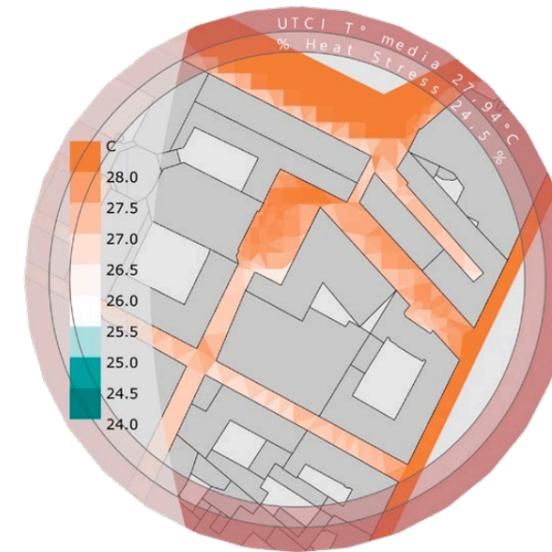
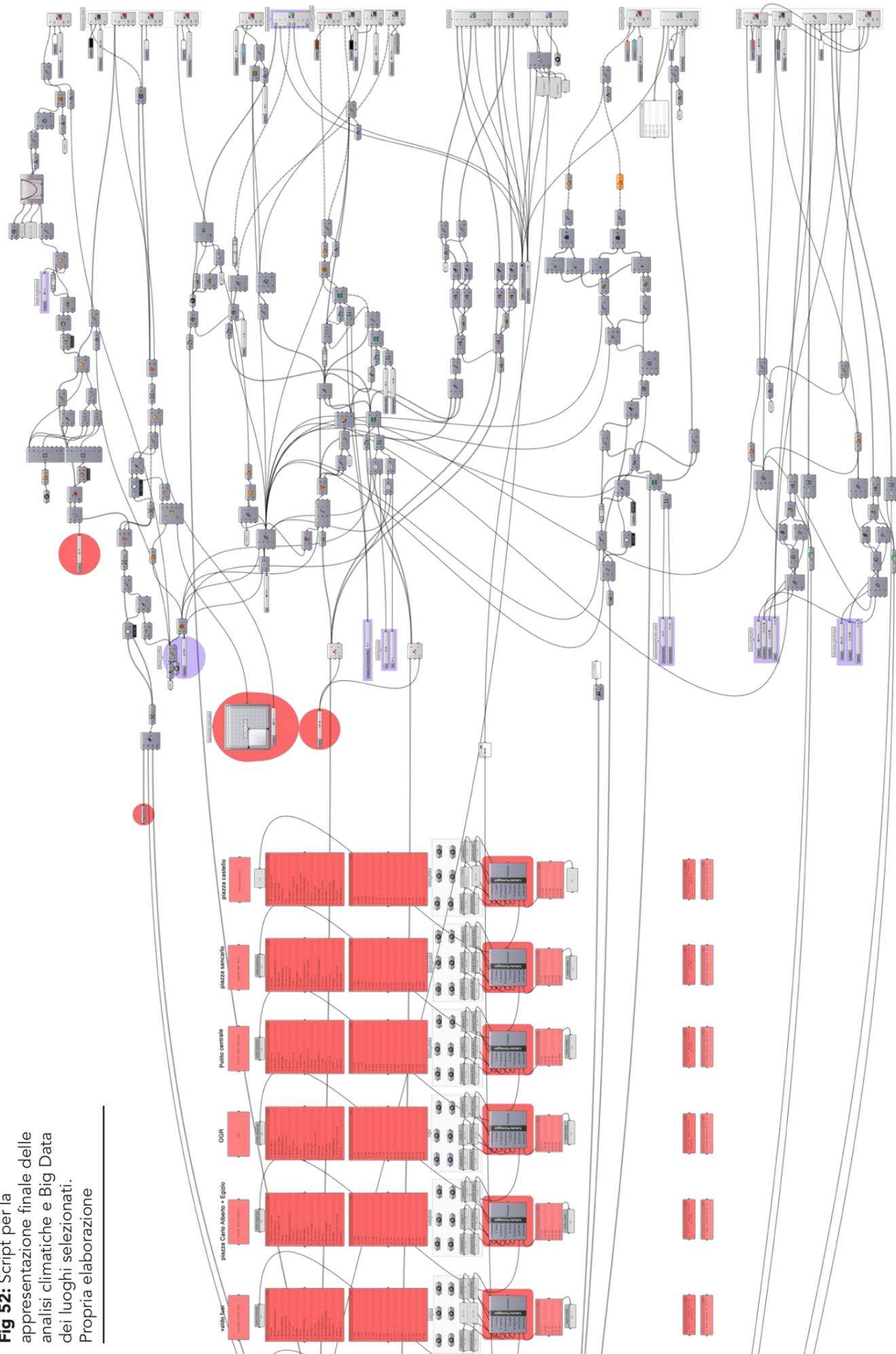


Fig 51: Visualizzazione grafica delle analisi microclimatiche inerente alla casa del quartiere di San Salvario. Propria elaborazione

Per assegnare un punteggio alle analisi climatiche preliminari, che alla fine dovranno essere sommate al punteggio del contributo sociale, è stata necessaria una **ponderazione** del contributo della percentuale di stress termico: mentre il punteggio di ogni contributo sociale (frequenze parole, fasce orarie di utilizzo) o relativo alla temperatura si aggira intorno al valore 30, il valore dello stress termico è espresso in base percentuale, pertanto si è provveduto a calcolare la media delle condizioni di ciascun criterio climatico per ogni periodo di analisi e a sommarli ai punteggi ottenuti dallo studio del Big Data, ottenendo un unico punteggio rappresentativo di ciascun criterio per ogni luogo analizzato.

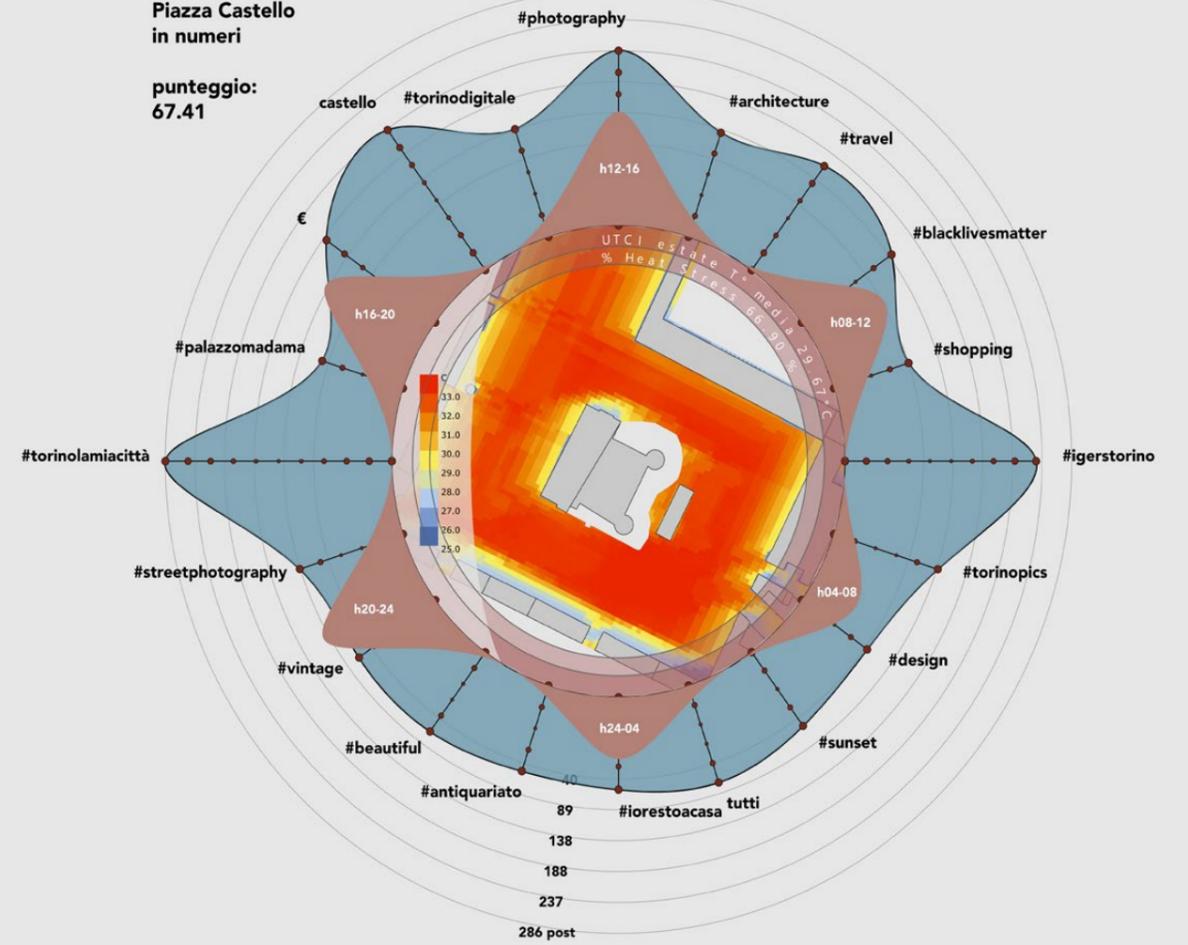
Nelle pagine seguenti sono presentati i grafici radar che contengono il riepilogo di tutte le analisi condotte fino a questo momento, ottenute tramite uno script di Grasshopper rappresentato in Figura 52.

Fig 52: Script per la
 apprensione finale delle
 analisi climatiche e Big Data
 dei luoghi selezionati.
 Propria elaborazione



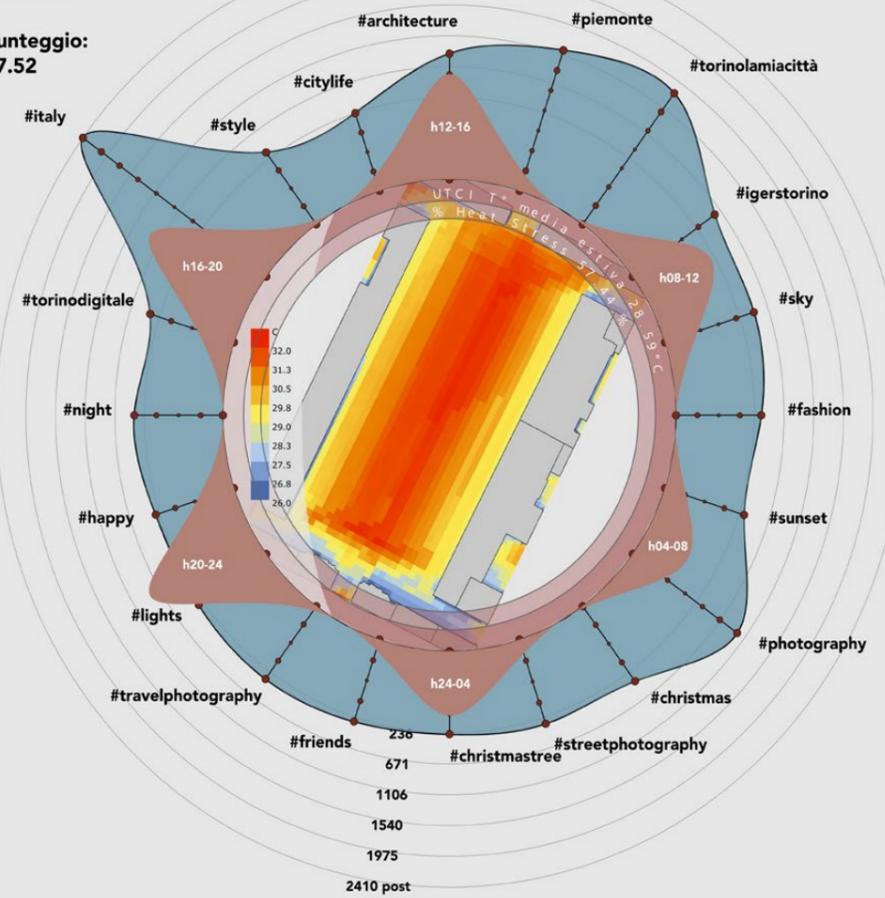
**Piazza Castello
 in numeri**

**punteggio:
 67.41**



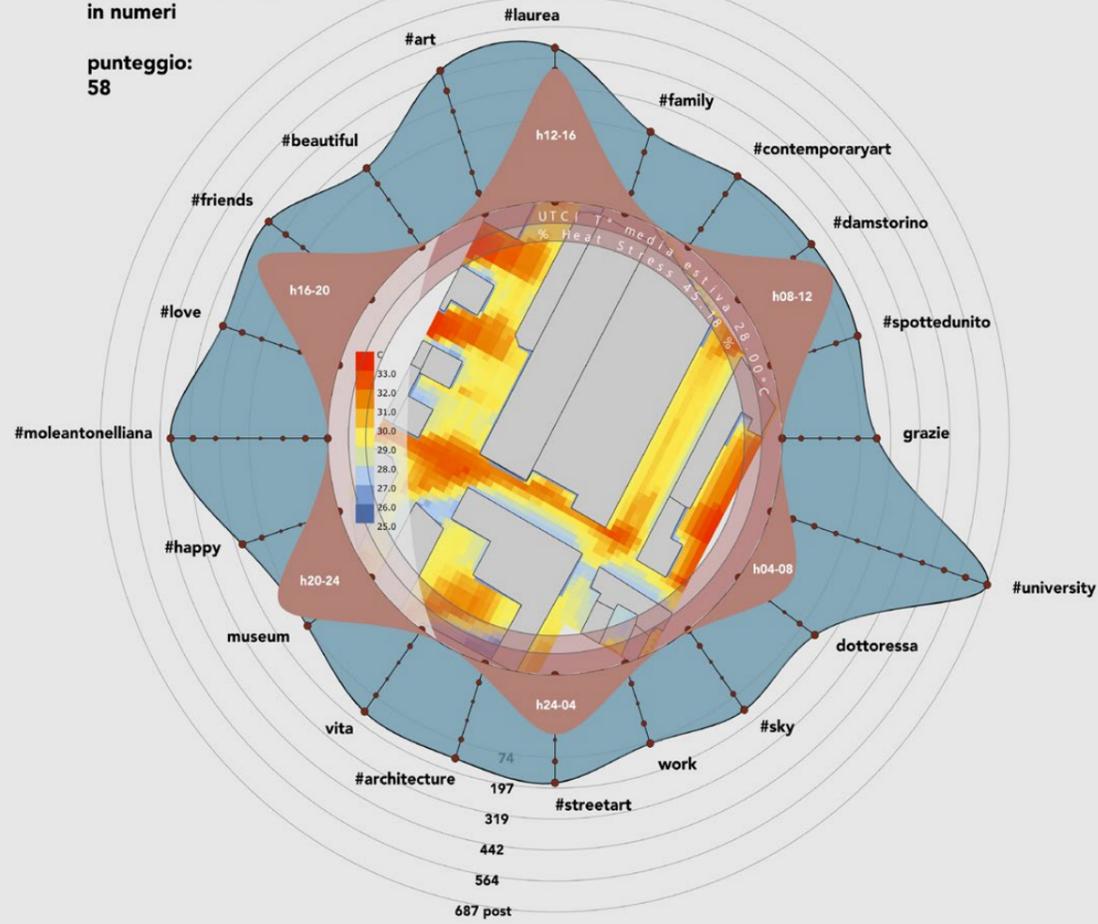
**Piazza San Carlo
 in numeri**

**punteggio:
 57.52**



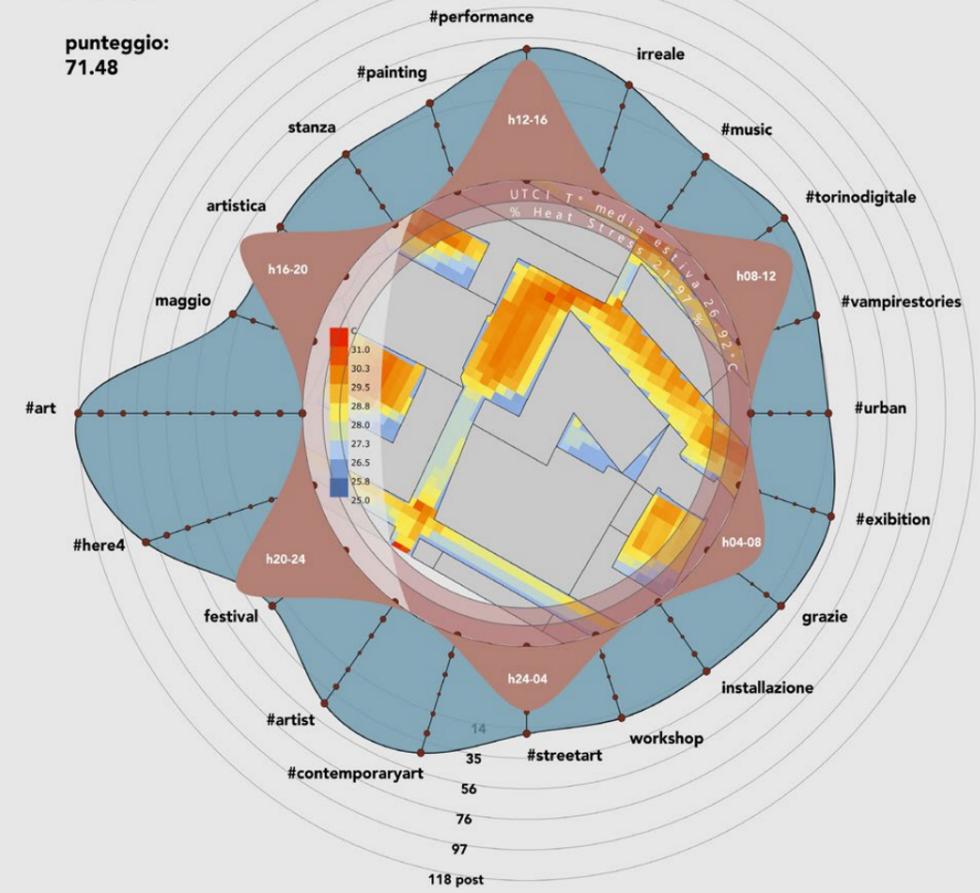
Unito - Palazzo Nuovo
in numeri

punteggio:
58



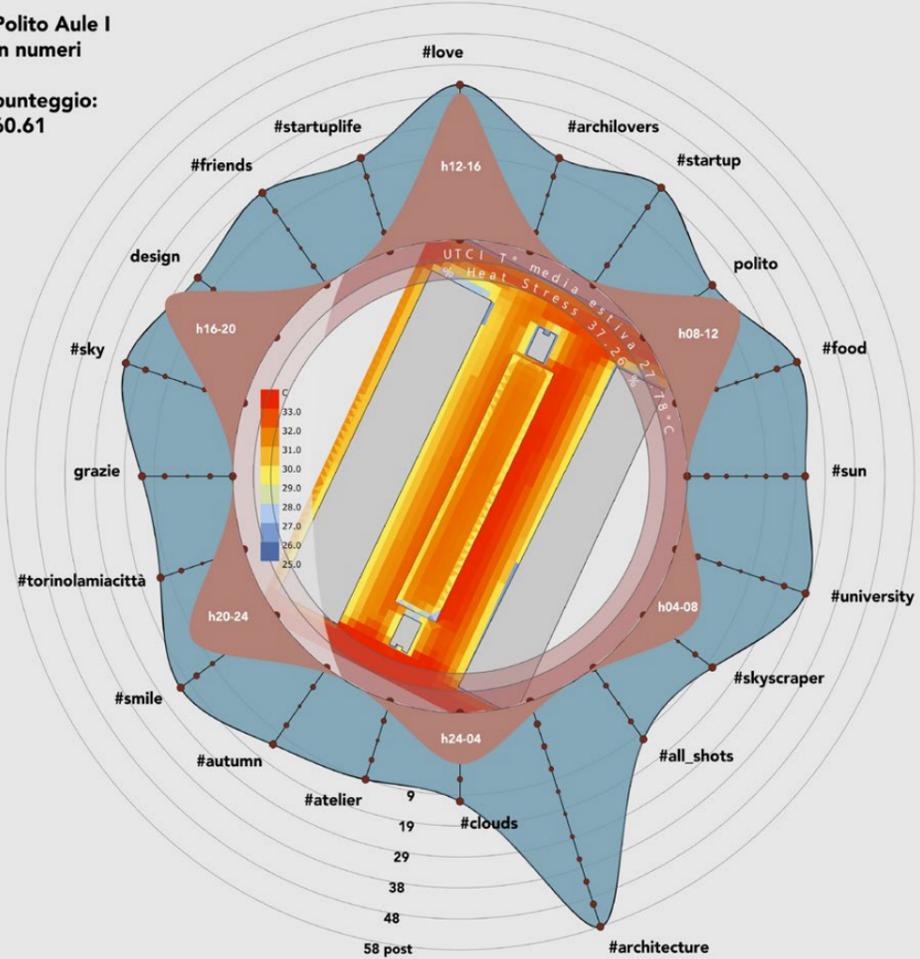
Cavallerizza Reale
in numeri

punteggio:
71.48



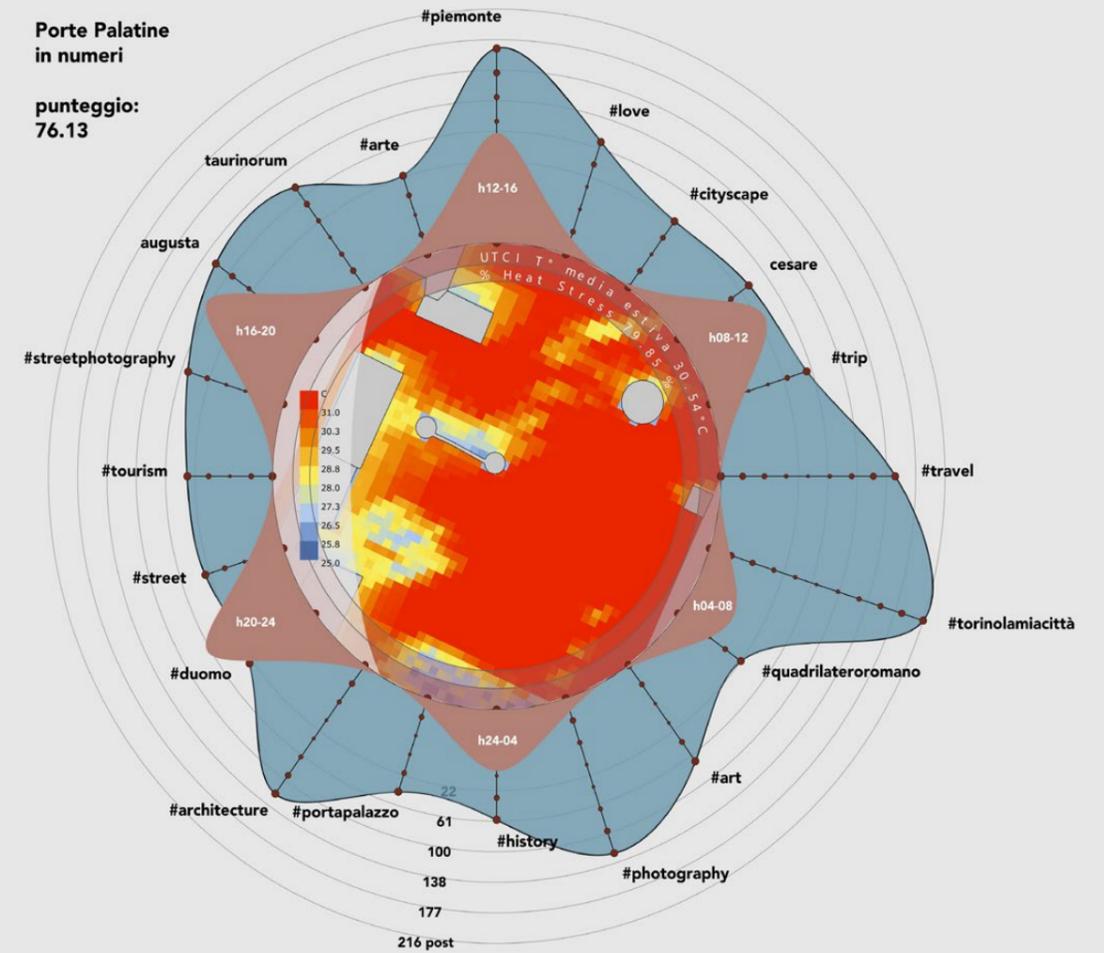
Polito Aule I
in numeri

punteggio:
60.61



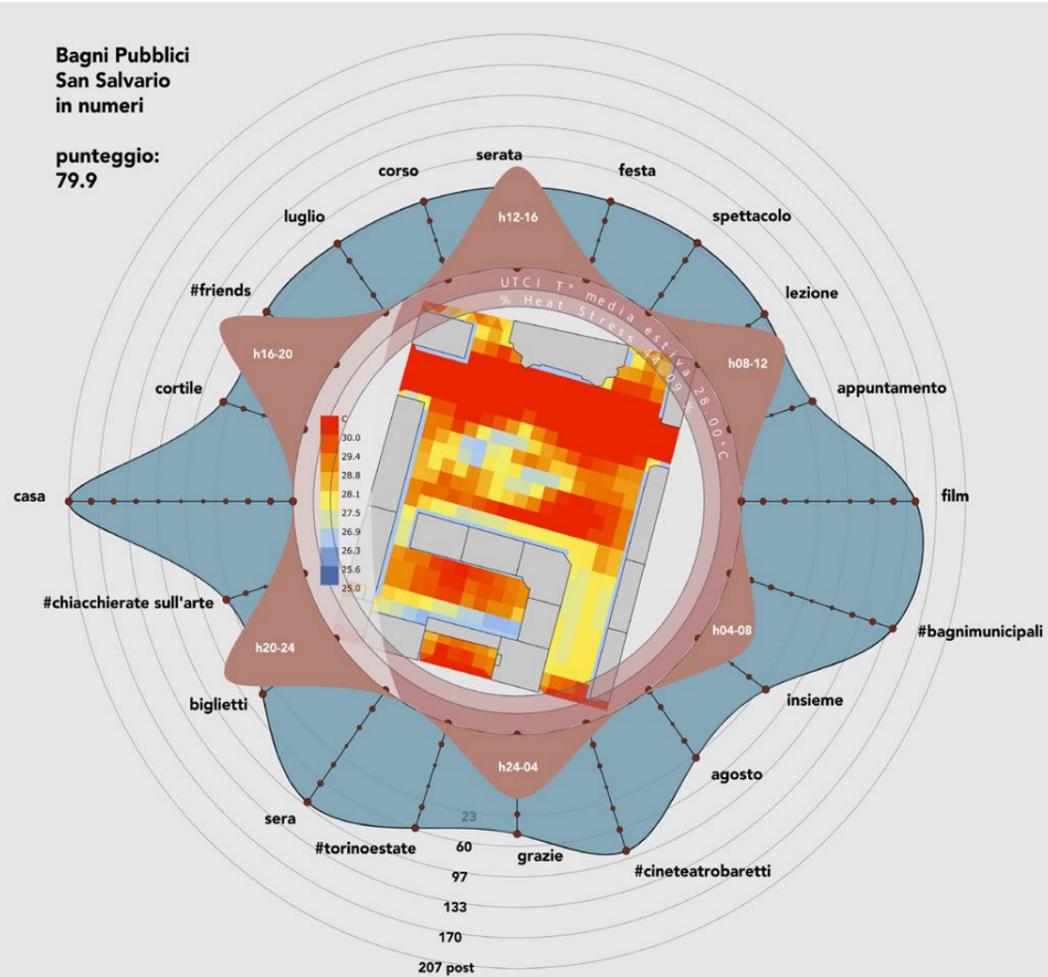
Porte Palatine
in numeri

punteggio:
76.13



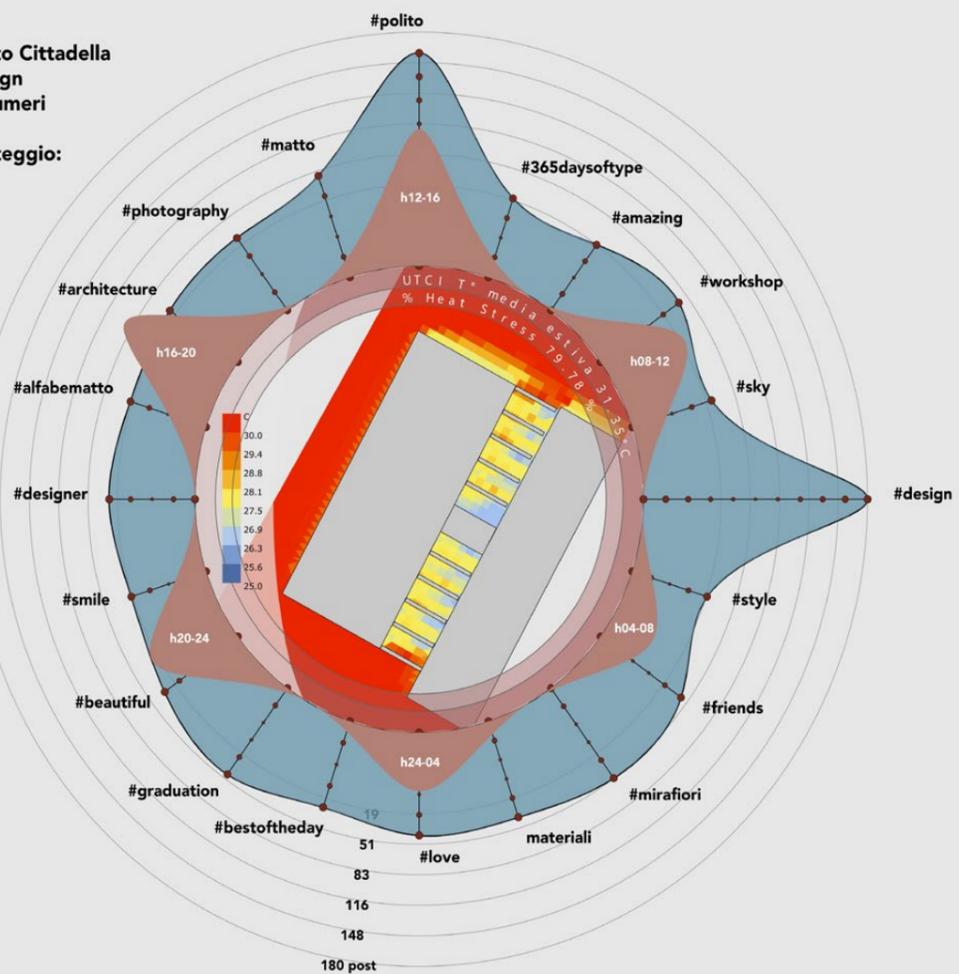
**Bagni Pubblici
San Salvario
in numeri**

punteggio:
79.9



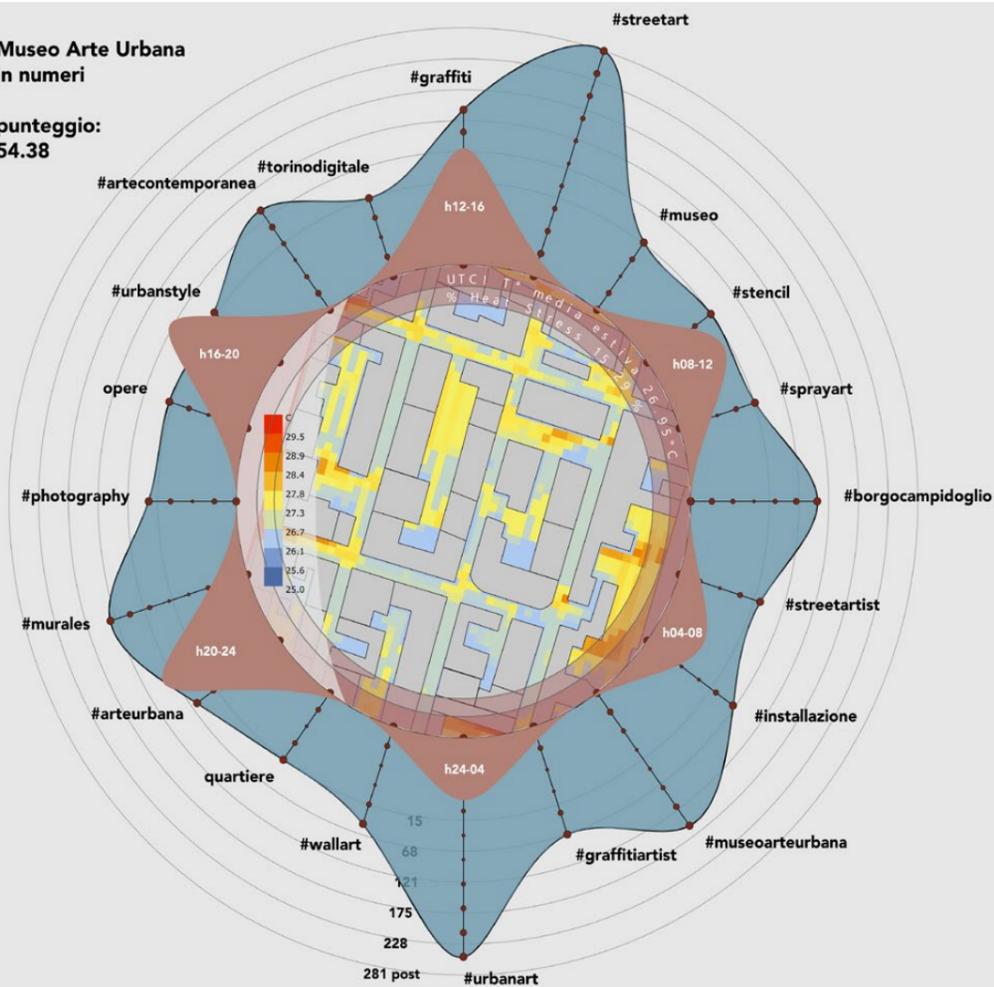
**Polito Cittadella
Design
in numeri**

punteggio:
90



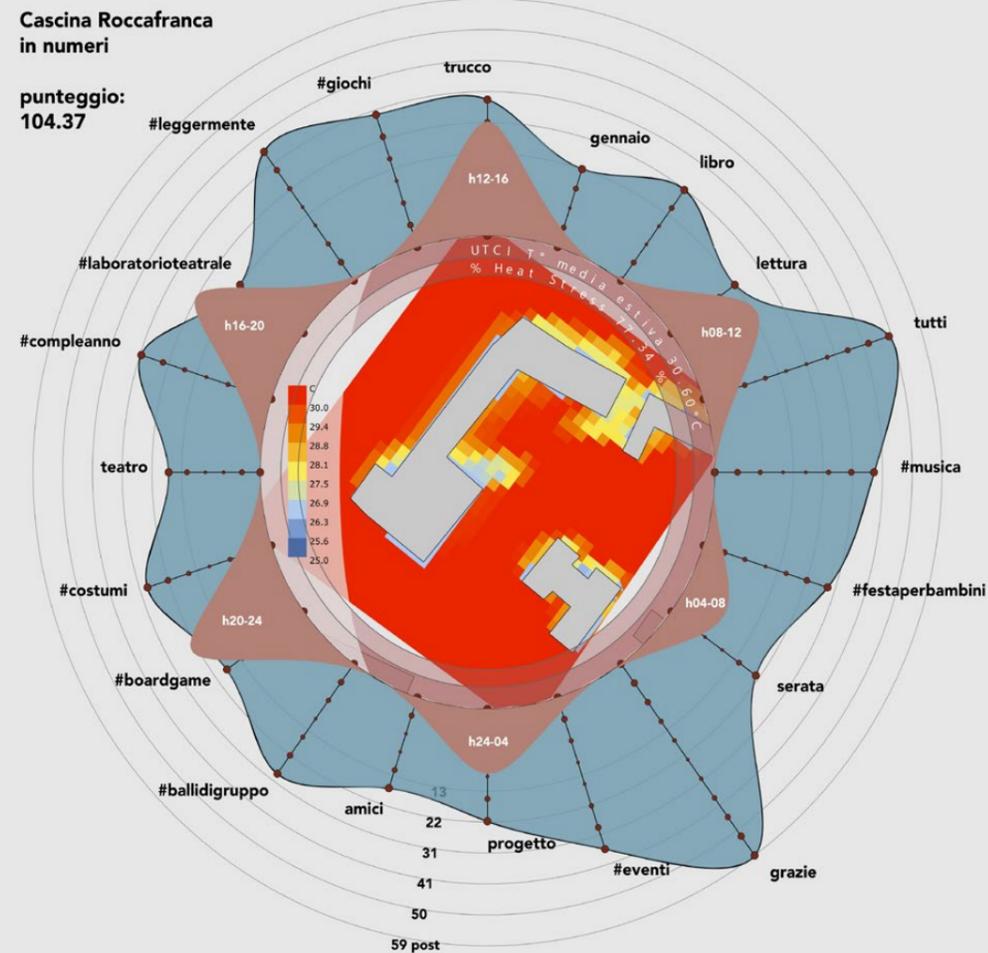
**Museo Arte Urbana
in numeri**

punteggio:
54.38



**Cascina Roccafranca
in numeri**

punteggio:
104.37



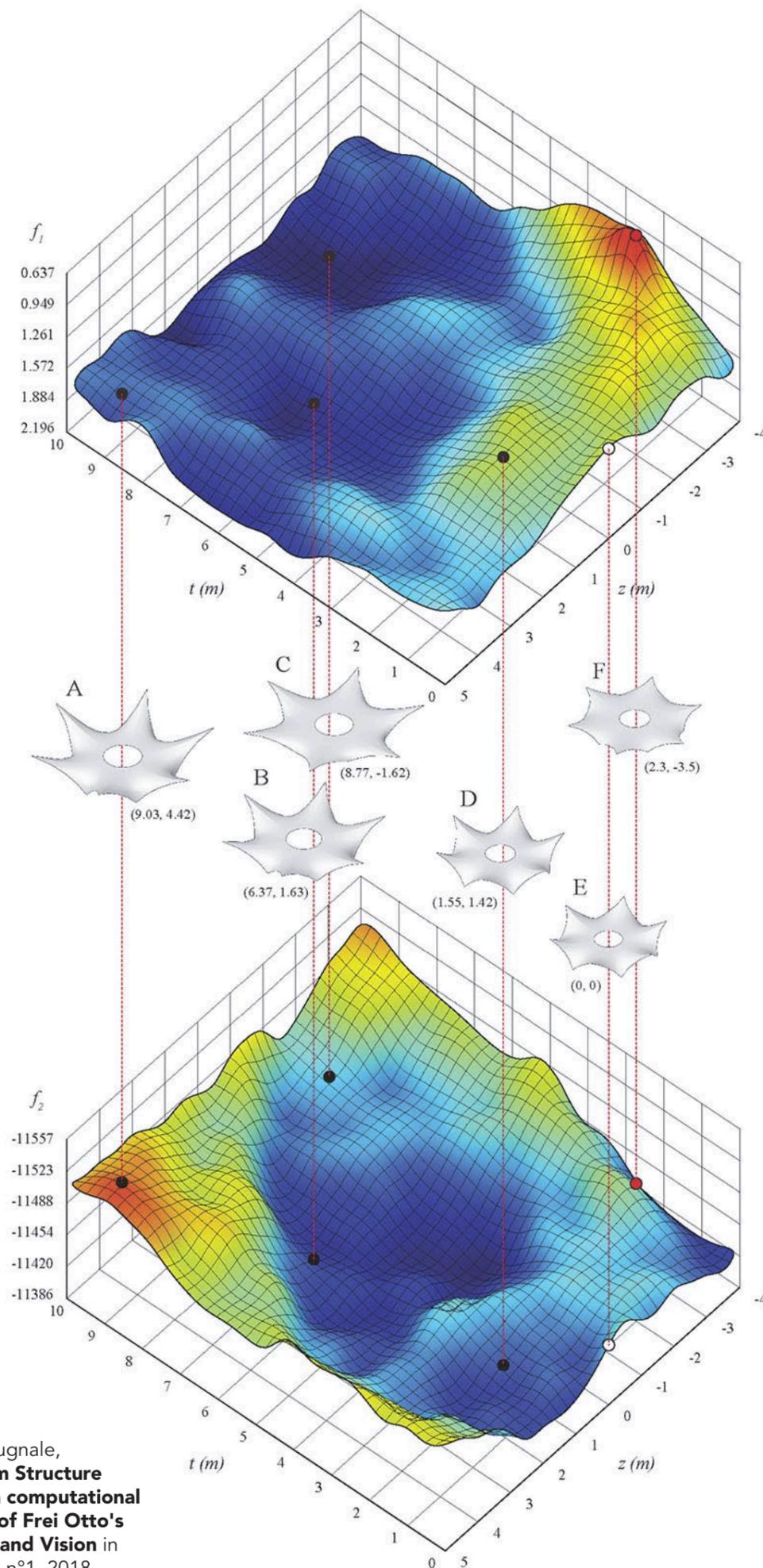
Progettare lo Spazio tramite il Form Finding Ambientale

I progettisti, le pubbliche amministrazioni, oltre che gli enti del terzo settore nel caso di realizzazione di una struttura pubblica hanno come preoccupazione principale la sua buona riuscita, affinché si crei uno spazio piacevole, sicuro e generatore di incontri. Ciò nonostante, come individuato dalle analisi del capitolo precedente, nelle città sono presenti numerosi spazi che non hanno ottenuto il risultato desiderato in termini di utilizzo da parte della popolazione.

Secondo l'architetto danese Jan Gehl, l'utilizzo di un qualsiasi spazio pubblico è caratterizzato dalla presenza delle seguenti attività, fortemente legate agli aspetti della qualità ambientale intesa come comfort:

- Attività necessarie**, ossia tutte le azioni che si ritengono indispensabili, come andare a lavoro, a scuola, fare la spesa, sbrigare commissioni, ecc. Secondo Gehl, in questo caso la qualità ambientale agisce poco sulle attività, che si svolgono comunque, indipendentemente dalle condizioni climatiche;
- Attività volontarie**: sono tutte quelle azioni facoltative che le persone compiono esclusivamente se ci sono delle condizioni esterne che ne permettono lo svolgimento, come passeggiare o leggere un libro in un parco. Quando la qualità dello spazio pubblico è scadente si svolgono solo le attività necessarie, mentre quando la qualità è elevata, oltre alle attività necessarie sarà presente anche una vasta gamma di attività volontarie, proprio perchè le condizioni ambientali invogliano le persone a sostare e svolgere attività anche per periodi prolungati;
- Attività sociali**: si tratta in questo caso di attività che necessitano della presenza di persone nello stesso spazio affinché siano svolte attività come i giochi dei bambini, una conversazione spontanea, ma anche semplicemente osservare ed ascoltare gli altri¹⁰⁹. Di conseguenza anche questo genere di attività dipende fortemente dalle condizioni microclimatiche del luogo;

In generale, le attività svolte presso la rete delle case del quartiere si collocano a cavallo tra le attività sociali e volontarie, ossia le categorie che richiedono una maggiore attenzione nella progettazione, specialmente da un punto di vista microclimatico. In questo contesto infatti, le persone possono scegliere se frequentare uno spazio o meno in funzione delle attività proposte e delle condizioni microclimatiche. Specialmente nell'ultimo caso "la scelta non è consapevole, tuttavia se le persone non incontrano condizioni di comfort ambientale e termico in uno spazio pubblico, molto spesso non lo frequenteranno, decretandone il fallimento"¹¹⁰. Nonostante il verde urbano su piccola scala possa risolvere ampiamente i problemi legati ai cambiamenti climatici come l'isola di calore urbano o abbassare la temperatura media radiante delle superfici, la soluzione di una struttura schermante si presenta come la più adatta dove non è possibile riqualificare con piantumazioni. Per questo motivo **le condizioni di benessere ambientale**, che fino ad ora sono state considerate solo per la selezione dei luoghi più adatti al presente progetto, **sono un elemento di progetto fondamentale alla scala architettonica** per incentivare le persone a frequentare uno spazio in termini giornalieri e stagionali¹¹¹, che verrà considerato come spunto generativo principale per la definizione della morfologia del padiglione, ricercata attraverso il processo del form finding, metodo consolidato da architetti come Otto Frei, Heinz Isler, Sergio Musmeci, Antoni Gaudì (vedi



cap 1.1).

Nonostante la corposa eredità metodologica lasciata da suddetti personaggi, gli avanzamenti tecnologici intrapresi negli ultimi anni con la proliferazione delle complesse architetture organiche, e i numerosi casi studio che prendendo spunto ed elaborano in chiave computazionale le sperimentazioni empiriche dei proto-parametricisti legate alla ricerca della forma migliore¹¹², il concetto e le modalità del **form finding in chiave ambientale non è ancora sufficientemente diffuso** per far sì che si instauri un metodo di lavoro che permetta una relazione diretta tra la macchina e il progettista¹¹³, cioè che l'algoritmo generi una serie di soluzioni basate su condizioni imposte dall'addetto, che le valuterà in un secondo momento. Ciò nonostante, a causa della crescente complessità di molti progetti, è già in corso un progressivo adattamento verso un form finding più integrato nel workflow lavorativo, che permette di risolvere sin dalla fase di concezione morfologica certi problemi progettuali con un metodo preciso, che consideri non solo gli aspetti strutturali, ma anche quelli ambientali e del comportamento umano¹¹⁴.

Infatti, nell'arco di vent'anni, a partire dalla svolta computazionale degli anni 90 del XX, sono stati sviluppati numerosi applicativi per l'esplorazione della forma architettonica nell'ottica di un qualche tipo di prestazione e ottimizzazione¹¹⁵, basandosi principalmente su un'analisi degli schemi prestazionali strutturali. Ad esempio, Kilian nel 2007 fu il primo a sviluppare uno strumento di form finding basato sul principio "delle catene sospese", introdotto da Robert Hooke nel XVII che dimostrò la relazione tra gli schemi statici e le simulazioni form finding¹¹⁶. Un altro esempio, tra l'altro il più usato nell'ambiente Grasshopper, è lo strumento Kangaroo, sviluppato da Daniel Piker che funziona tramite un sistema di particelle (MAS, ossia **Multi Agent System**) che si basano su una serie di principi presi dal mondo del FEM.

La lista potrebbe di plug-in e programmi con la stessa funzione potrebbe continuare a lungo, anche se poi diventa evidente la mancanza di interoperabilità tra le informazioni, in quanto questi sistemi danno una maggiore importanza allo strumento stesso che allo sviluppo di un metodo di lavoro trasversale tra più strumenti e fasi di lavoro, lasciando in disparte gli aspetti legati alle analisi ambientali¹¹⁷, nonostante l'approccio parametrico sia emerso specificamente come un approccio integrato, e che quindi permette di considerare numerosi parametri di natura diversa¹¹⁸. Per questo motivo, come sottolineato da Pantazis e Gerber nel 2019, la pratica progettuale contemporanea necessita di un **introduzione dei parametri ambientali** all'interno dei modelli del form finding, spostando l'attenzione da problemi esclusivamente di ottimizzazione strutturale verso metodi e modalità delle analisi ambientali.

Infatti, la ricerca recente nei campi del design e della costruzione si è concentrata nel ridurre il gap tra il mondo reale e il digitale, integrando sempre di più la fabbricazione digitale ai limiti imposti dalle caratteristiche dei materiali e dal contesto ambientale¹¹⁹. Ne sono esempio la New Elephant House a Copenhagen (Foster & Partners) oppure i Cooled Conservatories at Gardens by the Bay a Singapore (Wilkinson Eyre Architects), che dimostrano chiaramente il potenziale d'uso degli strumenti computazionali al fine di creare design sostenibili, tramite l'integrazione di molteplici aspetti come quelli strutturali, ambientali e di realizzazione¹²⁰. Inoltre, in linea con gli obiettivi posti nei capitoli precedenti in riferimento alla ottimizzazione, questi edifici hanno confermato i notevoli vantaggi nell'uso delle ottimizzazioni multi parametro e numerose analisi per generare oggetti complessi, che siano

coerenti con le necessità richieste dagli edifici sostenibili¹²¹, in termini di **strategie passive**. Nel dettaglio, la ricerca sullo stato dell'arte delle attuali pratiche del form finding ambientale, ha rivelato che i parametri che incidono maggiormente sulla morfologia dell'oggetto seguono una scansione identica a quella proposta da Victor Olgyay nel suo seminale libro "Design With Climate", di seguito elencati:

-Come primo step per generare un progetto "ambientale" è la **raccolta dei dati climatici** per un luogo preciso. Ogni elemento climatico ha un impatto differente rispetto allo stesso aspetto valutato in un ambiente differente, che quindi necessita di un trattamento specifico. Come suggerisce Olgyay, i dati devono essere espressi annualmente e fornire indicazioni legate alla temperatura, radiazione solare, umidità relativa e vento. Nonostante questi dati siano già stati raccolti in un file .epw e modificati nel capitolo precedente, in questa sezione verranno presentati in maniera approfondita, in modo da comprendere quali siano gli aspetti più impattanti per lo shelter;

-In quanto l'unità di misura in questa modalità di lavoro è il comfort dell'essere umano, il secondo aspetto da tenere in considerazione sono gli impatti del clima specifico sui **bisogni fisiologici dell'uomo**, che sono soddisfatti all'interno di una **zona di comfort a cui tendere tramite la progettazione** che tiene conto delle temperature a bulbo secco, a bulbo umido e della umidità relativa;

-Successivamente è necessario proporre delle **soluzioni tecnologiche adeguate** per mitigare gli impatti ambientali, risolvendo i problemi legati al binomio clima-comfort. Questi aspetti sono principalmente legati agli aspetti di ottimizzazione dell'orientamento, progettazione di schermature efficaci, predilizione di certe forme che traggono vantaggio dal clima per morfologia, recepimento o blocco delle correnti d'aria e infine, miglioramento dei flussi termici tramite impiego di materiali adeguati;

-Infine, nello step finale è necessario collegare tutte le precedenti considerazioni in un prodotto architettonico unitario, pesando l'importanza dei diversi fattori¹²².

Nonostante Olgyay intendesse l'applicazione di questa scansione analitica legata alla funzione delle abitazioni, o edifici più in generale, viene considerato propedeutico seguire la sua metodologia anche nell'ambito della scala ridotta del padiglione, che comunque come già sottolineato più volte, considera centrale l'approccio bioclimatico il più importante tra i fattori che contribuiscono alla generazione del progetto. A questo punto è anche importante sottolineare che la maggioranza delle tecniche attuali legate al form finding ambientale sono basate sulla ricerca di Olgyay, che è stata la prima a definire delle linee guida chiare per progettare con il clima.

Un'ulteriore precisazione va fatta a riguardo della soluzione generata dall'algoritmo di form finding; Nel capitolo 1 si è deciso di implementare l'assemblaggio partecipato come meccanismo di partecipazione sociale alla base del progetto. Questo suppone che l'intero involucro sia costituito da moduli discreti facilmente assemblabili, e non da una superficie continua. Ciò nonostante, le pratiche del form finding, strutturale o ambientale che sia, generano soluzioni di involucri continui a forme libere. Pertanto, per fare in modo che la soluzione ottimizzata dal punto di vista ambientale sia anche facilmente costruibile, è necessario discretizzare l'involucro prodotto, risultando in un **processo progettuale a tre fasi** (Fig 54), dove i parametri ambientali scelti **generano una**

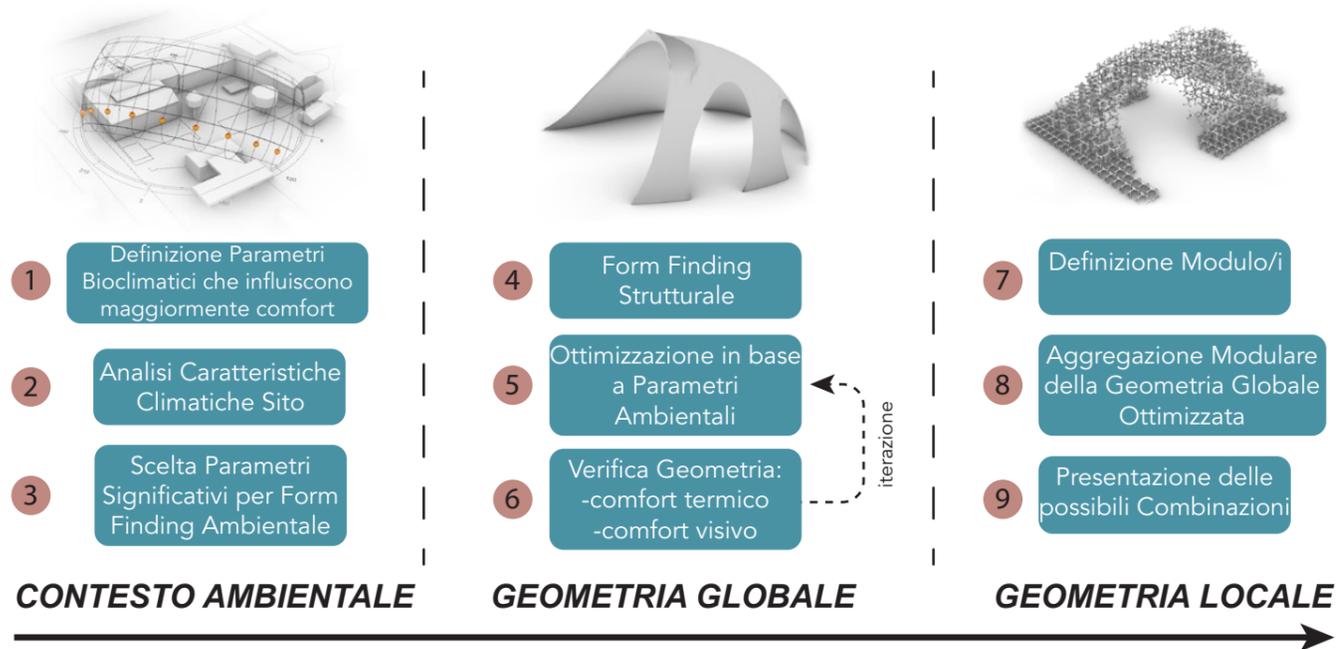
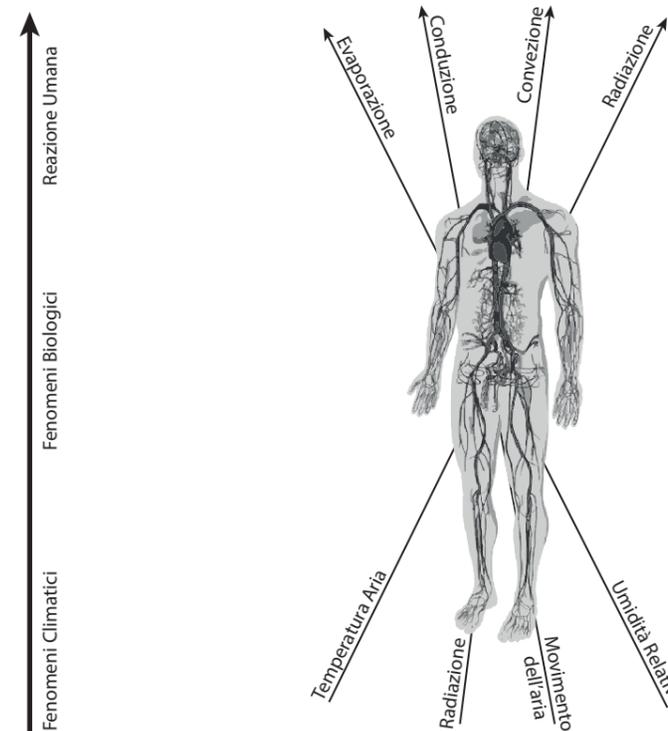


Fig 54: Step metodologici intrapresi durante la fase progettuale. Propria elaborazione

morfologia di una superficie ottimizzata, che poi successivamente verrà suddivisa in moduli o componenti tecnologici, definiti all'interno del capitolo 5. In questo modo è possibile aumentare la capacità di gestione della soluzione prodotta e di applicare lo stesso metodo anche in altri ambiti, come proposto originariamente da Gerber et al nel 2017¹²³.

movimento dell'aria e umidità. L'energia di questi elementi, entrando in contatto con il corpo viene assorbita ed emessa tramite radiazione per circa 40%, tramite convezione per altri 40%, e il restante 20% tramite evapotraspirazione (Fig 56)¹²⁵.



Questi meccanismi di compensazione termica funzionano in un range delimitato, garantito da una corretta progettazione di uno shelter o involucro edilizio. Di conseguenza, in questa ottica è evidente che il problema di un qualsiasi architetto dovrebbe essere quello di progettare un ambiente che non produce uno stress termico indebito sui meccanismi di compensazione del calore del corpo umano¹²⁶.

Fig 56: Relazione del corpo umano e degli elementi climatici. Fonte: V. Olgyay, Design With Climate, p 15.

4.1

I Parametri Bioclimatici

Per poter definire un algoritmo di form finding ambientale, è prima necessario comprendere quali siano gli aspetti climatici che possono incidere maggiormente su una struttura schermante in ambiente esterno.

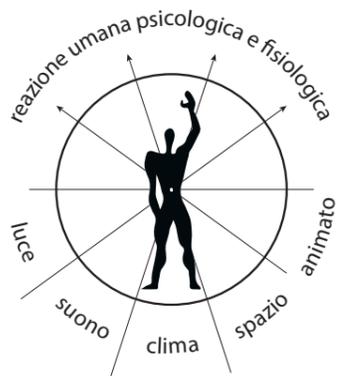


Fig 55: I costituenti esterni che influiscono fisiologicamente e psicologicamente sull'uomo. Fonte: V. Olgyay, Design With Climate, p 55.

In generale, l'ambiente fisico consiste di diversi elementi che si relazionano in maniera complessa tra loro. Riducendo all'osso i diversi costituenti si può descriverli in frazioni di luce, suono, clima, aspetti spaziali ed elementi animati (Fig 55)¹²⁴. Questi elementi agiscono direttamente e integralmente sul corpo umano, che può assorbirne o contrastarne gli effetti tramite **azioni fisiologiche**, che servono per adattarsi all'ambiente circostante, ed entrare nella cosiddetta "zona di comfort". Qualsiasi costruzione fatta da un essere vivente ha come funzione principale il raggiungimento di tale comfort, e l'uomo non ne è eccezione, come dimostrano chiaramente le architetture vernacolari dei popoli primitivi che si adattavano al clima tramite una serie di espedienti elaborati localmente.

Nonostante tutti i costituenti agiscano sul corpo umano, i due più importanti sono il **bilancio termico** dettato dal clima, e la **luce**, che regola il ritmo circadiano.

Trattandosi comunque in questo caso di un manufatto posizionato in esterno, gli aspetti legati alla luce sono meno problematici rispetto a quelli termici, in quanto il contesto di Cascina Roccafranca o delle altre Case di Quartiere consistono in ampi spazi all'aperto senza particolari ostruzioni, e quindi più soggetti a problemi di stress termico che a mancanza di livelli di luce adeguati.

Pertanto in questo caso specifico, gli elementi che contribuiscono maggiormente al bilancio termico del corpo umano possono essere categorizzati come **temperatura dell'aria, radiazione solare,**

A tal proposito, è necessario stabilire quale sia la temperatura considerata confortevole per gli spazi esterni a cui tendere il parametro nella fase successiva; Nel capitolo precedente la si è individuata nel **range 9-26°C**, stabilita dall'**indice UTCI** che calcola la temperatura media in relazione ai suddetti elementi climatici. L'UTCI però non è l'unico metodo per valutare il comfort esterno.

Esistono infatti diversi metodi per valutarlo, seguendo degli indici che considerano la fisiologia delle persone. Uno dei primi indici sviluppati nel dopoguerra è il **Windchill Index**, che considerava come fattore primario per la definizione del comfort l'influenza del vento, e pertanto viene usato principalmente in climi freddi¹²⁷. Dall'altro lato, nei climi umidi e caldi l'indice più utilizzato è il **Temperature-Humidity Index (THI)**, sviluppato da Thom¹²⁸. Un approccio più comprensivo è stato proposto da Victor Olgyay, che tramite il suo "**Climatic Chart**" ha unito i vari elementi climatici stabilendo delle zone di comfort termoisometriche, e come raggiungerle tramite azioni concrete di progettazione. Bisogna notare che nonostante siano passati 50 anni dalla sua prima presentazione, il Climatic Chart rimane ancora oggi attuale per via della sua facilità d'uso e immediatezza nel ricerca soluzioni progettuali e formali.

Più tardi, venne sviluppato l'indice **PET** (Physiological Equivalent Temperature) che venne basato sul modello di bilancio della fisiologia umana¹²⁹. In quanto il PET utilizzava i °C come unità di misura, è facilmente comprensibile dagli operatori dell'industria delle costruzioni, e per questo motivo è stato ampiamente implementato nella pratica

professionale¹³⁰. Infatti, a partire dal suo sviluppo, è stato usato come indice universale del comfort termico degli esterni per descrivere un certo clima in una serie di applicazioni¹³¹ ed è stato implementato all'interno del software di analisi climatica ENVI-MET¹³². Infine, uno degli indici più utilizzati è il **PMV** (Predicted Mean Vote), che è stato pensato principalmente per applicazioni interne, ma nonostante ciò è stato ampiamente utilizzato anche in esterno. A causa delle condizioni variabili all'aperto, l'indice PMV non dovrebbe perciò essere utilizzato nella sua forma originale per valutare degli aspetti di comfort¹³³.

Riassumendo le precedenti considerazioni, si ritiene che anche in questa fase più dettagliata di definizione del progetto, l'indice UTCI si presenti come la scala di valutazione più adeguata per esprimere il comfort del caso, in quanto dipende solo parzialmente dal contesto (è universale), lo esprime utilizzando modelli di bilancio termico sviluppati recentemente¹³⁴, ed infine è disponibile un componente di calcolo pronto all'uso all'interno della suite di Ladybug Tools.

Di conseguenza, tramite il **calcolo delle condizioni di comfort esterno** definite dall'indice UTCI garantito dal padiglione nel periodo da Aprile - Ottobre, si ottiene il primo parametro numerico che governa il form finding del padiglione, che premia le morfologie che garantiscono adeguati livelli di comfort, e penalizza quelle che si discostano dal range 9-26°C.

Per poter definire ulteriori parametri ambientali, è necessario analizzare più approfonditamente il microclima di Cascina Roccafranca, in modo da individuare le strategie progettuali più appropriate per la tipologia di clima. Infatti, un **analisi microclimatica annua fornisce un quadro generale della relazione tra le condizioni di comfort ed elementi climatici** come radiazione, direzione del vento, umidità, che incidono in maniera diversa nei vari periodi dell'anno¹³⁵. Una volta ottenuti i dati annui infatti è possibile stabilire per ogni istante temporale, tramite l'ausilio del "Climatic Chart" di V. Olgyay, su quale elemento climatico è necessario agire per avvicinarsi alle condizioni di comfort. Anche se esistono altre strategie grafiche che indicano come raggiungere i livelli di comfort, come il Givoni Bioclimatic Chart (1981), Outdoor Work Heat Index, PMV, ecc, data la flessibilità d'uso del metodo di Olgyay basata principalmente su metodi passivi, oltre che l'esistenza dello script per calcolarlo all'interno di Ladybug, si ritiene che quest'ultimo metodo possa essere coerentemente impiegato nella definizione dei parametri e strategie ambientali che indicheranno sul form finding. Importante notare che in questa istanza il Climatic Chart non individuerà un range di temperature considerate confortevoli - in quanto già assunte dall'UTCI - ma semplicemente una **serie di strategie passive da adottare** nella ricerca formale del form finding.

Per poter compilare il grafico, sono necessari soltanto **due elementi climatici**, la temperatura di bulbo secco - in ascissa - e la umidità relativa - in ordinata - per il periodo di analisi. Il funzionamento e la lettura del grafico sono esplicitati nella figura 57. Questi dati sono contenuti all'interno dei file .epw di base, che però è stato aggiustato nella fase precedente per tenere conto dell'effetto dell'isola di calore che si forma nel contesto cittadino. Dato che il climatic chart ha l'obiettivo principale di fornire delle indicazioni progettuali per delle posizioni precise nello spazio, è stato necessario riferire la temperatura a bulbo secco e l'umidità relativa al **punto centrale dell'area di progetto**, individuata nella Fig 59.

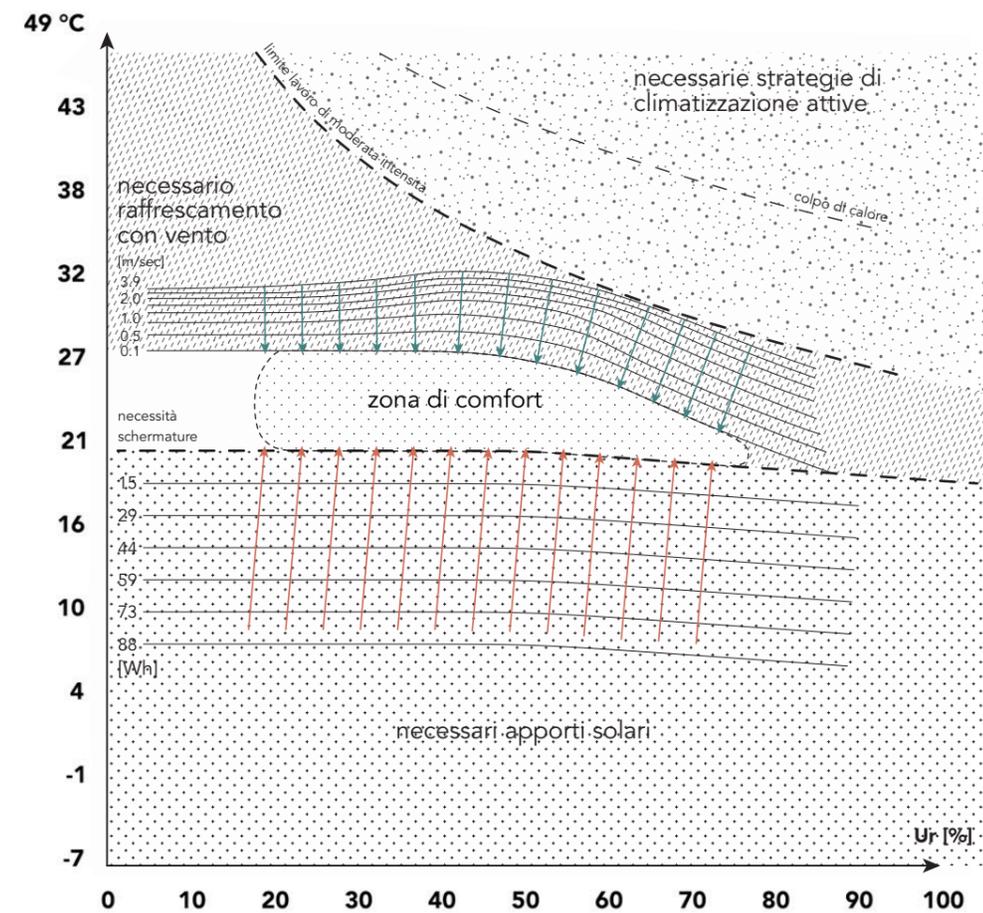


Fig 57: Funzionamento e strategie del Climatic Chart. Propria elaborazione, basata sul Climatic Chart di V. Olgyay

Va inoltre precisato che i dati contenuti all'interno del file .epw sono **statisticamente mediati** tra gli anni 2012-2018 e che quindi le tendenze climatiche rilevate nelle successive analisi corrispondono alle condizioni climatiche medie, e non ad un evento singolare che può essersi verificato in un anno particolarmente caldo o freddo. In quanto si è stabilito che un manufatto del genere non dovrà essere usato nei mesi invernali, la presente analisi categorizzerà esclusivamente i dati climatici per 2575 ore annue, nei mesi **da Aprile fino a Ottobre**, dalle **8:00 fino alle 20:00**. Una volta stabilita la posizione di ogni punto sul grafico delle 2575 ore del periodo, è possibile individuare una serie di zone che indicano la strategia progettuale attuabile per i problemi rilevati. Di seguito (Fig 58) sono riportati i dati che caratterizzano il microclima di Cascina Roccafranca, in cui **ciascun punto del diagramma rappresenta una determinata condizione climatica** per una determinata ora del periodo considerato, riferita per il punto centrale dell'area di progetto.

Successivamente, i dati sul comfort sono stati categorizzati seguendo una legenda di colore che rappresenta le condizioni a partire da quelle meno confortevoli - in blu scuro e rosso, rispettivamente per il freddo e il caldo - fino alle condizioni migliori.

Un'ulteriore precisazione va fatta sugli aspetti considerati all'interno del grafico: nonostante Olgyay proponga 4 strategie per fare rientrare le condizioni ambientali presso la zona di comfort - raffreddamento con l'utilizzo di venti o macchine termiche, saturazione dell'aria con vapore, protezione dai raggi solari tramite schermature in estate, e infine sfruttamento degli apporti solari gratuiti in inverno - trattandosi di un padiglione per esterni senza impianti meccanici di natura idraulica e termica, non è possibile attuare la strada della saturazione dell'aria, che è stata omessa dal grafico volontariamente.

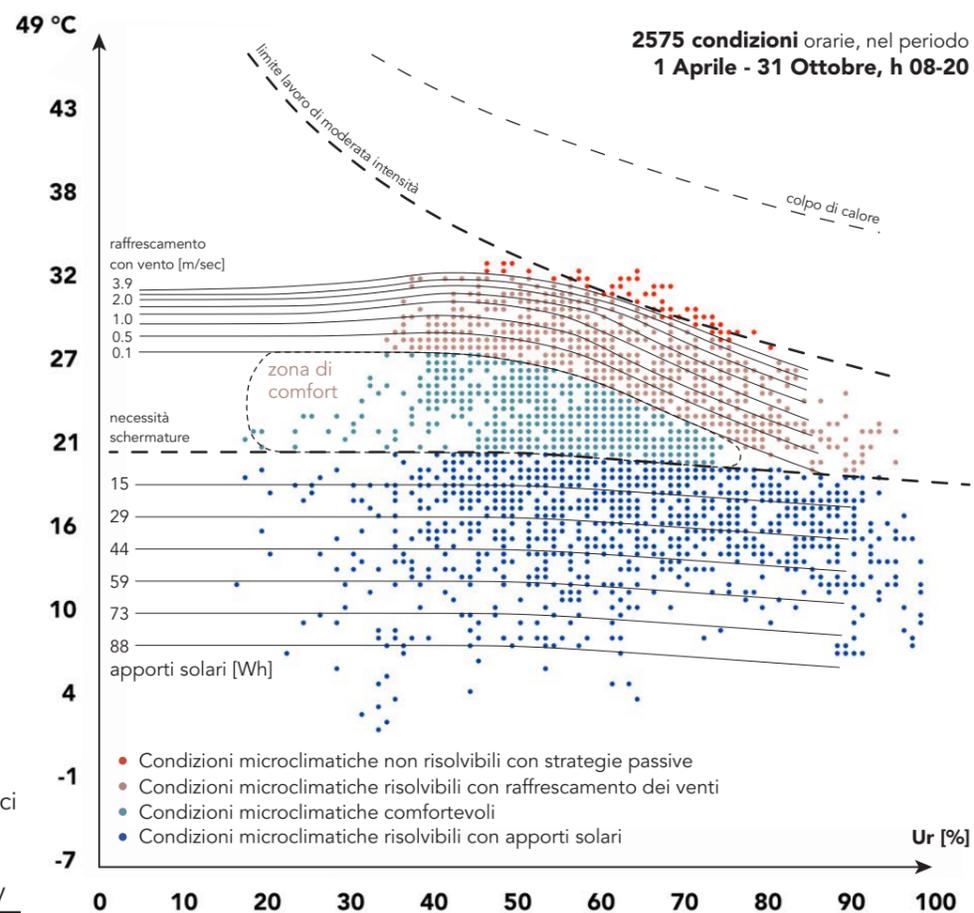


Fig 58: Rilevamento sul Climatic Chart dei dati climatici di Cascina Roccafranca. Propria elaborazione, basata sul Climatic Chart di V. Olgyay

Come si può osservare dai dati collocati, il clima di Torino nel periodo rilevato presenta delle **condizioni climatiche varie**, sufficientemente calde in estate tali da provocare un rilevante stress termico, ma al contempo abbastanza severe nei mesi più freddi, com'è evidente dalla dispersiva distribuzione dei punti. Va sottolineato che in ciascun istante temporale gli elementi climatici sono combinati, ed è quindi difficile stabilire la loro importanza relativa all'interno degli scambi termici, ma comunque possibile, analizzando numericamente le varie condizioni che si presentano all'interno del range temporale:

- soltanto il **25%** di esse ricade all'interno della zona di comfort che non necessita di azioni correttive;
- il **42%** di essi richiede un apporto solare gratuito nei periodi freddi, la cui quantità varia in funzione della temperatura. Ad esempio, se la temperatura è prossima a 10°C, è necessaria una radiazione solare al suolo pari a 73 Wh, mentre se è prossima ai 15°C è sufficiente una radiazione di 45 WH per spostare le condizioni nella zona di comfort. Se le quantità radiative richieste non vengono raggiunte, ad esempio a causa del cielo coperto, non è possibile fare operare la struttura solo con mezzi passivi. In ogni caso, la verifica di queste condizioni avverrà tramite un'analisi dell'irraggiamento riportata più avanti;
- il **28%** delle condizioni ricade all'interno dell'area che necessita di essere raffrescata tramite venti, a condizione che essi siano presenti, ma non sopra una soglia limite di 3.9 m/s per le attività assimilabili all'uso del padiglione, stabilita dalla scala dall'ASCE¹³⁶. Anche queste condizioni verranno verificate in dettaglio successivamente;
- Infine, il **5%** dei punti si trova sopra la soglia delle condizioni ambientali critiche, che difficilmente potrà essere riportata al comfort esclusivamente con mezzi passivi di raffrescamento;

Di conseguenza si può affermare che i principali parametri climatici che governano il comfort termico delle persone, e che quindi è necessario controllare in fase di form finding, siano legati al percorso solare e al suo irraggiamento, oltre che alle correnti d'aria. A tal proposito è già possibile delineare una strategia generale che ha l'obiettivo di **massimizzare i contributi solari nei periodi freddi**, e la **massimizzazione alla permeabilità dei venti in estate**, al contempo cercando di limitare questi aspetti nei periodi opposti.

Inoltre, come si è accennato all'inizio del presente capitolo, anche gli aspetti legati ad una corretta progettazione della luce naturale possono influire in maniera massiccia sulla percezione del comfort. Anche la luce naturale infatti, dipende fortemente dalla posizione del contesto, dalle sue condizioni climatiche, in particolare dalle condizioni del cielo e dalla sua torbidità. Basti pensare come cambino da una località all'altra le condizioni di illuminamento: Se a Roma, Atene, Madrid è molto più semplice raggiungere la soglia minima di illuminamento, a causa della minore quantità di giorni nuvolosi e di torbidità, in luoghi come Londra o Copenaghen lo stesso valore è raggiunto a stento a causa delle condizioni climatiche più avverse¹³⁷. Al contempo, anche se si raggiungono i valori minimi di illuminamento per gli spazi da progettare, questo non significa che si è garantito il comfort visivo, in quanto è necessario verificare che l'ambiente non presenti **fenomeni di bagliore**, che rappresentano il problema illuminotecnico più rilevante nel progettare padiglioni esterni. Nonostante anche questo aspetto dipenda direttamente dal sole, esso non verrà considerato tra i parametri generativi della morfologia, ma semplicemente come fattore di verifica una volta definita l'intera geometria del padiglione.

Analisi Caratteristiche Climatiche e Scelta Parametri per Torino

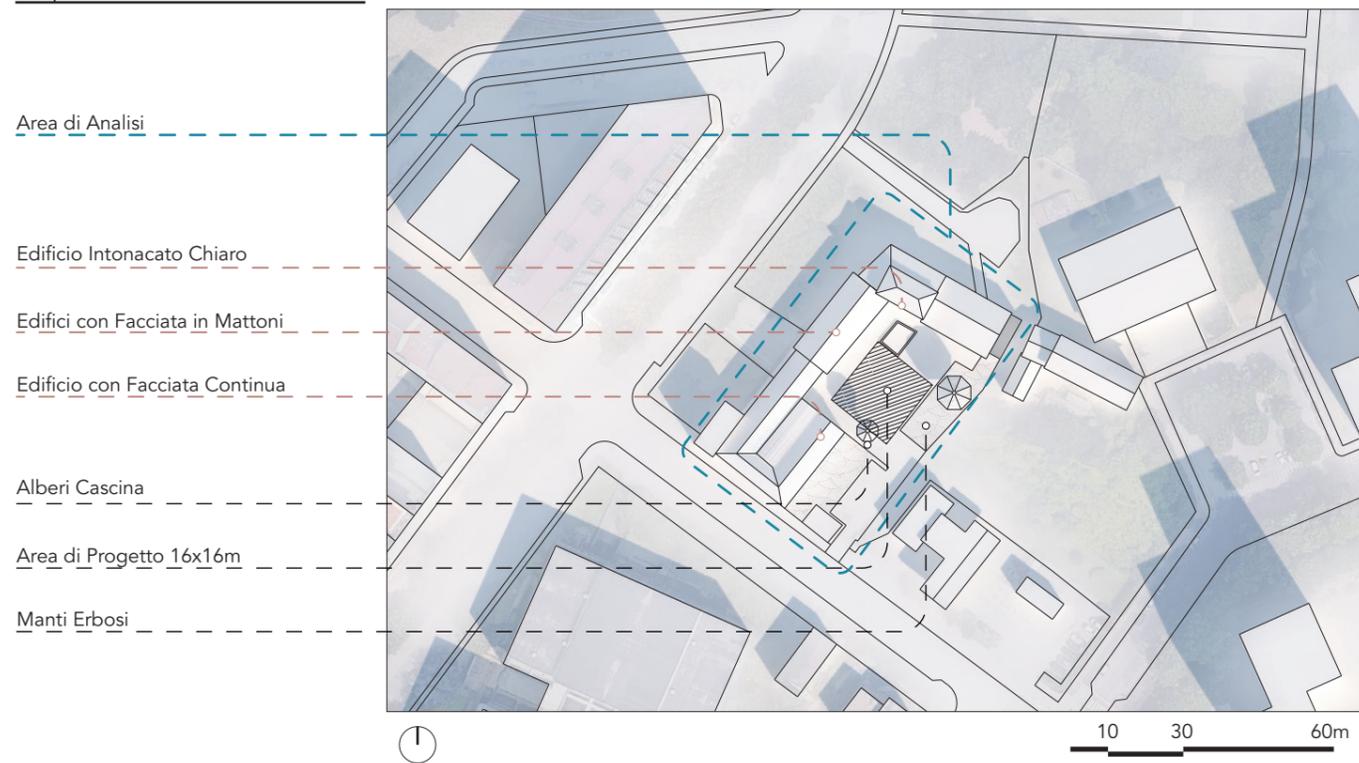
4.2

Prima di passare ad analizzare in dettaglio gli effetti della radiazione e dei venti nel contesto di Cascina Roccafranca, si ritiene necessario introdurre preliminarmente i caratteri urbani del contesto. Come si è già potuto osservare nella Fig 35, ci troviamo nella parte Sud-Ovest di Torino, in una zona periferica dotata di una buona quantità di verde e vegetazione schermante, e un basso utilizzo del suolo. Allo stesso momento la qualità edilizia dei dintorni è caratterizzata da edifici popolari di altezza fino a 11 piani fuori terra, costruiti negli anni dell'espansione economica del dopoguerra.

Per quello che riguarda il **microcontesto** (Fig 59), l'area in cui si svolgono le attività esterne in cui si è supposto di posizionare in manufatto da progettare, è un cortile semiprivato che è circondato su 2 lati dall'edificio stesso della cascina - a Nord ed Ovest - mentre sui fronti Sud e Est la vista non risulta ostruita da costruzioni. Lo spazio svolge inoltre funzione parziale di dehor esterno per l'adiacente ristorante, e di conseguenza l'area libera su cui verrà collocato il padiglione non coincide con l'intera superficie del cortile. Lo stabile è stato ristrutturato di recente, mostra una facciata di mattoni a vista e intonaco sul lato Sud, e a Nord-Ovest una facciata continua di acciaio e vetro, materiali che potrebbero provocare discomfort termico e abbagliamento. Trattandosi di un ambiente periferico, vi è maggiore presenza di alberi e

vegetazione al suolo, che contribuiscono a migliorare sensibilmente gli aspetti climatici rispetto al pieno centro cittadino. In particolare presso il cortile sono presenti 2 alberi caducifoglie di circa 10-11 metri di altezza, di cui uno è posizionato su un parterre erboso di circa 250m², mentre il secondo direttamente integrato nella pavimentazione principale del cortile, costituita mattonelle di porfido lungo il perimetro del cortile e da piastrelle di pietra di luserna nella restante parte.

Fig 59: Planimetria generale degli elementi esterni di Cascina Roccafranca. Propria elaborazione



Avendo a questo punto compreso che la maggior parte dei contributi al microclima è legata agli aspetti radiativi del sole e ai contributi derivati dalla direzione e intensità del vento, si può ricondurre entrambi gli aspetti ad un corretto orientamento del padiglione, al posizionamento delle aperture e ingressi, oltre che una definizione di una morfologia che incida in maniera positiva sulle condizioni microclimatiche di esso.

A tal proposito è necessario uno studio approfondito della radiazione solare e dei venti prevalenti, in modo da esplicitare i parametri da assumere all'interno dell'algoritmo di form finding ambientale. Un corretto orientamento inoltre, permette di affrontare una serie di problemi legati alla topografia locale, agli aspetti visivi e infine alla percezione del rumore¹³⁸, che non verranno esplicitati all'interno dell'algoritmo, ma verranno considerati nella fase più "manuale" della progettazione.

Anche se si è deciso di intraprendere la strada dell'ottimizzazione della forma tramite i parametri ambientali, è fondamentale ricordare in questa fase che il manufatto voluto deve avere una spiccata caratteristica legata alla mobilità, garantita dall'impiego dei moduli discreti. Nonostante essi potrebbero anche essere montati una tantum, e non cambiare mai più configurazione spaziale, il loro impiego garantisce la possibilità di essere montati e smontati più volte l'anno, supponendo che ci sia la necessità e la forza lavoro a disposizione. Di conseguenza, si suppone che il padiglione abbia **almeno due configurazioni, una estiva e l'altra invernale**, che ovviamente necessitano di condizioni climatiche differenti, che verranno considerate all'interno del form finding. A tal proposito la fase successiva ha l'obiettivo di presentare separatamente le configurazioni migliori per il periodo invernale ed estivo.

Esattamente come le stagioni sono differenziate dall'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al sole, l'**orientamento in pianta** di un manufatto edilizio è influenzato dalla quantità di radiazione solare che incide sui diversi fronti in sprazzi temporale differenti. Ad esempio, in una località situata a 45° di latitudine come Torino, nel periodo invernale una facciata orientata a Sud riceve una quantità di sole fino a 3 volte maggiore rispetto alle controparti orientate ad Est e Ovest. Al contempo, nello stesso edificio in periodo estivo, le facciate di ponente e levante assorbono una quantità di energia solare di gran lunga maggiore rispetto a quella meridionale. È importante notare che questa tendenza è tanto più accentuata quanto più ci si sposta verso l'equatore, dove la definizione dell'orientamento può fare la differenza tra il comfort e lo stress termico, com'è evidente dalle costruzioni tradizionali degli indiani Pueblo, degli Egizi, dei Trogloditi, e delle civiltà classiche (Fig 60).



Fig 60: Strategie di orientamento degli insediamenti della popolazioni antiche. Da sinistra, Villaggio Pueblo di Acoma, le Piramidi di Giza, Costruzioni Ipogee dei Trogloditi, il Cardo e Decumano di Torino, non doveva discostarsi più di 30° rispetto al meridiano. Fonte: Google Earth

In quanto il primo parametro che governerà il form finding è legato agli **aspetti radiativi**, è utile comprendere le quantità radiative nei periodi caldi (Maggio-Settembre, denominate T_o) e nei periodi più freddi (Aprile, Ottobre, chiamate T_f) in modo da definire il comportamento della struttura rispetto agli elementi ambientali.

Di seguito (Fig 61) vengono presentate le due sfere celesti - una per ciascun periodo di analisi-, sulle quali viene visualizzata tramite il software Ladybug, la quantità di **radiazione solare** espressa in kWh/m². Va notato che questi valori sono riferiti rispetto all'energia totale emessa dalla sfera celeste, che quindi considera in modo unitario i contributi dell'energia diretta e diffusa. Al contempo, trattandosi appunto di quantità energetiche che entrano a contatto con la superficie atmosferica, ma che non la attraversano, esse non sono rappresentative del calore percepito al suolo, in quanto i raggi solari vengono costantemente

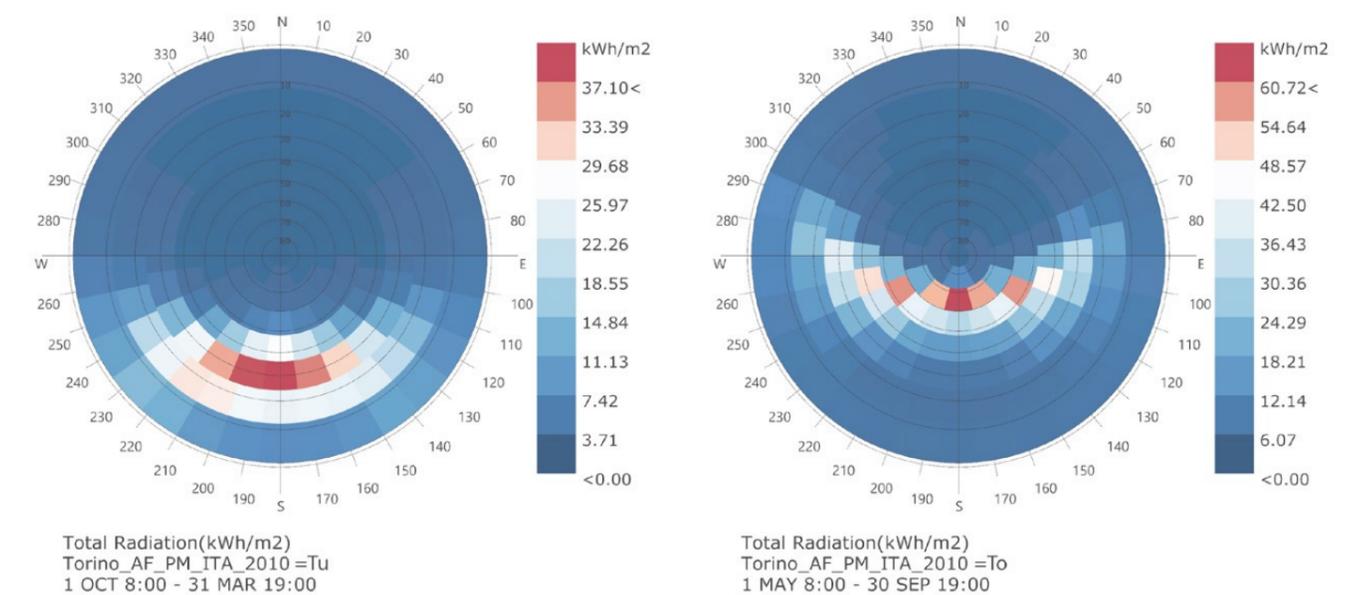
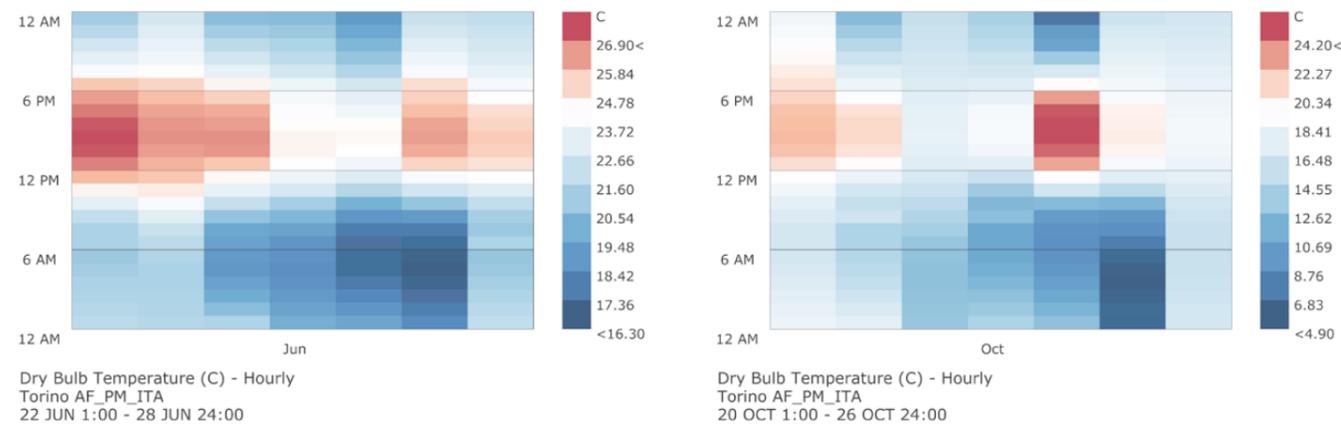


Fig 61: Cupole radiative del periodo di analisi, divise nel periodo caldo (T_o) e quello freddo (T_f). Propria Elaborazione

"filtrati" dalle particelle sospese in atmosfera, con una relativa dispersione di energia influenzata dalle condizioni climatiche. A tal proposito Malone e Friedman, già nel 1952 avevano stabilito che in un caso studio a New York, la quantità di energia ricevuta da una facciata esposta a Sud era pari al 75% di quella ricevuta direttamente dal pelo dell'atmosfera durante una giornata limpida, mentre era pari solo al 7% e 18%, nel caso di giornate coperte e parzialmente coperte, rispettivamente¹³⁹. Questa analisi dimostra graficamente l'incidenza della variazione dell'angolo zenitale sulla radiazione, visibile anche nel percorso solare annuo. Inoltre, osservando le due cupole si può notare che nonostante la radiazione sia quasi uniformemente distribuita, vi è una leggera tendenza a valori maggiori nel periodo pomeridiano, che si traducono in **temperature pomeridiane più alte** rispetto al mattino, come confermato dall'analisi delle temperature a bulbo secco ricorrenti nelle le settimane caratteristiche dei periodi considerati (Fig 62).

Fig 62: Distribuzione oraria delle temperature dell'aria per la tipica settimana di ogni stagione.
Propria Elaborazione



Di conseguenza, al fine di favorire una temperatura più costante del microclima nei pressi del padiglione lungo l'arco della giornata, si preferisce optare per una **morfologia che permetta il passaggio del sole lungo tutta la giornata nella stagione fredda**. In estate invece, si cercherà la tendenza opposta, fatta eccezione per le prime ore del mattino, che come è stato evidenziato dall'analisi delle temperature a bulbo secco, possono essere considerate fresche e che quindi necessitano di un leggerissimo apporto solare per incrementare la percezione del comfort. Sempre in riferimento all'analisi delle temperature si assume quindi come raggi solari utili quelli appartenenti dalle ore dell'alba fino alle 10.

Tali requisiti necessari sono ricorrenti nella maggior parte delle condizioni climatiche del pianeta, ed è quindi di particolare interesse nello sviluppo del metodo. Allo stesso tempo, finché vengono progettati spazi esterni che forniscono contemporaneamente condizioni di sole e ombra, per funzioni di breve durata, il problema del comfort non è primario, in quanto le persone hanno capacità di spostarsi da un luogo all'altro¹⁴⁰. Nel caso la destinazione d'uso preveda un utilizzo spaziale continuativo, come nel caso di Cascina Roccafranca, che ospita attività in cui è necessaria la presenza statica in un luogo come una sala conferenze, non è sufficiente offrire uno spazio d'ombra qualsiasi, ma uno ben progettato in base ai requisiti funzionali e di comfort ed è per questo motivo che si è deciso di intraprendere fin dalla fase schematica l'implementazione del metodo di form finding ambientale.

Purtroppo, **non esistono metodi di progettazione ambientale di pensiline su cui la comunità scientifica sia unanime**. Già Olgyay aveva presentato una soluzione ad un problema simile, relativo alla

ottimizzazione delle forme dei brise soleil - basandosi sugli angoli zenitali in periodi di interesse, per "tagliare" porzioni di un rettangolo schermante di base¹⁴¹. Anche se tutt'ora il metodo è valido, sarebbe impensabile attuarlo a causa degli avanzamenti nei modelli digitali che sono in grado di approssimare precisamente il comportamento effettivo dei manufatti edilizi.

Uno dei metodi recenti più interessanti per la progettazione delle pergole è il **ComfortCover**¹⁴² sviluppato da Mackey et Al, basato sul metodo SHADERADE, che sfruttando i **vettori solari** dei periodi di interesse, definisce la desiderabilità o danno di parti della schermatura iniziale, esprimendola secondo i "degree-days", ossia la temperatura UTCI equivalente che un'ipotetica schermatura è in grado di migliorare o peggiorare. Questo metodo può essere applicato sia bidimensionalmente, ad esempio per stabilire la dimensione ottimale di un oggetto schermante esterno, oppure in ambiente tridimensionale, dove vengono calcolate le intersezioni dei vettori solari con le mesh della geometria di test. Successivamente, per ogni punto di intersezione è calcolata la frazione di energia solare trasmessa che è utile al bilancio energetico degli occupanti (Fig 63), che definisce l'utilità della schermatura - in blu - o il suo danno - in rosso.

Sebbene, questo sia un metodo riconosciuto con delle solide basi metodologiche basato su numerose ricerche precedenti^{143 144}, la sua applicazione rimane **subordinata all'impiego di modelli di bilancio termico** che impiegano una quantità di tempo troppo grande per produrre un risultato che sia immediatamente visualizzato da un algoritmo di form finding, il cui vantaggio principale è appunto la sua velocità di risposta rispetto alle condizioni poste.

Una soluzione a questo ostacolo è il metodo proposto da Gerber et Al nel 2017 all'interno di una ricerca per il form finding e la progettazione di un padiglione utilizzando una **combinazione di Sistemi Multiagente (MAS) e analisi ambientali** con la piattaforma Ladybug. Integrando questi due sistemi è infatti stato possibile generare delle superfici a sola compressione che seguissero dei comportamenti ambientali prestabiliti, come ad esempio la schermatura dei raggi solari pomeridiani. Inoltre, la stessa ricerca si poneva l'obiettivo di popolare la geometria con una serie di moduli particolari - detti nexor - che una volta assemblati tra loro hanno la caratteristica di poter assumere una grande varietà di configurazioni, oltre che una stabilità strutturale garantita dall'incastro di essi¹⁴⁵, perseguendo di fatto lo stesso obiettivo e procedimento assunto all'interno della presente tesi.

In quanto i MAS sono per definizione composte da numerose particelle che interagiscono tra di loro grazie ad una serie di vincoli prestabiliti, che forniscono regole da mantenere come una distanza fissa tra le particelle, verifica di collisione, movimenti spaziali impressi, eccetera, esse si prestano perfettamente all'imposizione dei movimenti da parte dei vettori solari. Nel caso studio presentato nel trattato di Gerber, in prima battuta la superficie di base è sottoposta al form finding strutturale, che poi successivamente viene modificata dai vettori solari relativi al periodo di interesse, che spostano alcune delle particelle della copertura parallelamente alla propria direzione, ottimizzando la struttura. In seguito, il piano utile sottostante la struttura modificata viene sottoposto ad una verifica dell'irraggiamento in modo da ottenere i requisiti ambientali necessari¹⁴⁶. Va infine detto che nonostante la maturità presente nei workflow MAS, vi sono pochissimi esempi di un approccio che unisce il generative design con un approccio prettamente numerico, caratteristico

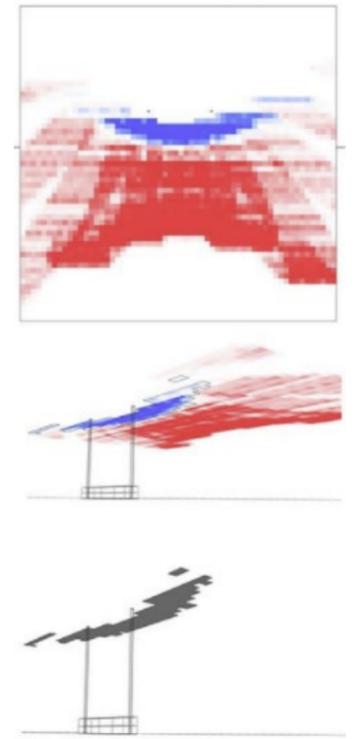
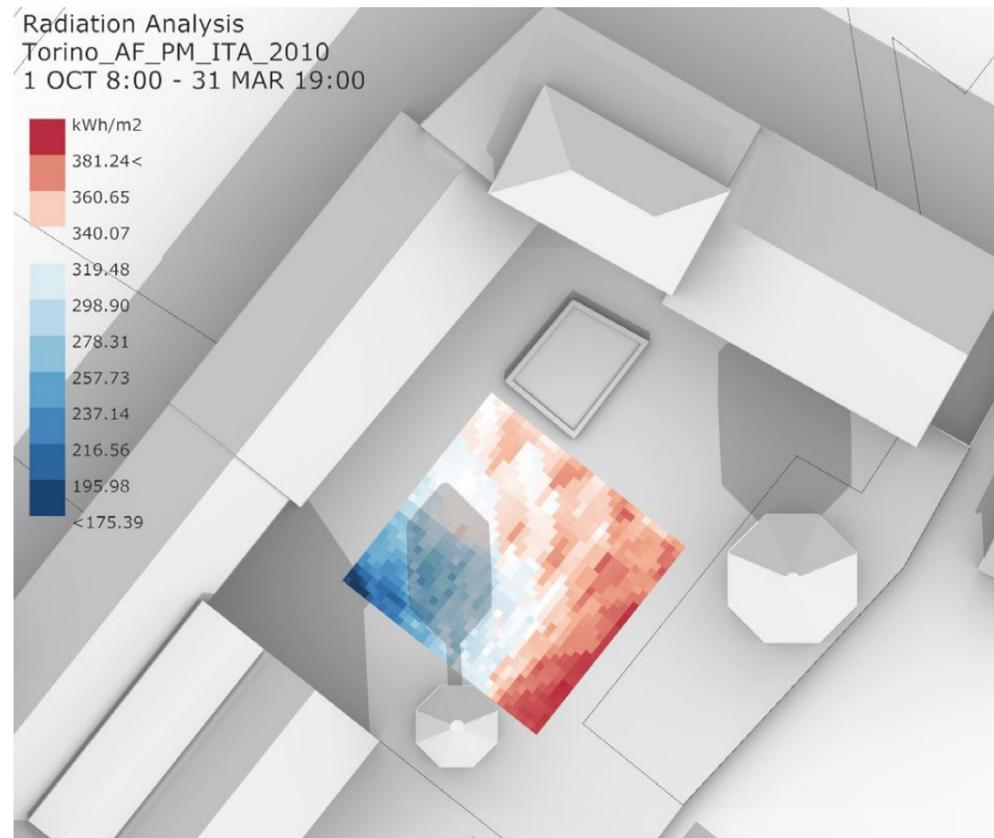
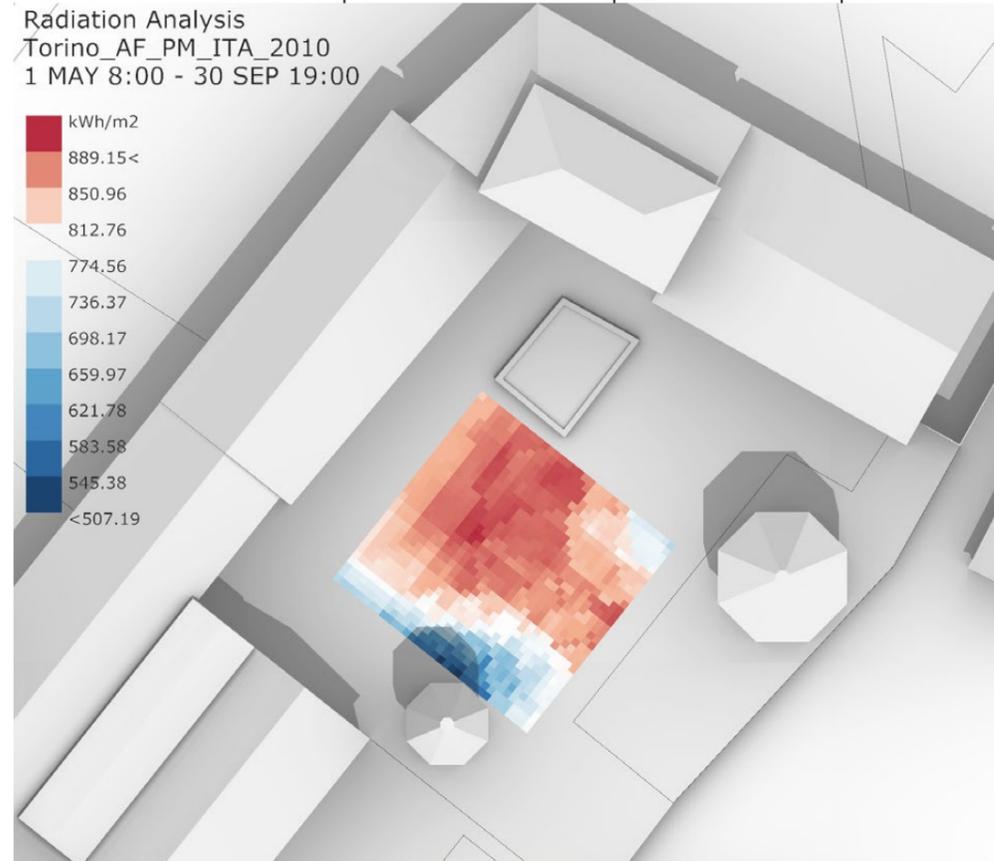


Fig 63: Esempio di applicazione del metodo ComfortCover su una pensilina di una fermata dell'autobus.
Fonte: Christopher Mackey.

delle analisi fisico-tecniche e ancora meno applicazioni scientifiche che includono ulteriormente una modularizzazione e discretizzazione delle geometrie locali¹⁴⁷.

Riprendendo gli aspetti puramente climatici, al fine di definire l'impronta in pianta è necessario definire le **caratteristiche radiative al suolo**, considerando il contesto circostante. Tramite una semplice analisi della radiazione è infatti possibile scartare la porzione della superficie



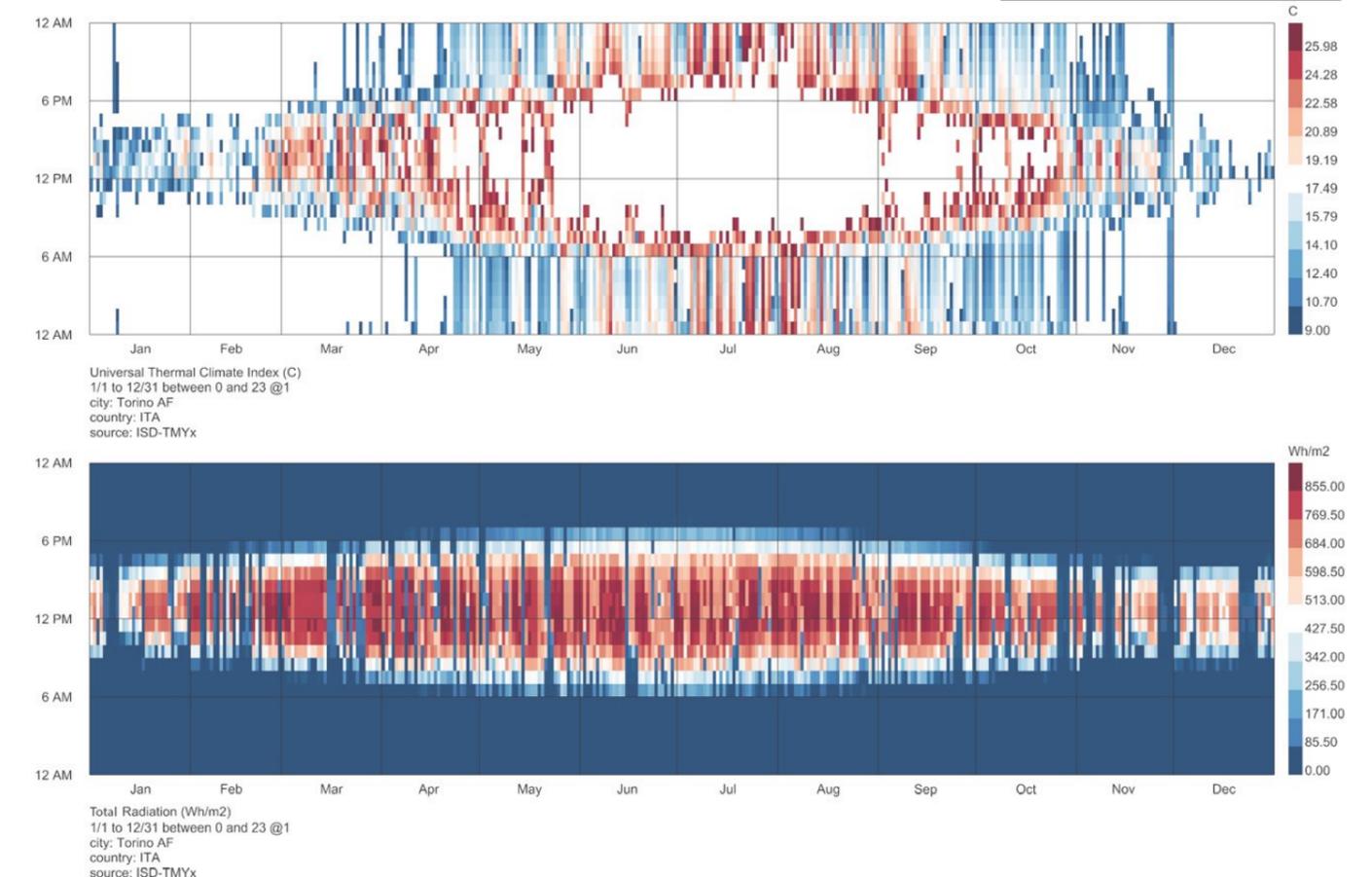
di progetto che non è necessario schermare, in quanto parti di essa potrebbero già essere protette dal sole, da parte di ostruzioni come edifici o alberi. Nella Figura 64 vengono presentati risultati dell'analisi della radiazione incidente media sull'area di progetto, per il periodo estivo e quello più freddo, relativa all'arco della giornata dalle ore 8 alle ore 20, espressi in kWh/m².

Le dimensioni dell'area di progetto sono state definite in modo tale da sfruttare al massimo la disponibilità spaziale del cortile, al contempo permettere un agevole passaggio a persone e personale del complesso all'esterno del padiglione: l'area di progetto di partenza ha quindi una **superficie di 280 m², con lato di 16 metri**.

Nonostante si sia deciso di studiare e proporre una configurazione per ogni periodo climatico, che influirà sullo sviluppo in alzata del padiglione, vi è necessità che l'**impronta degli attacchi al suolo sia costante** in tutte le fasi, in quanto è particolarmente complicato sviluppare un sistema basamentale riconfigurabile, oltre che dispendioso da un punto di vista economico in un'ottica di produzione. Di conseguenza, vi è necessità che la morfologia dell'impronta sia sufficientemente ottimizzata per la durata dei periodi di analisi.

Come si può osservare dalle analisi di Fig 64, l'effetto massimo della radiazione solare si concentra nelle parti centrali e a levante del perimetro, e che valori di radiazione minore si hanno in vicinanza degli alberi e della facciata degli edifici. Suddividendo la superficie rettangolare in 1088 celle, è possibile quindi **eliminare le sub-superfici che presentano valori di radiazione incidente bassi**, scartando di fatto le aree che durante le mezze stagioni non godono di rilevanti apporti solari gratuiti, e in estate non sono sufficientemente riscaldate al fine di provocare stress da calore, come suggerito dalle linee guida del climatic chart di V. Olgyay.

Fig 65: Analisi combinata della radiazione solare totale proveniente dalla sfera celeste (in alto) e delle temperature UTCI considerate confortevoli per ambienti esterni. Propria Elaborazione.



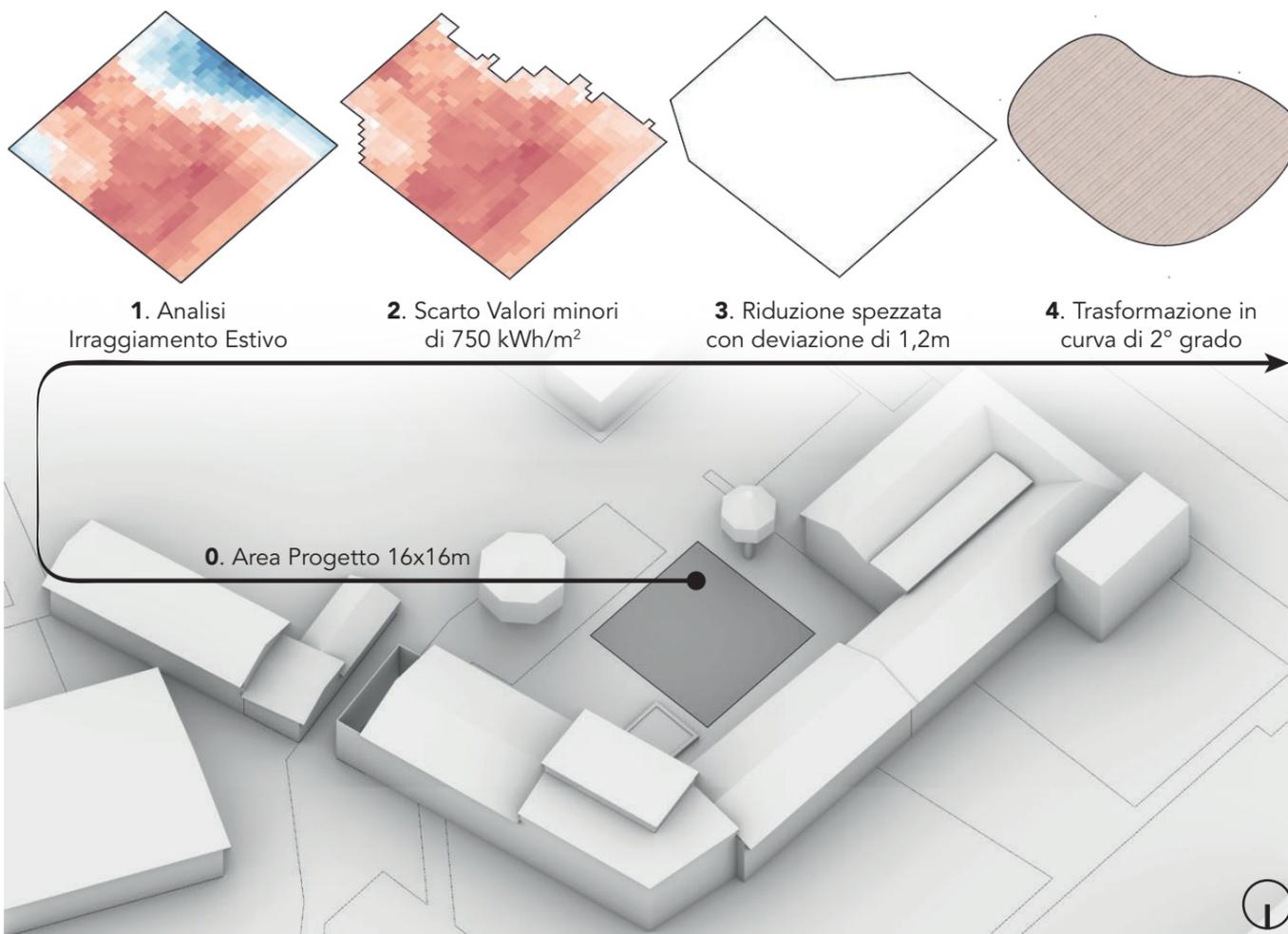
Tale valore di scarto è assunto pari 750 kWh/m^2 , cioè il valore medio al di sopra del quale non si verificano mai condizioni di comfort nel periodo estivo. Questo valore è stato ricavato intersecando i valori radiativi totali della sfera celeste per l'intero anno, con la verifica del comfort termico secondo l'indice UTCI per lo stesso periodo (Fig 65). All'interno del grafico delle temperature UTCI sono stati omessi i valori esterni al range di comfort $9\text{-}26^\circ\text{C}$ per rendere più evidente tale relazione.

Procedendo quindi con lo scarto, si assume come mesh di base il risultato prodotto dall'analisi di **irraggiamento nel periodo estivo**, in quanto è di primaria importanza definire le aree da schermare piuttosto che le aree da irradiare nel periodo freddo, dato che queste ultime possono essere facilmente ricavate tramite delle aperture all'interno della copertura, oppure semplicemente implementando una serie di moduli con una maggiore porosità. Va anche ricordato, che essendo il procedimento interamente parametrico, i valori di scarto possono essere rivisti e modificati, rendendo possibile l'applicazione del procedimento anche in altri ambiti.

La mesh del pavimento ricavata dall'operazione, benchè sia ottimizzata per ricevere e schermare gli apporti di interesse, risulta essere molto sfaccettata e di difficile trasposizione in un progetto basato su forme libere, ed è pertanto **necessario ridurla** e manipolarla al fine di ottenere una geometria più suggestiva (Fig 66).

Estrapolando la polilinea perimetrale è possibile ottenere i relativi punti di controllo della griglia esterna, che vengono ridotti in numero in modo che la nuova polilinea non superi una deviazione di 1.2 metri rispetto al perimetro dell'originale. Il risultato è una polilinea di 1° grado con 7

Fig 66: Visualizzazione grafica del processo matematico della riduzione della mesh di base. Propria Elaborazione.



punti di controllo. Il passo successivo consiste nel ricostruire la spezzata di primo grado in una curva free-form di grado maggiore di uno, in modo che la mesh di partenza si approssimata da una curva e non da una polilinea. Nel progetto si è deciso di usare una curva di secondo grado, per evitare di ammorbidire eccessivamente la geometria. Una volta ridotta la curva basamentale si è in grado di ritrasformarla in una mesh, pronta per essere manipolata dai vettori direzionali provenienti dal sole.

Se si procedesse a "gonfiare" la mesh in questa fase, dove l'intera curva perimetrale svolge funzione di ancoraggio - similmente ai vincoli delle catene dei protoparametricisti - il risultato sarebbe simile ad una volta a conca deformata, senza però aperture ne ingressi. Ma trattandosi di un oggetto edilizio è auspicabile che esso abbia almeno degli ingressi, che in questo caso particolare coincidono con le aperture che in edificio tradizionale sarebbero vetrate.

Si suppone a questo punto che vi sia necessità di al massimo 5 ingressi, distribuiti uno per fronte di esposizione cardinale con l'aggiunta di una eventuale seconda apertura sul fronte Nord-Ovest, che affaccia direttamente sugli spazi dei laboratori di Cascina Roccafranca. All'interno del form finding ambientale anche la **definizione delle aperture** deve essere fortemente relazionata agli aspetti climatici.

Infatti l'algoritmo è stato costruito in modo da essere in grado di variare la dimensione e posizione delle aperture, in modo che sia il solver evolutivo a definire quale sia la combinazione migliore tra questi parametri, valutando soluzione per soluzione l'analisi microclimatica che deriva dalla combinazione dei parametri che governano le aperture. Per evitare di generare delle soluzioni che avessero dimensioni delle aperture spropositate, le si è imposto un dominio circoscritto tra 3 e 8 metri. La posizione e la misura dei varchi come si è già detto deve dipendere da una serie di aspetti ambientali, valutati sulla superficie calpestabile ad altezza d'uomo, relativi a:

- Irraggiamento solare**, in particolare alla massimizzazione dei contributi solari in periodo di mezza stagione, e minimizzazione durante il periodo estivo, come già esplicitato dei precedenti paragrafi;
- Analisi dell'**esposizione ai venti**, che è un aspetto già citato nel capitolo precedente analizzato approfonditamente poco sotto;
- Analisi relativa alla **quantità delle ore solari** che riceve la geometria, da massimizzare in ogni periodo al fine di ridurre l'utilizzo della luce artificiale e migliorare il comfort visivo degli occupanti. Anche questo aspetto è spiegato in conclusione a questo capitolo;

Come si è già accennato, il comfort dipende fortemente dai venti, in quanto essi contribuiscono ad alzare o abbassare le temperature degli utenti del padiglione, impedendo o favorendo gli scambi di calore. Anche in questo ambito, le direzioni prevalenti dei venti nelle rispettive stagioni, oltre che le loro frequenze e intensità verranno inclusi all'interno dell'algoritmo del form finding.

A tal proposito vengono di seguito presentate le **rose dei venti** per il periodo To e Tu (Fig 67). La lettura della frequenza della direzione del vento avviene valutando la distanza di ogni spicchio d'arco rispetto al centro della rosa; tanto più una "fetta" è grande e si allontana rispetto al centro, tanto più il vento tenderà a provenire da quella direzione. La rosa dei venti fornisce anche i dati sulle intensità dei venti, rappresentando i

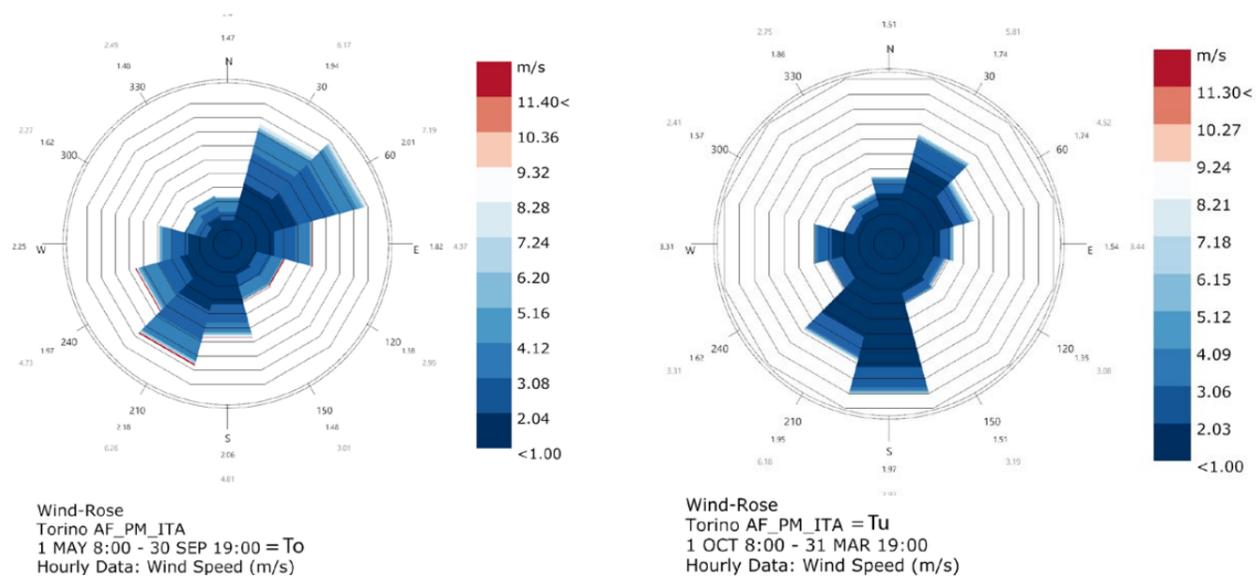


Fig 67: Presentazione della rosa dei Venti basata sui dati di Torino.
Propria Elaborazione.

venti più deboli con colori blu scuro, e quelli forti con un colore tendente al bordò, come si può osservare nella legenda a fianco. Quello che si può rilevare dall'interpretazione delle rose dei venti è che le loro **direzioni prevalenti** nei due periodi considerati sono opposte. In questo caso, d'estate i venti da far entrare nella struttura provengono da Nord-Est, mentre i venti invernali da schermare provengono prevalentemente da Sud. Inoltre, un altro aspetto interessante è che le velocità dei venti sono maggiori in estate, di fatto creando un'ottima opportunità per raffrescare passivamente gli occupanti del padiglione, a condizione che le aperture e i caratteri di porosità siano adeguatamente posizionati.

Prima di esplicitare in che modo queste informazioni sono state implementate parametricamente, è necessario fare una nota a proposito della raccolta dei dati e loro utilizzo in un ambiente urbano o semi urbano. Come si è già detto nei capitoli precedenti, le informazioni climatiche e le conseguenti analisi sono basate sui dati raccolti contenuti all'interno dei file .epw, che vengono costantemente raccolti dalle torri di controllo degli aeroporti per poter gestire efficacemente il traffico aereo. In quanto gli aeroporti necessitano di grandi aree libere, in cui i venti sono liberi di circolare senza particolari ostruzioni, assumere per universalmente buoni i dati provenienti da questi luoghi applicandoli in analisi di dettaglio, equivarrebbe ad un errore. Di conseguenza, questi dati sono affidabili per individuare delle strategie di massima all'interno del processo progettuale, ma non per perseguire un complesso bilancio energetico di un singolo occupante, dove gli effetti del vento dovrebbero essere calcolati a seguito un'**analisi CFD**.

Purtroppo però le analisi CFD, di cui fanno parte milioni di particelle che interagiscono tra di loro e con l'ambiente circostante seguendo una serie di leggi fisiche, sono molto dispendiose da un punto di vista computazionale, e quindi un tale processo risulterebbe difficilmente applicabile in un metodo di form-finding. Comprendendo a questo punto le implicazioni derivate dall'assunzione di dati semplificati, in quanto la fase di generative design fornisce una moltitudine di soluzioni progettuali basandosi su dei dati di input ancora a livello semi dettagliato, si reputa che i dati forniti direttamente dal file .epw siano sufficientemente dettagliati per lo scopo. Si valuterà successivamente se implementare le analisi CFD durante la fase di progettazione dettagliata, per poter eseguire delle modifiche mirate e aggiungere un ulteriore livello di complessità e attendibilità al padiglione.

Al fine di includere i risultati delle analisi sui venti all'interno del form finding, è stato sviluppato un metodo simile a quello assunto nelle ricerche relative al ComfortCover e Shaderade, che hanno lo scopo di valutare l'utilità o il danno dei raggi solari sugli utenti di un ambiente. In quanto sia i venti che le analisi solari hanno a che fare con dei vettori direzionali, nel caso preciso dello studio dei venti è stato sufficiente sostituire i vettori solari con quelli dei venti prevalenti, e calcolare con modalità simile a quella suggerita da Mackey et Al, le **intersezioni dei vettori dei venti con la mesh** ricavata dalle analisi solari.

In quanto l'obiettivo finale di questo blocco di algoritmo è la definizione dell'efficacia di schematura o di permeabilità ai venti della mesh derivata dalle analisi radiative, è stato necessario calcolare la frazione dei vettori che intesecano la struttura rispetto al numero di vettori totali. Si è volutamente considerato fino ad un massimo di 3 vettori direzionali proveniente dalla rosa dei venti, per evitare di considerare dei contributi trascurabili. Questo numero però non è sufficiente al per intersecare ogni cella della struttura esposta alla direzione considerata e di conseguenza, si è proceduto a duplicare i vettori direzionali su un piano perpendicolare alla direzione del vento, in numero tale da intersecare interamente il fronte della struttura, permettendo il calcolo della frazione dei vettori che venivano ostacolati da essa.

A questo punto è stato possibile valutare l'incidenza di questo contributo climatico, operazione che come negli altri aspetti di ottimizzazione è stata eseguita dal solver evolutivo **Octopus**, che ha analizzato soluzioni per i due periodi di riferimento.

In estate, è stato dato un maggiore peso alle frazioni basse, che rappresentano configurazioni in cui vettori non intersecano la struttura in molti punti, rappresentando quindi padiglioni con aperture maggiori che possano permettere il passaggio dei venti e quindi favorire lo scambio termico. In inverno invece, in quanto vi è necessità della tendenza opposta, sono state premiate le frazioni con valori alti, che indicano la presenza di maggiori ostruzioni lungo la direzione dei venti invernali.

L'ultimo aspetto climatico considerato all'interno dell'algoritmo costruito è relativo all'**analisi delle ore di luce solare** che si percepiscono all'interno del padiglione. Sebbene si sia già definito che il risultato prodotto dal form finding non equivarrà al progetto finale, che verrà derivato a seguito dell'apposizione dei moduli discreti che hanno la possibilità di variare localmente le condizioni microclimatiche - anche del passaggio della luce - lo studio e ottimizzazione di questo fattore nella definizione della geometria globale consente di produrre progetti che necessiteranno di meno modifiche in fase dettagliata. Inoltre, in questo modo si ha già una solida base di partenza quantitativa per studiare aspetti più dettagliati all'interno della valutazione finale del prodotto della progettazione.

Anche in questa istanza la valutazione parametrica di questo aspetto avviene con l'ausilio della suite Ladybug Tools, che fornisce il numero delle ore di illuminazione solare diretta ricevute dal piano utile all'interno padiglione, basandosi ancora una volta sui vettori direzionali del sole per i due periodi di interesse. Questa analisi avviene in seguito alla definizione delle aperture da parte delle analisi radiative e dei venti, e quindi ha un valore puramente quantitativo delle condizioni luminose raggiunte con una specifica configurazione. Di conseguenza, la trasposizione verso l'obiettivo da perseguire avviene in maniera lineare per entrambi i periodi, "premiando" valori di ore luce alti, in modo da massimizzare l'entrata della luce naturale lungo l'intero periodo di utilizzo.

Fig 68 (questa pagina):
Schema delle forze agenti sul
form finding.
Propria Elaborazione

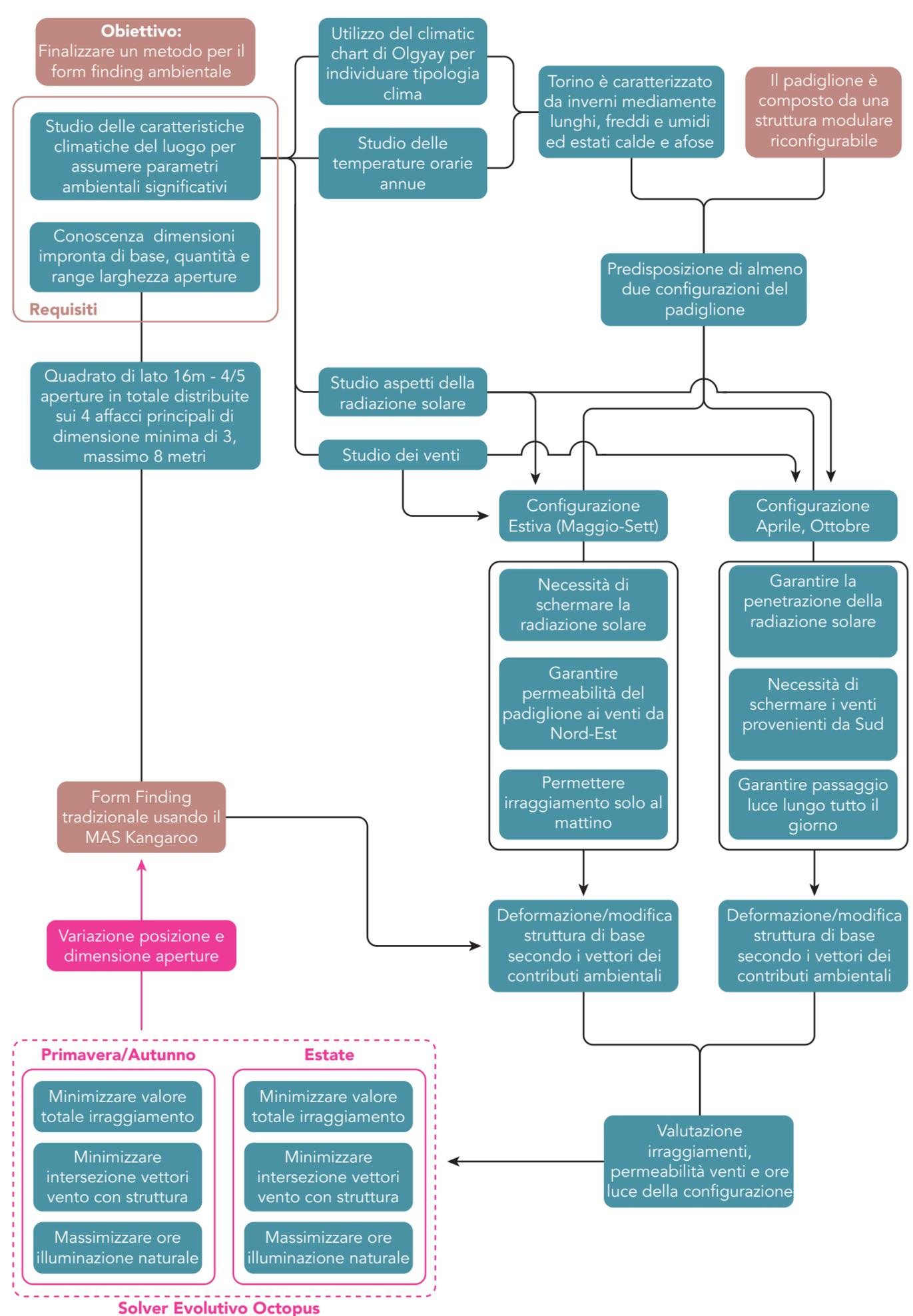
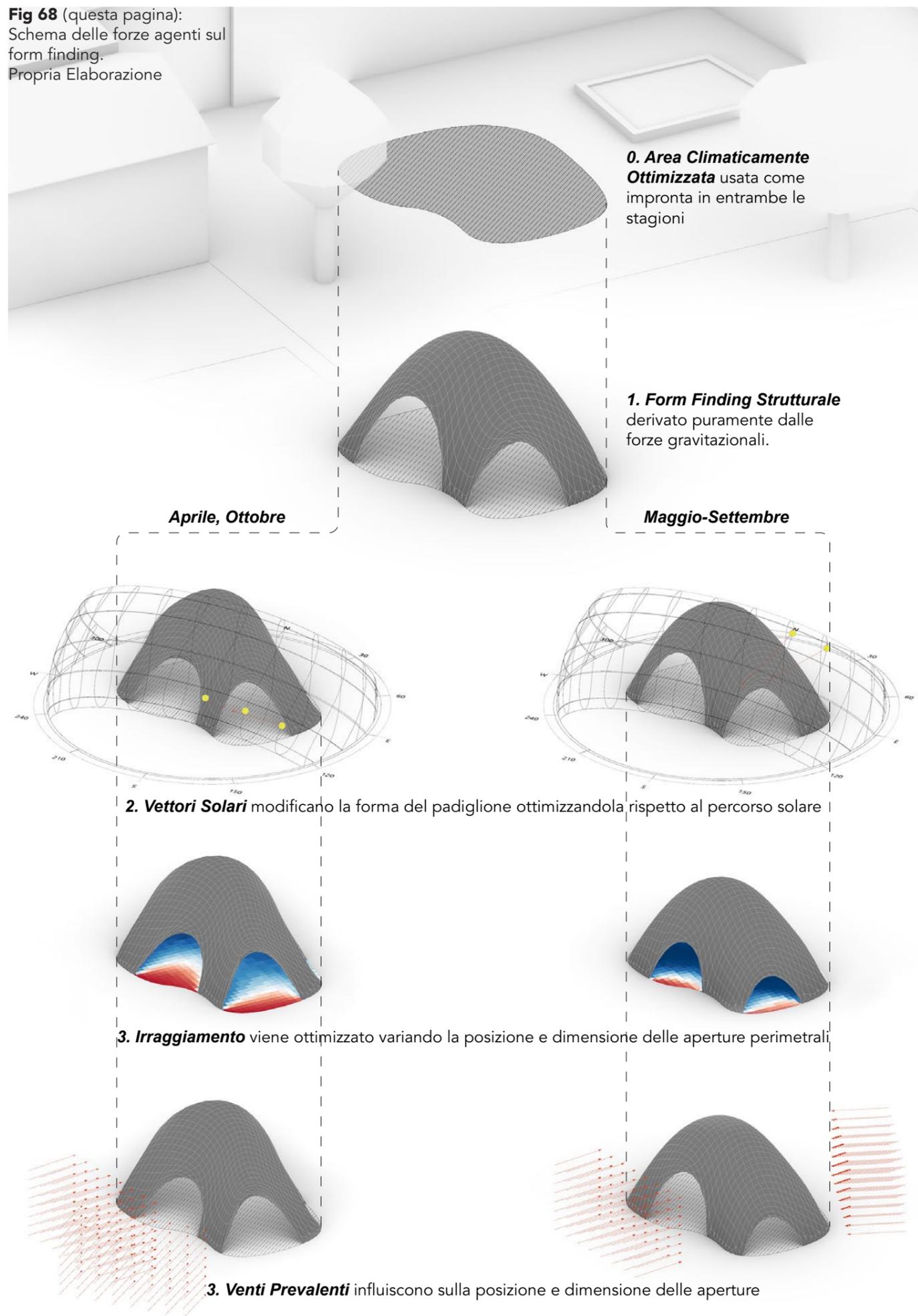
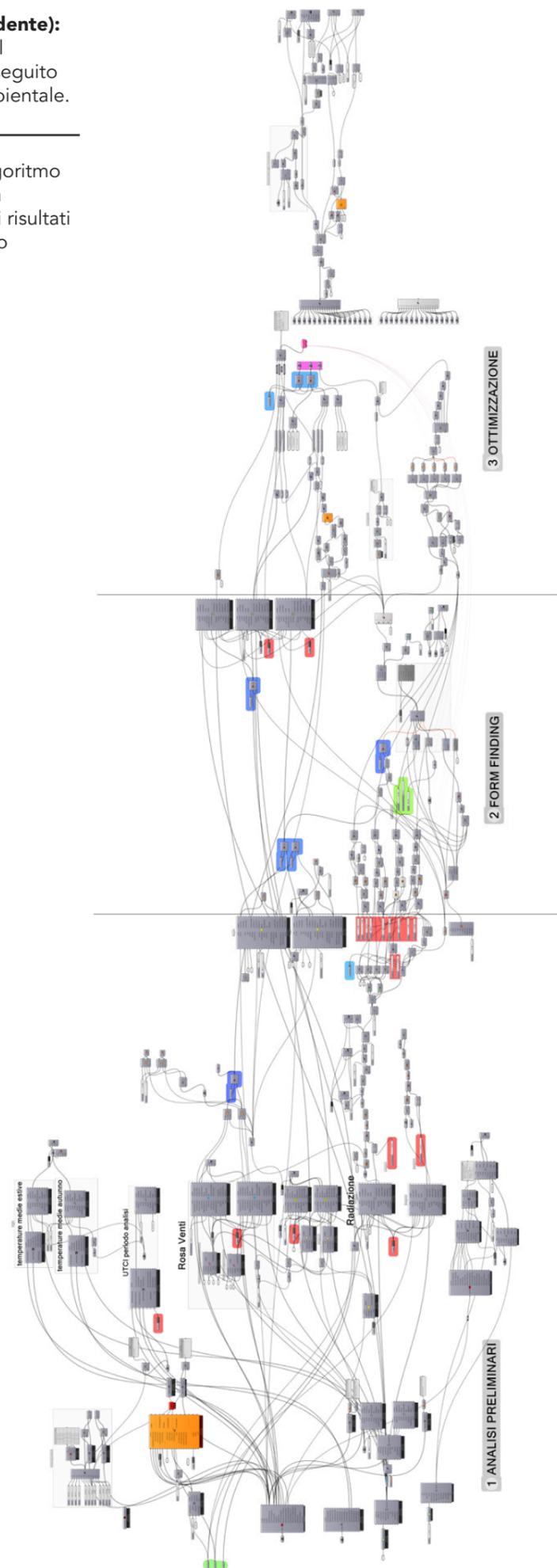


Fig 69 (pagina precedente):
 Schema riassuntivo del
 procedimento logico seguito
 per il form finding ambientale.
 Propria Elaborazione

Fig 70 (a fianco):
 Visualizzazione dell'algoritmo
 di Grasshopper che ha
 permesso di ottenere i risultati
 presentati nel prossimo
 capitolo.
 Propria Elaborazione



In conclusione, i risultati degli aspetti climatici analizzati vengono combinati tra di loro all'interno del solver evolutivo, che seguirà le indicazioni definite per ciascun periodo di analisi, dando maggiore importanza al raffrescamento in estate e al soleggiamento durante la mezza stagione.

Prima di procedere alla presentazione dei risultati del form finding ambientale, vengono presentati due **schemi riassuntivi** della metodologia seguita in questo capitolo, relativi all'assunzione dei parametri ambientali e di come siano stati combinati per raggiungere un risultato ottimale (Fig 68,69).

Va ricordato che questo approccio alla ricerca della forma può essere applicato anche in altri ambiti, a condizione che vengano in primis analizzati gli aspetti principali che caratterizzano un determinato clima, al fine di evidenziare e combinare i parametri coerenti alle condizioni climatiche. In Figura 70 è stato presentato l'algoritmo di Grasshopper che ha permesso di ottenere i risultati del form finding descritti nel prossimo capitolo.

Ottimizzazione Multi-Parametro e Presentazione dei Risultati della Geometria Globale

4.3

Grazie all'implementazione del solver evolutivo multicriterio Octopus, è stato possibile generare un buon numero di soluzioni ottimizzate in un arco di tempo relativamente breve, sempre relativi ai due periodi di riferimento.

Un singolo procedimento ciclico descritto all'interno della Figura 68 ha impiegato una media di 5 secondi per essere completato su un processore da 16 core, risultando in un tempo di soli 8 minuti per completare il calcolo di 100 combinazioni. Allo stesso momento, le 100 soluzioni trovate non rappresentano le soluzioni ottimizzate, ma in generale sono tutte le combinazioni che il solver è riuscito a produrre e ad inserirle nella valutazione multicriterio in quel periodo di tempo.

Per comprendere i passaggi successivi è prima necessario integrare la descrizione generale degli algoritmi di ottimizzazione evolutiva (vedi capitolo 2.1) con una serie di concetti più tecnici relativi al funzionamento di fondo delle **ottimizzazioni evolutive multiparametro**. Questi algoritmi, similmente alle loro controparti più semplificate, hanno l'obiettivo di trovare soluzioni ottimizzate a dei problemi, basandosi sui meccanismi di evoluzione biologica derivati dal mondo naturale. Per poter tradurre il problema prefissato al computer, è necessario tradurlo in maniera parametrica, cioè **esprimere le variabili di input e di output**, che incidono o descrivono il progetto, **tramite numeri**. Gli input sono semplicemente gli slider di Grasshopper, mentre gli output devono essere trasformati successivamente in un unico valore, detto **valore di fitness**, a cui l'algoritmo cercherà di tendere.

In relazione al padiglione, nel capitolo precedente sono stati definiti entrambi gli elementi: gli slider che controllano la dimensione e posizione delle aperture, l'intensità delle forze verticali che aumentano l'altezza della struttura, e infine la coesione delle particelle MAS rappresentano gli input, mentre i parametri di analisi ambientale relativi alla radiazione solare, ore luce e il comfort dovuto dai venti svolgono funzione di fitness,

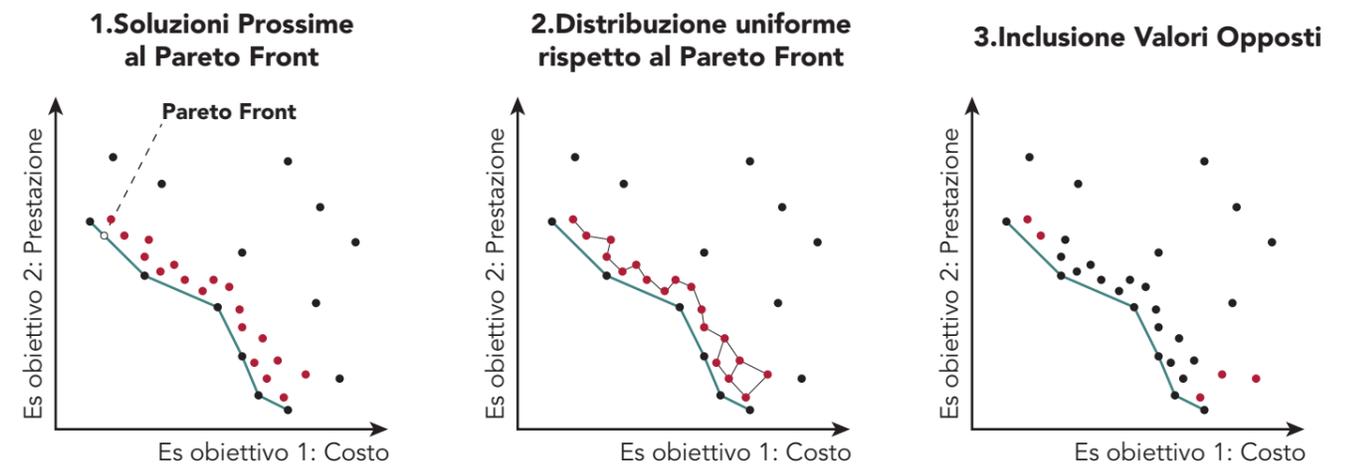
da massimizzare o minimizzare a seconda della circostanza. L'obiettivo dell' algoritmo genetico è quello di **combinare i parametri** in modo che tutti i valori di fitness siano ottimizzati. Molto spesso, specialmente nel caso delle ottimizzazioni ambientali dove un parametro ottimizzato può significare peggiorare un altro contributo, la difficoltà di questi strumenti risiede proprio nella combinazione efficace di più parametri. Trattandosi comunque di uno strumento di sviluppo recente che è sottoposto a continui mutamenti, gli esperti del settore suggeriscono di aggiornare gli aspetti matematico-teorici ogni paio di anni, in quanto la combinazione dei fattori è operata da funzioni basate sulle intelligenze artificiali, che prevedono l'andamento delle generazioni prossime ad essere ottimizzate¹⁴⁸. Non verranno presentati di seguito aspetti teorici particolarmente approfonditi in merito, a causa della complessità del tema e lo sconfinamento verso una sfera completamente esterna all'architettura e alla presente tesi. Ciò nonostante, si ritiene utile fare una breve panoramica.

In generale, gli EMO (Evolutionary Multi Objective) forniscono informazioni relative alla risoluzione di un problema generico tramite un sistema di ricerca spaziale, in altre parole propongono tante soluzioni diametralmente opposte che sono **tutte valutate positivamente** sotto i specifici aspetti. Di conseguenza, sta all'operatore il compito di operare una scelta manuale di una soluzione, che l'algoritmo provvederà a prediligere nelle generazioni successive. L'operazione di selezione può essere nuovamente ripetuta, ottenendo un risultato più mirato. Si possono quindi distinguere 4 diversi modi nel prendere le decisioni:

- Decision making prima della ricerca: definire un singolo obiettivo che rappresenta tutti gli obiettivi;
- Decision making dopo la ricerca genetica; cioè prima si ricerca all'interno risultati ottimali seguendo il **Pareto Front**, per poi selezionare manualmente le soluzioni di interesse;
- Decision making durante la ricerca, selezionando manualmente le soluzioni;
- Decision making combinato delle modalità fino ad ora descritte. Questa modalità è quella assunta per il procedimento del presente progetto¹⁴⁹;

Ciò nonostante, gran parte del lavoro di selezione dei fenotipi avviene da parte dell'algoritmo, e nel caso specifico di Octopus, esso si basa sullo strumento di valutazione statistico inventato dall'ingegnere italiano Vilfredo Pareto, da cui l'omonima funzione per valutare l'**efficienza di un algoritmo multi-parametro**. Esistono altre modalità di valutazione, ma il vantaggio degli algoritmi basati su Pareto è che essi si basano sull'intera popolazione per valutare una singola soluzione, a differenza di tutti gli altri modi che si basano sulla dispersione nello spazio dei fenotipi. Inoltre, la strategia di Pareto può essere combinata con la selezione dell'elite dei fenotipi, aumentando drasticamente l'efficienza degli algoritmi EMO¹⁵⁰.

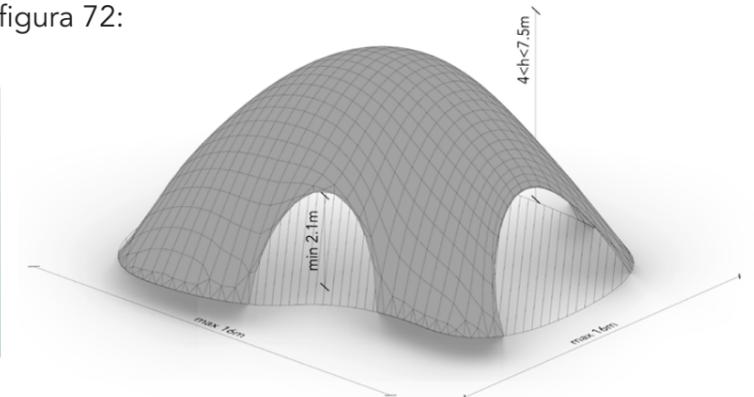
L'ottimalità di Pareto quindi indica un **compromesso ottimale tra due o più obiettivi contrastanti**, dove un aspetto non può essere migliorato senza peggiorarne un altro. La somma di tutte le soluzioni Pareto-ottimali è detto Pareto Front, che può essere rappresentato localmente da una linea continua, superficie, o ipersuperficie, a secondo del numero degli obiettivi e quindi delle dimensioni del problema. In generale, gli algoritmi di ottimizzazione approssimano questo stato ottimale, risultando sufficientemente precisi per applicazioni architettoniche.



Nel caso di una tradizionale ottimizzazione, è possibile comprendere che si è ottenuta una serie di soluzioni Pareto-ottimali quando all'interno della rappresentazione grafica dell'ambiente sono presenti le caratteristiche descritte all'interno della figura 71¹⁵¹.

Oltre alle limitazioni imposte dai parametri ambientali definiti nel capitolo precedente, l'algoritmo evolutivo è stato impostato in modo da scartare tutte le soluzioni che non rispettavano i seguenti criteri dimensionali, in entrambi i periodi di analisi, rappresentati in figura 72:

- La dimensione delle aperture non deve essere inferiore ai 2.1 m di altezza, senza limitazioni di larghezza;
- Le dimensioni dell'intera struttura devono essere inclusi nel range planimetrico di 16x16m, e dal punto di vista altimetrico non eccedere il dominio dai 4 ai 7.5m.



Va come sempre ricordato che i seguenti valori possono essere modificati per ottenere risultati di ottimizzazione più specifici, a patto che si riavvii la simulazione con le nuove limitazioni e parametri.

Le simulazioni finali sono state condotte per un arco di tempo di 2,5 ore ciascuna, testando più di **5000 configurazioni** diverse per ogni periodo, dalle quali si sono selezionate manualmente **16 soluzioni** combinatoriali estive ed invernali, seguendo il Pareto Front.

Successivamente le 16 soluzioni migliori per ogni periodo sono state corredate di informazioni quantitative relative alla loro prestazione ambientale, in modo da poter decidere su quale/i padiglioni operare l'aggregazione (Fig 73,74) nella fase successiva.

In particolare, per valutare oggettivamente le soluzioni trovate da Octopus, ogni combinazione ottimizzata del padiglione presenta da un lato i valori quantitativi della radiazione totale calcolata sulla superficie schermata, la percentuale di permeabilità rispetto ai venti prevalenti, e dall'altro valori più qualitativi relativi alla quantità di radiazione solare incidente sulla superficie del padiglione, rappresentato tramite celle colorate della mesh.

Nelle figure delle pagine seguenti (Fig 75, 76) è inoltre possibile osservare l'aspetto multidimensionale delle soluzioni all'interno di Octopus, e il conseguente Pareto Front evidenziato in grigio, che approssima tramite una ipersuperficie le soluzioni che sono state predilette manualmente.

Fig 71: Regole di valutazione visive della bontà dell'ottimizzazione in un ambiente a due dimensioni. Propria Elaborazione

Fig 72: Criteri dimensionali "booleani" per l'ottimizzazione. Nel caso queste condizioni non vengano rispettate dalla combinazione proposte dal form finding, la soluzione non era inclusa nello spazio fitness e quindi non potrà essere comparata con metodo Pareto. Propria Elaborazione

Fig 73 (pp 100-101): Soluzioni ottimizzate per periodo Tu, cioè Aprile, Ottobre.

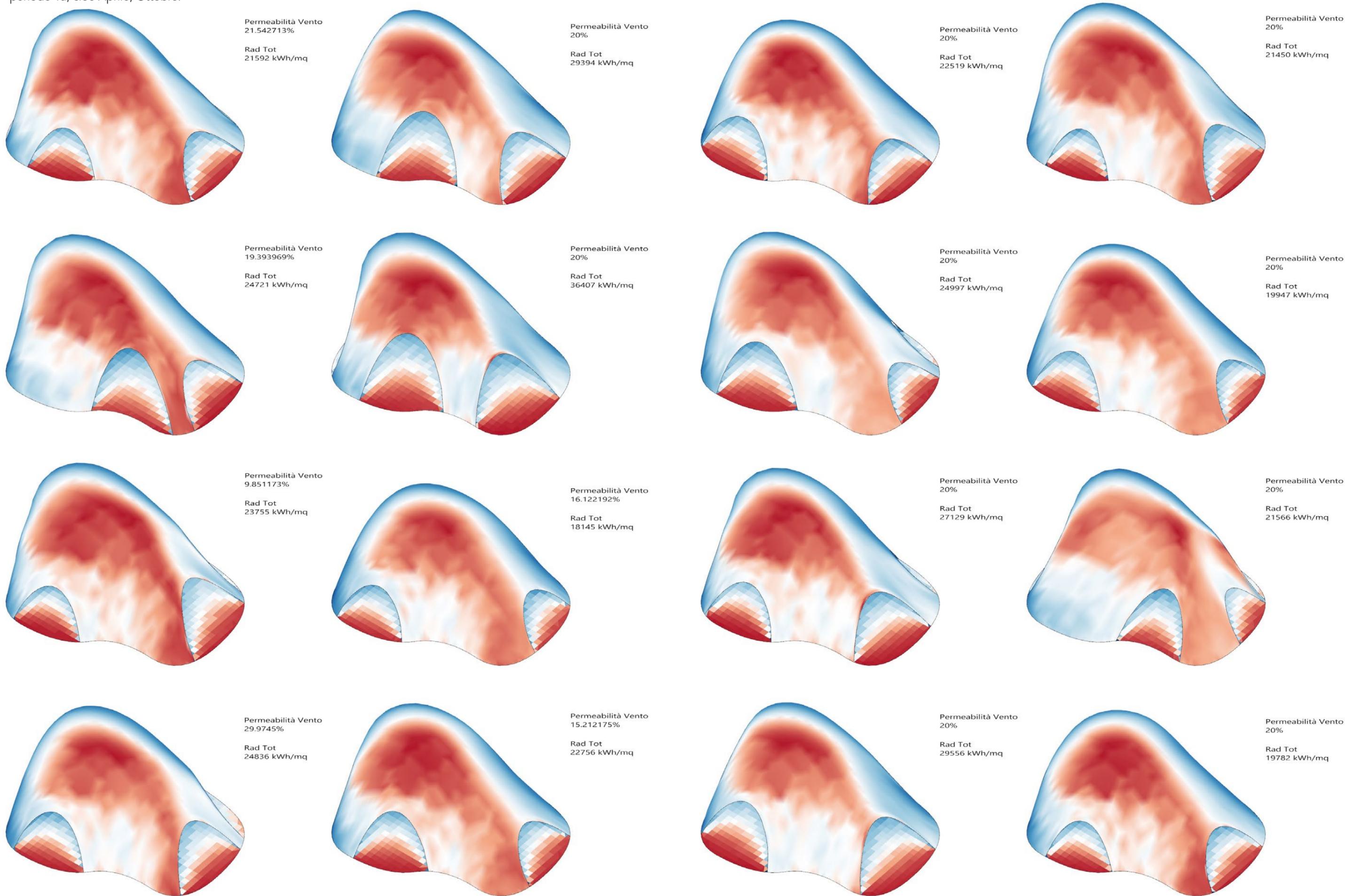


Fig 74 (pp 102-103): Soluzioni ottimizzate per periodo To, cioè Maggio-Settembre.

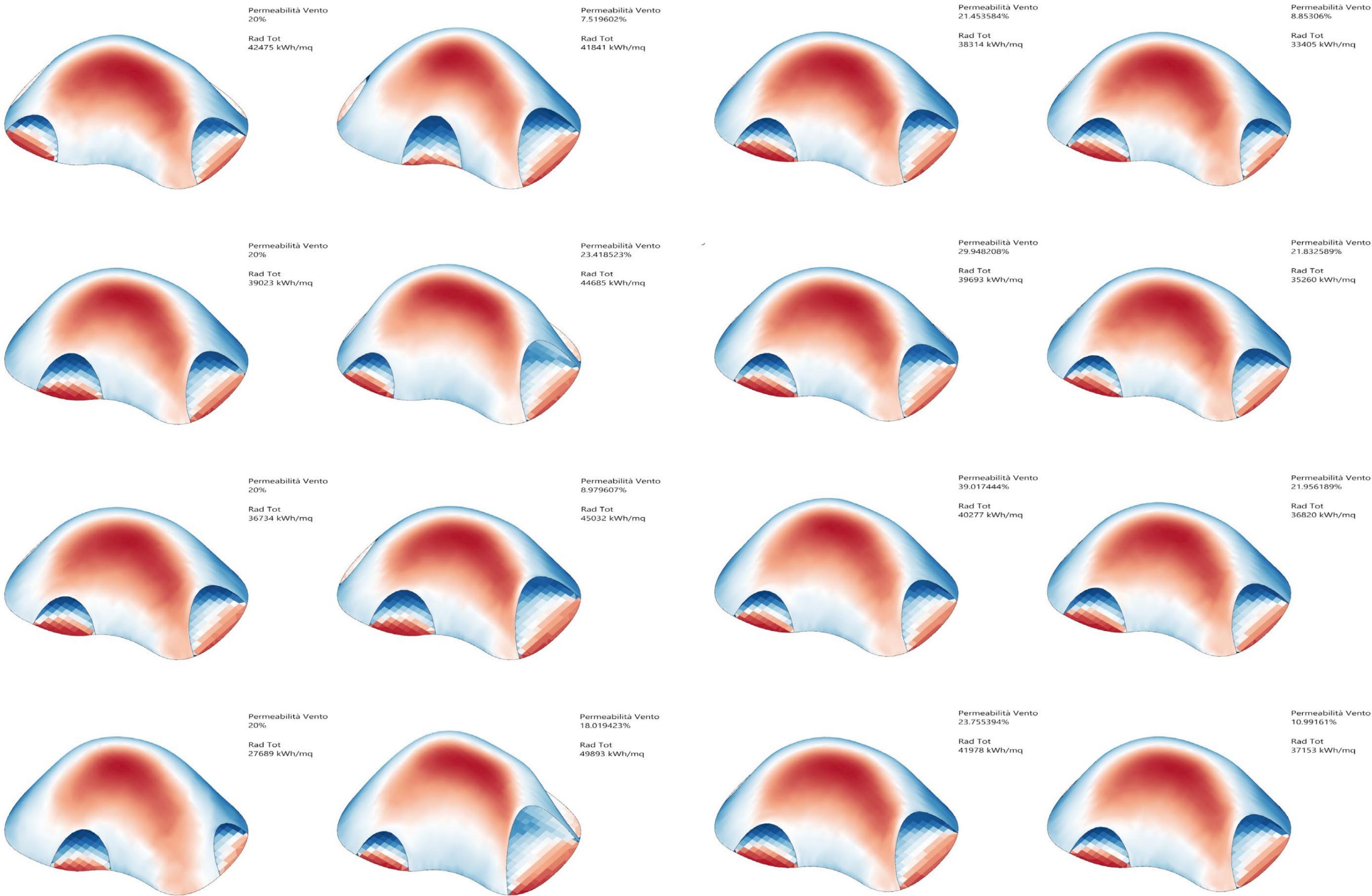
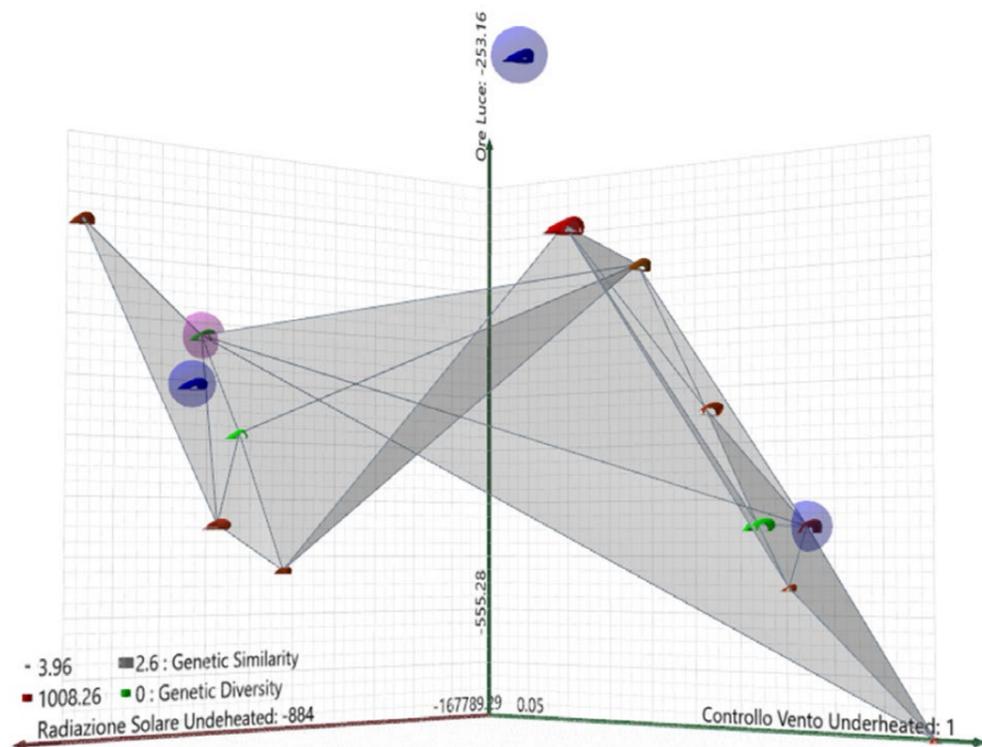


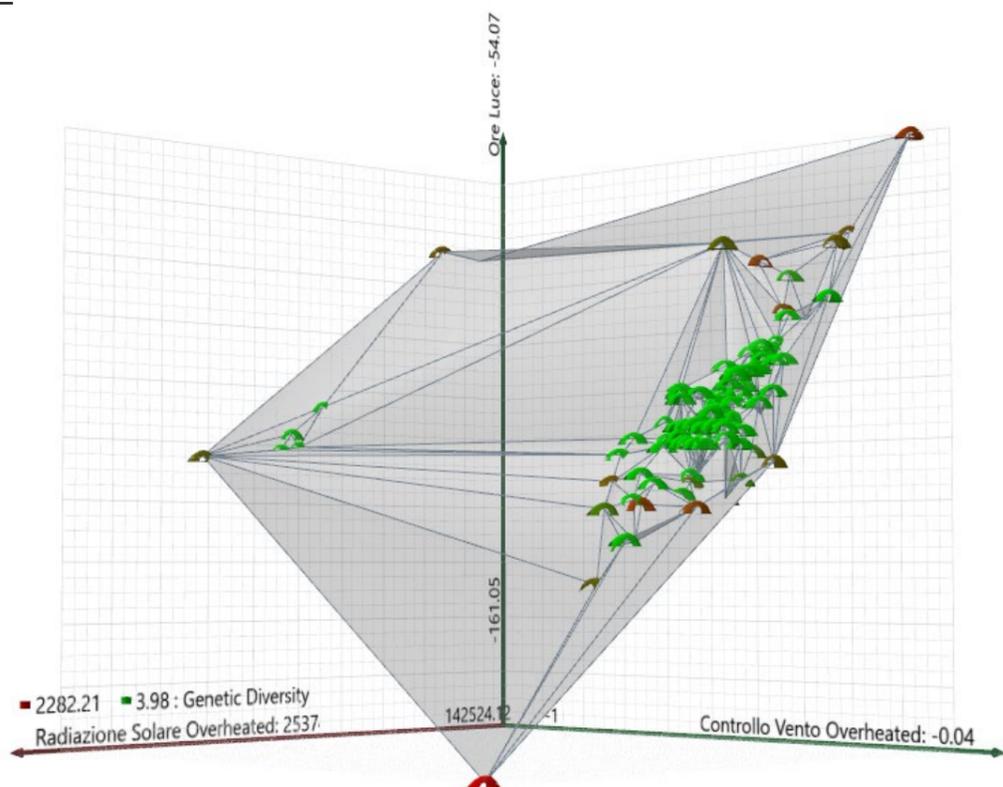
Fig 75: Iperspazio a 3 dimensioni relativo al periodo underheated, in cui sono rappresentate le soluzioni con migliore compromesso. Propria Elaborazione



In quanto le superfici dei padiglioni nella fase successiva dovranno essere approssimate da una serie di moduli discreti, i **colori della mesh schermante hanno la funzione di stabilire che tipologia di modulo implementare** in quella cella, con la possibilità di variare gli aspetti ambientali legati al vento, sole e luce, garantendo anche in questa fase una linearità di procedimento e sfruttamento di tutti i vantaggi che un processo parametrico porta con sé.

Va infine ricordato che trattandosi di una proposta progettuale basata sull'auto-assemblaggio, le soluzioni delle superfici ottimizzate proposte nelle pagine precedenti hanno l'intenzione di fornire una serie di configurazioni globali che dovrebbero essere seguite durante l'assemblaggio per migliorare gli aspetti microclimatici, ma che permettono comunque una certa libertà del posizionamento dei moduli in scala locale, non risultando in considerazioni vincolanti ma semplicemente di **carattere raccomandativo**.

Fig 76: Iperspazio a 3 dimensioni relativo al periodo overheated, in cui sono rappresentate le soluzioni con migliore compromesso. Propria Elaborazione



L'Architettura dei Sistemi Discreti

Come si è visto precedentemente, gli avanzamenti contemporanei in atto all'interno del framework del design computazionale hanno causato un interesse senza precedenti verso l'estetica e le capacità prestazionali delle morfologie complesse. Questa esplosione della eterogeneità morfologica in architettura ha portato alla necessità di un rapido sviluppo di nuovi sistemi di fabbricazione che permettessero la fabbricazione di tali progetti¹⁵², causando la esponenziale diffusione di tecnologie innovative come l'additive manufacturing¹⁵³, i cosiddetti materiali digitali¹⁵⁴, e i processi di assemblaggio robotico¹⁵⁵, che hanno indubbiamente portato nuove prospettive interessanti per la progettazione e costruzione di manufatti architettonici.

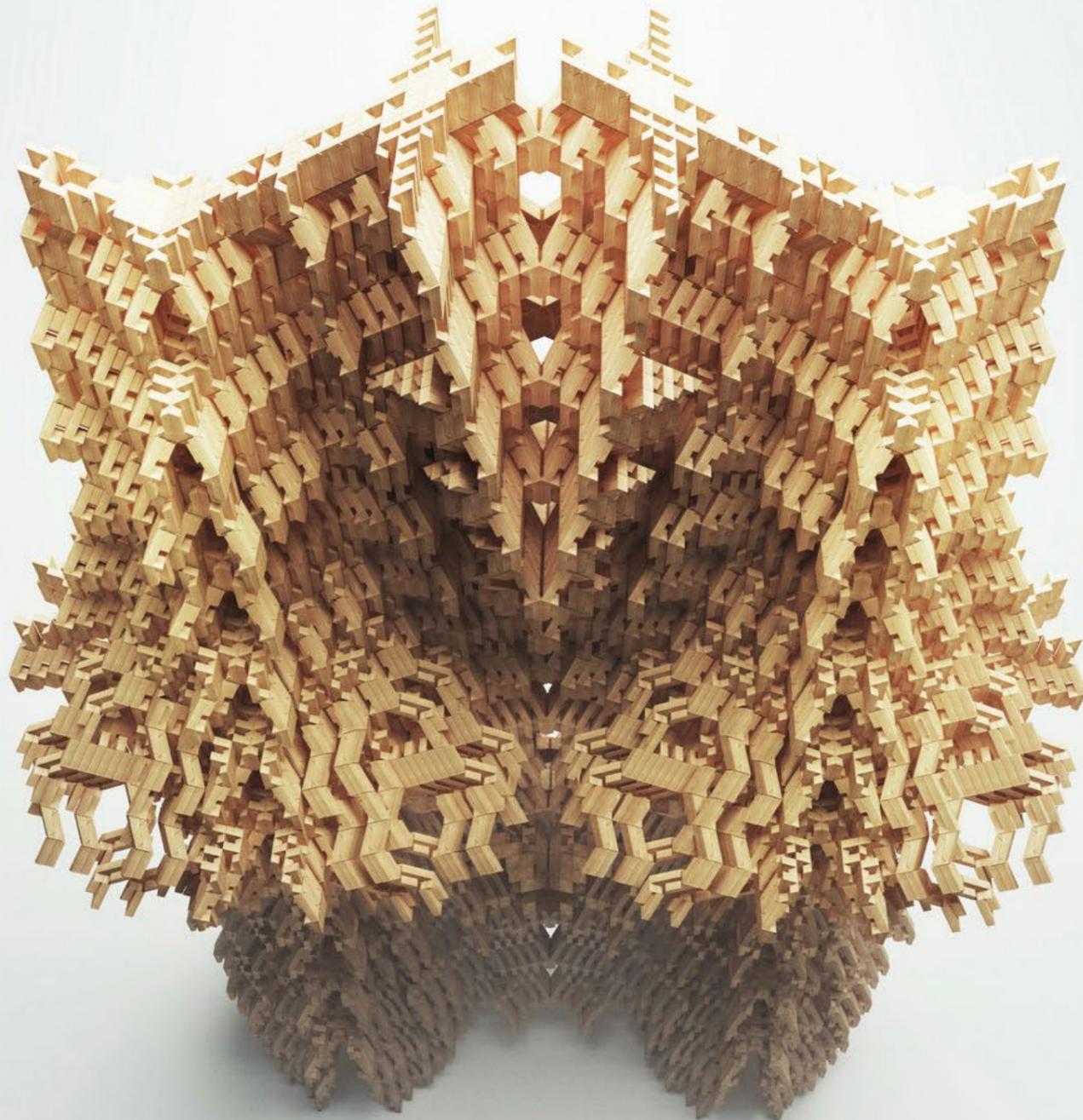
Nel caso particolare del padiglione, che a questo punto consiste semplicemente in una superficie climaticamente ottimizzata senza caratterizzazione tecnologica ne materiale, le implementazioni sperimentali di queste ricerche risultano di particolare attenzione, in quanto molto spesso forniscono spunti per **colmare il divario tra le suddette tecnologie automatizzate e la partecipazione sociale** delle persone, aspetto definito per l'assemblaggio dei moduli sin dal primo capitolo della presente tesi. Secondo Jose Sanchez la chiave per l'unione si presenta nella forma di un **singolo modulo assemblabile** per accostamento.

La strategia di utilizzo dei moduli, oltre a unire gli aspetti tecnologici a quelli sociali, è in grado di fornire una piattaforma aperta per la creazione di spazi riconfigurabili attraverso l'utilizzo di sistemi per il design discreto, della prototipazione rapida e dell'assemblaggio robotico nel caso di manufatti particolarmente complessi e di grandi dimensioni¹⁵⁶.

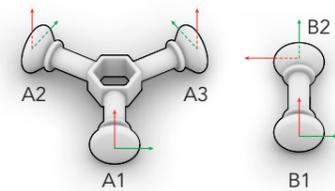
Per comprendere il concetto della particella discreta viene presentato un famoso esperimento appartenente al mondo della chimica-biologica, quando nel 1959 i chimici Stanley Miller e Harold Urey misero a punto un sistema per simulare l'interazione delle varie molecole chimiche in un ambiente che emulava le condizioni della terra pre-biologica. All'interno dell'ambiente furono aggiunti un sistema che garantiva il ciclo naturale dell'acqua, la occasionale presenza di fulmini e una serie di gas come l'idrogeno e il metano - rendendo possibile la trasformazione delle strutture molecolari a causa dell'interazione tra gli elementi.

L'esperimento Urey-Miller¹⁵⁷ fu portato avanti per due settimane, al termine delle quali un'analisi molecolare svelò la presenza di numerosi amminoacidi - che costituiscono uno degli elementi fondamentali per la proliferazione della vita biologica, gettando di fatto le basi per successive ricerche che hanno dimostrato la relazione tra la chimica e l'evoluzione biologica. Risultano di particolare suggestione in ambito progettuale il pensiero del famoso scrittore Steven Johnson a proposito dell'esperimento, secondo il quale, la buona riuscita è stata garantita dalla **capacità combinatoria** dell'atomo di Carbonio¹⁵⁸.

Da questo esperimento possono essere riconosciuti una serie di elementi riconducibili in tutto e per tutto agli elementi presenti nell'ambito dell'architettura discreta, che tratta di:



Parti e Connessioni



A1/2/3 > B1/2 | B1/2 > A1/2/3

Pattern

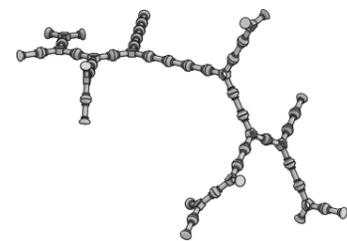


Fig 77: Rappresentazione grafica degli elementi per il funzionamento delle aggregazioni nell'architettura discreta.

Propria Elaborazione

-Parti o Unità: Svolgono funzione delle particelle atomiche, e quindi sono tutti gli elementi che si possono combinare, ciascuno con una precisa caratteristica geometrica e fisica che li contraddistingue;

-Connessioni: Sono le regole di comunicazione e di accoppiamento che le parti seguono per unirsi. Dipendono anch'esse dalle caratteristiche delle parti;

-Pattern: Sono definiti a partire dalle strutture che si delineano da una composizione elementare. Ogni combinazione di unità può a sua volta diventare un blocco di costruzione per un'ulteriore struttura. Va esplicitato che all'interno dell'architettura discreta i progetti sono definiti a partire da un processo combinatorio che può definire nuovi Pattern ma non nuove Parti;

-Popolazione: Più che un elemento tangibile, la popolazione stabilisce la necessità che ci sia la disponibilità di un buon numero di elementi che possono inseriti e/o scartati all'interno dell'aggregazione¹⁵⁹.

In quanto questi elementi possono generare delle combinazioni autonome, l'architettura discreta può diventare in futuro, il mezzo per eccellenza per la progettazione e costruzione partecipata, riducendo la figura dell'architetto alla progettazione dell'unità, che pertanto non si occupa più della struttura aggregata e del suo assemblaggio. All'interno della società digitale è già riscontrabile la tendenza a diventare **prosumer** - cioè consumatori che diventano produttori¹⁶⁰ - visibile all'interno di numerosi ambienti digitali come YouTube, la Realtà Virtuale e la Stampa 3D, ambiti che possono portare a vere e proprie modalità di produzione di massa, grazie alla presentata scansione in parti, connessioni, pattern e popolazione. Inoltre, la discretizzazione non si limita ad investire solo il contesto sociale tramite la creazione di **sistemi di "gioco"**, ma va vista in un contesto più ampio.

Nonostante il settore delle costruzioni sia ancora tutt'oggi per la maggioranza composto da operazioni ad-hoc, le operazioni di erezione degli edifici progressivamente si stanno spostando verso modalità di costruzione post-capitaliste e post-fordiste, testimoniato dall'impiego sempre più diffuso delle **stampanti 3D**, che renderanno la progettazione tramite utilizzo dei dati sempre più importante. In questo contesto, le parti discrete saranno in grado di esprimere il loro pieno potenziale, trasformandosi ed assumendo configurazioni sempre nuove in funzione delle esigenze e delle possibilità combinatorie. Un'altra modalità di costruzione che si sta diffondendo a macchia d'olio all'interno di questo framework, riguarda l'**assemblaggio robotico** che può garantire un altissima precisione¹⁶¹, minore tempo di costruzione rispetto alla controparte umana, capacità di gestione di geometrie molto complesse¹⁶², ma anche integrazione in squadra tra robot ed umani¹⁶³. In altre parole, l'architettura discreta è un paradigma che si sta sviluppando tenendo in considerazione una serie di aspetti di sostenibilità, legati in particolare alla sharing economy, l'efficienza e la partecipazione sociale¹⁶⁴.

Ciò nonostante, nel caso delle costruzioni dove sia necessario garantire una serie di condizioni particolari, come nel caso dei requisiti microclimatici all'interno del padiglione studiate nel capitolo precedente, non è possibile affidare lo sviluppo dell'aggregazione puramente alle capacità combinatorie del modulo, in quanto esso non possiede (ancora) un'intelligenza intrinseca per ottimizzare tali aspetti, nonostante siano stati proposti numerosi sistemi del genere, ad esempio il Universal Constructor

di John Frazer, citato all'inizio del capitolo 2.

Per questo motivo, nonostante la progettazione sociale dei sistemi discreti sia un'idea con un grande potenziale, il metodo assunto nel presente lavoro segue le regole della combinazione molecolare, ma non la direzione di espansione dal locale verso il globale. Dato che in questo caso, si ha a che fare con una geometria ottimizzata da discretizzare tramite dei moduli che permettano più combinazioni possibili, la direzione è **dal globale al locale**.

Dopo aver compreso in generale gli aspetti di interesse per la costruzione del padiglione da un punto di vista teorico, si può procedere alla definizione di alcuni **aspetti di natura tecnologica-costruttiva** da tenere a mente durante un eventuale fase di costruzione. Nonostante questa tesi riguardi principalmente aspetti di innovazione metodologica in ambiente digitale-parametrico, si è ritenuto fondamentale quanto meno fornire i primi spunti e considerazioni tecniche che si sono riscontrate durante la fase di progetto del padiglione discreto. Di conseguenza, da un punto di vista tecnologico, le indicazioni fornite e le soluzioni adottate possono essere migliorate e ulteriormente approfondite a partire dagli sviluppi presentati in questa parte finale della tesi.

Definizione del Modulo Discreto

In generale, i moduli delle architetture discrete possono essere suddivisi in due grandi macro categorie in base alle loro modalità di aggregazione, dalle quale verrà sviluppato in modulo con cui razionalizzare le geometrie globali presentate nel capitolo precedente:

-Sistemi intervincolati (Interlocking Systems). L'esempio più famoso di tali strutture sono i nexor, ossia "connessione" in latino, cioè degli oggetti che sono in grado di intervincolarsi strutturalmente sfruttando esclusivamente la loro geometria. Inoltre, variando leggermente la geometria del singolo nexor, è possibile discretizzare un ampio range di forme, anche abbastanza complesse. Da queste caratteristiche relative ad un singolo modulo si possono derivare una serie di vantaggi nell'ambito delle aggregazioni come la capacità di discretizzare una geometria utilizzando un modulo ripetuto n volte, che possiede solo un tipo di connessione, e di conseguenza è facile da produrre, oltre che facilmente assemblabile in altre configurazioni¹⁶⁵;

-Sistemi Spaziali di Riempimento, ossia le aggregazioni basate su moduli poliedrici che hanno la capacità di riempire lo spazio tramite tassellazione. Questo genere di geometrie sono molto diffuse in natura a diversi livelli, a causa della loro elevata ottimizzazione in termini di occupazione dello spazio, resistenza strutturale e quantità di materiale da impiegare per riempire lo spazio. Esiste una quantità spropositata di questo genere di prismi, a partire dal semplice cubo fino ad arrivare a forme di difficile comprensione¹⁶⁶. Nonostante i vantaggi, in ambito architettonico i moduli appartenenti a questi sistemi risultano costruibili esclusivamente da manodopera specializzata e modalità di fabbricazione digitale avanzata. L'aggregazione invece non è difficilmente da realizzare, a patto che siano state predisposte delle connessioni vincolanti tra le parti, in quanto i sistemi spaziali di riempimento non sono autoportanti nel caso di carichi eccentrici.

5.1

Fig 78: Sotto: una struttura nexorade formata da moduli intervincolati (Thinkshell.fr)
In basso: Array spaziale di ottaedri a facce troncate (Wikimedia)



A seguito di questa macro categorizzazione, si è proceduto ad eseguire una serie di modelli fisici e/o digitali, per comprendere in che modo il modulo testato possa essere trasposto in ambito architettonico. Vengono di seguito riportati le due sperimentazioni più interessanti, che si sono rivelate capaci di essere applicate alla scala del padiglione, premiando in particolare la facilità di montaggio dei moduli e la prestazione strutturale dell'aggregazione.

La prima sperimentazione conclusiva ha riguardato la cosiddetta "**struttura di Weaire Phelan**", che rappresenta idealmente la disposizione perfetta di una schiuma espansiva. Da ciò deriva il primo vantaggio di tale struttura, cioè che trattandosi di una geometria derivata da un'auto formazione, l'utilizzo del materiale è ridotto al minimo, rispetto ad altri problemi di tessellazione dello spazio. Inoltre la prestazione strutturale è molto buona, specialmente in rapporto al volume, che essendo minimo significa che tale modulo sarà più leggero rispetto alle sue controparti. Al contempo, dato che tale struttura è formata da 12 facce irregolari, la sua produzione non risulterebbe semplice, specialmente considerando la necessità di creare due tipologie di modulo, pieno e poroso (Fig 79).

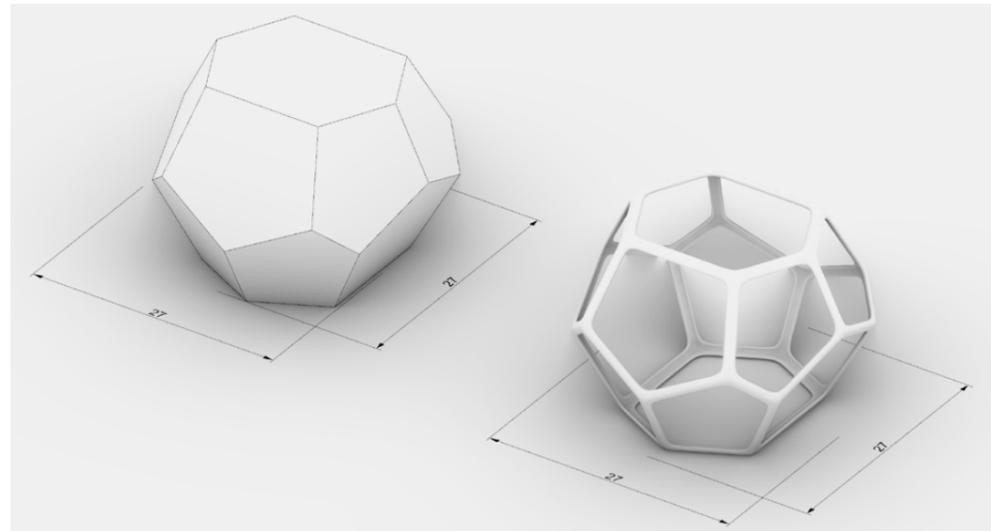


Fig 79: Rappresentazione digitale di un modulo pieno e poroso della struttura di Weaire Phelan, dove si può notare l'irregolarità del poliedro. Propria Elaborazione

Ne consegue che tale modulo non può essere realizzato con metodi semplici e materiali "poveri", restringendo il campo di produzione allo stampaggio con Bioplastiche, PLA, Policarbonati oppure piegatura e saldatura di acciaio.

Trattandosi comunque di una geometria derivata da processi naturali di espansione, l'impiego di sistemi pneumatici ne può garantire l'utilizzo, come è accaduto per il centro acquatico nazionale di Pechino. Purtroppo, l'impiego di materiali come l'ETFE, nonostante i numerosi vantaggi tecnologici che comporta, difficilmente può essere applicato a progetti con budget limitato, oltre che messo in opera da manodopera non

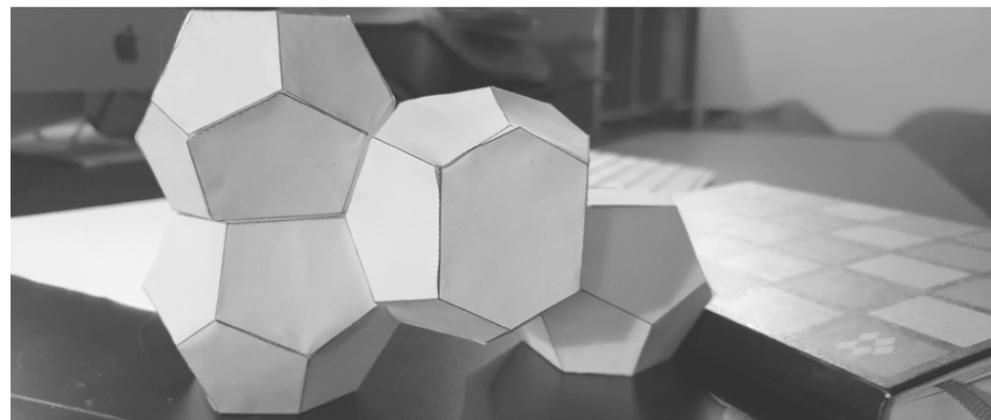


Fig 80: Modelli di studio in cartoncino per le prove di aggregazione della struttura di Weaire Phelan. Propria Elaborazione

qualificata.

Dalle sperimentazioni con i modelli di cartoncino si è inoltre compreso un aspetto fondamentale legato alla stabilità della struttura nel suo insieme. Se da un lato le particelle che si trovano all'interno e lontano dai bordi dell'aggregazione risultano sufficientemente stabili e portanti, lo stesso non è applicabile alle particelle "di contorno", che non risultano compresse uniformemente dagli altri moduli. Per questo motivo, l'uso di questa tipologia di modulo richiederebbe uno studio attento delle connessioni, la cui produzione aumenterebbe ulteriormente la **difficoltà di realizzazione** della struttura di Weaire Phelan.

Infine, va sottolineato un ultimo aspetto legato alla capacità combinatoria di questo modulo. Nonostante lo si sia scelto rispetto ad altri poliedri per il suo aspetto e alcune caratteristiche meccaniche, la sua **aggregazione è tutt'altro che intuitiva**. Per poter ottenere una struttura spaziale compiuta, i moduli vanno costantemente ruotati in diverse posizioni, eliminando di fatto la possibilità da parte della popolazione di assemblare il padiglione in maniera semplice, oltre che aumentare la difficoltà con cui può avvenire il processo di adattabilità da parte degli utilizzatori del manufatto.

Alla luce delle suddette considerazioni si decide di non utilizzare questo tipo di modulo per la costruzione del padiglione.

La successiva sperimentazione ha riguardato la tipologia dei sistemi intervincolati, che a differenza delle aggregazioni composte da poliedri, non necessita di studio aggiuntivo delle connessioni, essendo queste ultime già integrate nella geometria dei moduli. Va però ricordato che è possibile ottenere dei moduli poliedrici con connessioni intervincolanti tramite la loro apposizione alla geometria di base del poliedro, risultando però in una maggiore complessità di fase di produzione. L'interesse verso i **sistemi costruttivi intervincolati topologicamente** non è nuovo e risulta di particolare interesse nello sviluppo delle economie circolari, dove i temi dell'assemblabilità e disassemblabilità dei componenti edilizi sposano perfettamente gli obiettivi di un'architettura adattiva introdotte all'inizio del presente lavoro. Di conseguenza, nonostante le ricerche attuali si concentrino sulla trasposizione di questi sistemi in ambito architettonico, si possono già vedere applicazioni di tali tecniche nei giochi per bambini e nell'arredamento.

Visto gli svantaggi rilevati nello studio delle aggregazioni poliedriche, nel caso del progetto dei moduli intervincolati, si è assunto come obiettivo fondamentale la loro facilità di produzione e assemblaggio, e pertanto si è preso come base un semplice **modulo quadrato** da tagliare in modo tale da avere una serie di connessioni intervincolanti ripetibili nello spazio. In particolare, i successivi sviluppi hanno preso spunto dalle capacità combinatorie del cubo, le cui facce sono perfettamente allineate nello spazio, e quindi ripetibili anche ruotandole, purché sia garantita una coplanarità delle facce che appartenevano allo stesso piano (o piani paralleli) nell'aggregazione dei cubi.

A partire da questo principio si è provveduto a spezzare le facce del cubo, e a posizzarle nei punti centrali dei bordi di esso, ruotandole ortogonalmente rispetto al loro orientamento originale. Procedendo con queste operazioni per tutte le facce del cubi, è stato possibile individuare le connessioni necessarie per questa aggregazione, formate da dei semplici tagli della superficie della faccia, in direzione ortogonale al bordo per una lunghezza qualsiasi, come visibile nell'immagine di sinistra della Fig 81/82.

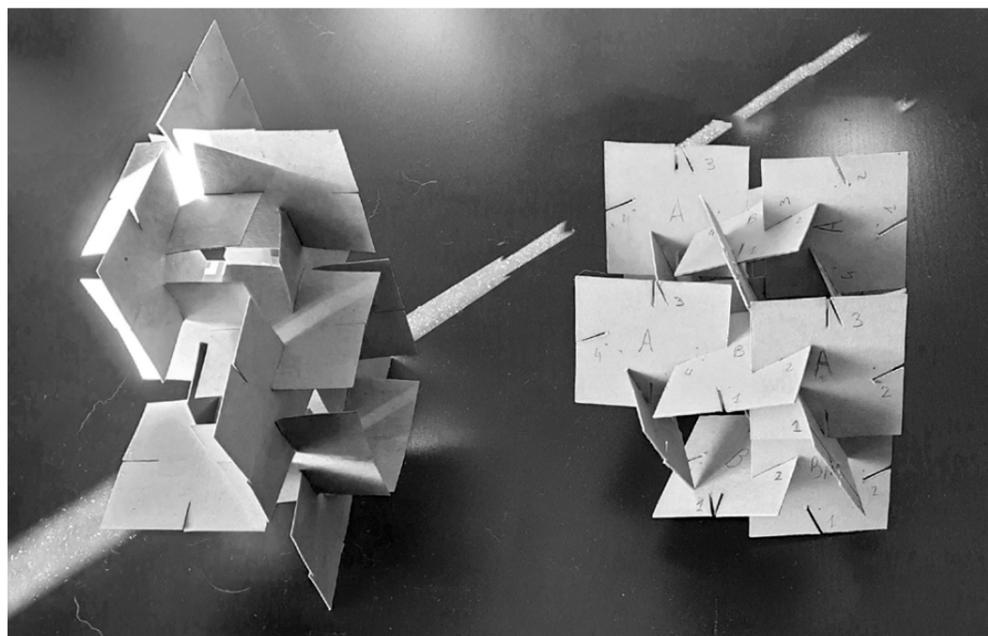


Fig 81: Prove di aggregazione fisica dei sistemi a piastra topologicamente interconnessi. Propria Elaborazione

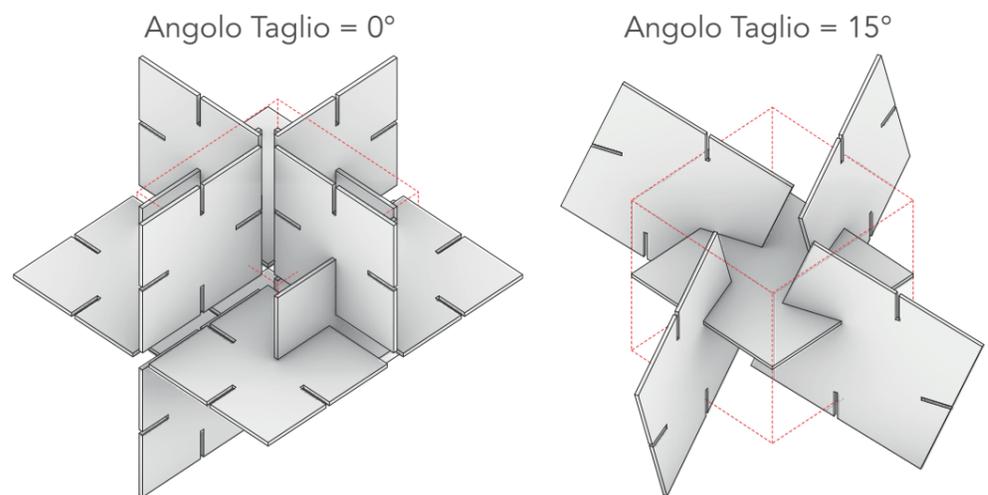


Fig 82: Prove di aggregazione digitale dei sistemi a piastra topologicamente interconnessi. Propria Elaborazione

Tale aggregazione può essere ulteriormente modificata variando l'angolo di inclinazione dei tagli dei bordi, generando una serie di variazioni più movimentate visibile nello schema a destra della Fig 80/81, che sfrutta sempre la stessa **connessione femmina-femmina** a spigolo vivo.

Questa tipologia di moduli possiede numerose caratteristiche vantaggiose per l'ambito della costruzione partecipata del padiglione. In primo luogo, le aggregazioni formate da questi moduli hanno un'**elevata resistenza e rigidità strutturale**, proprio a causa dell'alto grado di interconnessione tra le particelle che garantisce la portanza anche in caso di forme più complesse rispetto a quelle mostrate in figura. Allo stesso momento, i moduli risultano stabili a condizione che almeno 2/4 connessioni siano occupate, ed è quindi opportuno a procedere alla costruzione accoppiata tra i moduli, di modo che l'aggregazione esistente sia sempre autoportante. Questo significa che di fatto non è necessaria la progettazione di una connessione meccanica ad hoc.

Un altro vantaggio a cui si è accennato sopra, è la **facilità di produzione** di tali moduli. Trattandosi infatti di oggetti planari a due dimensioni prevalenti, essi si possono ricavare con una semplice operazione di taglio laser o fresatura su 3 assi, eseguibile su numerosi materiali. Tali operazioni, a differenza dei moduli poliedrici tridimensionali richiedono meno tempo di lavorazione e sono soggetti a tolleranze meno ristrette.

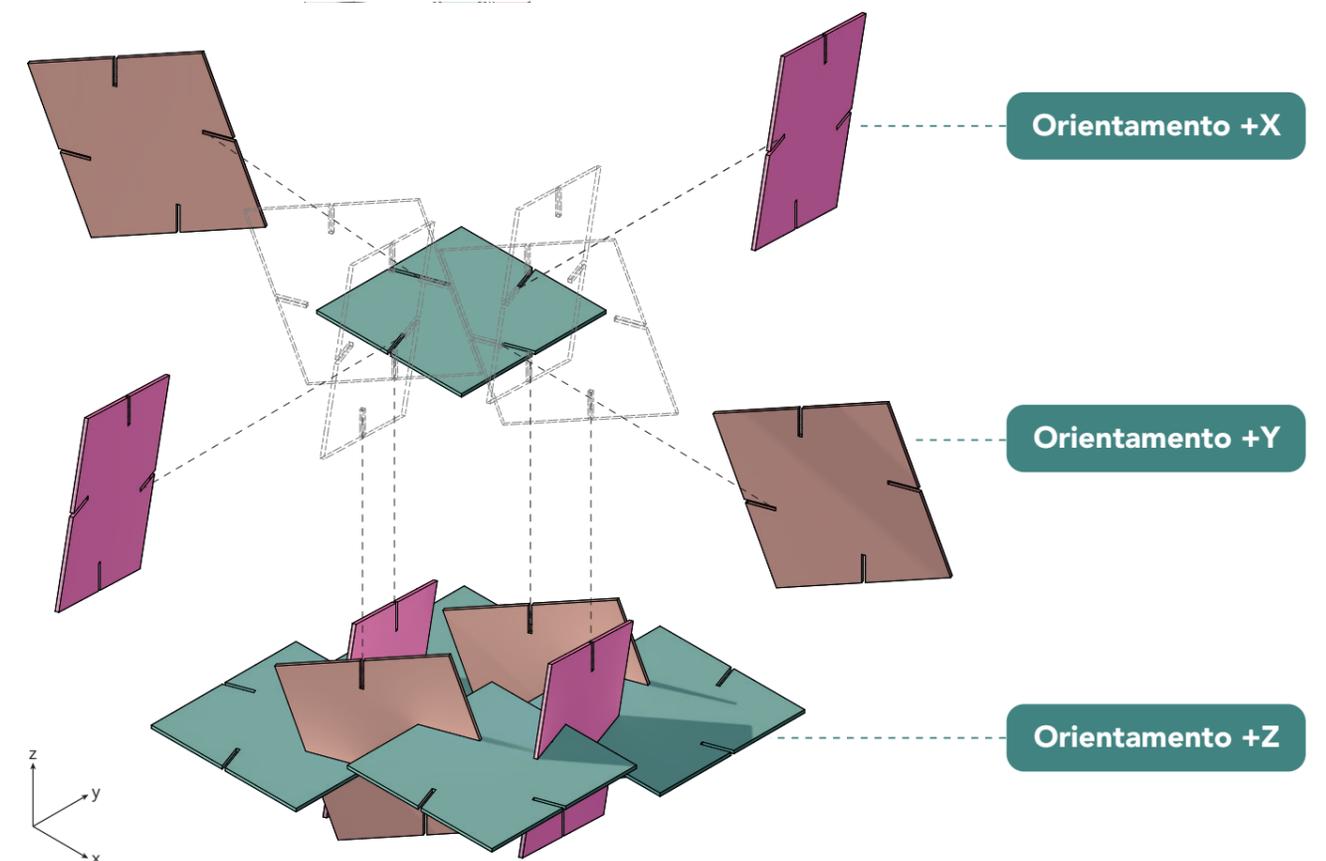
Inoltre, dato che vi è la necessità di produrre un modulo poroso che permetta l'effetto passante/schermante del sole e del vento, grazie all'implementazione dei suddetti sistemi di fabbricazione digitale, esiste la possibilità di predisporre ulteriori tagli, in modo da tagliare il più possibile le zone non strutturali del modulo e garantire il passaggio degli elementi climatici. Questo aspetto relativo alla produzione delle due tipologie dei moduli verrà trattato in maniera più approfondita all'interno dei successivi capitoli.

Infine, l'ultimo vantaggio di tale sistema riguarda la **facilità di montaggio**. Per poter aggregare questi moduli seguendo qualsiasi forma, è infatti sufficiente seguire un'unica regola inerente al posizionamento dei moduli, rappresentata nella Fig 83.

I colori dei moduli indicano il particolare piano di appartenenza, ai quali è associata l'unica regola da seguire per il montaggio. Un identico colore, ad esempio il ciano, è stato attribuito a tutti i moduli che hanno i bordi e le connessioni orientati in egual modo, identificando l'**unico orientamento possibile per i moduli orientati secondo un piano**: in questo modo, ogni elemento ciano aggiunto dovrà avere i bordi orientati allo stesso modo di altri elementi color ciano. Se questa regola non venisse seguita, le connessioni dell'aggregazione risulterebbero sfasate e non sarebbe possibile completare il padiglione secondo la forma suggerita nel capitolo del form finding ambientale.

A fine di risultare più comprensibile, nella Fig 83A viene presentata l'applicazione della suddetta regola tramite un procedimento di aggregazione passo a passo.

Fig 83: Istruzioni per il montaggio corretto della struttura aggregata. Propria Elaborazione



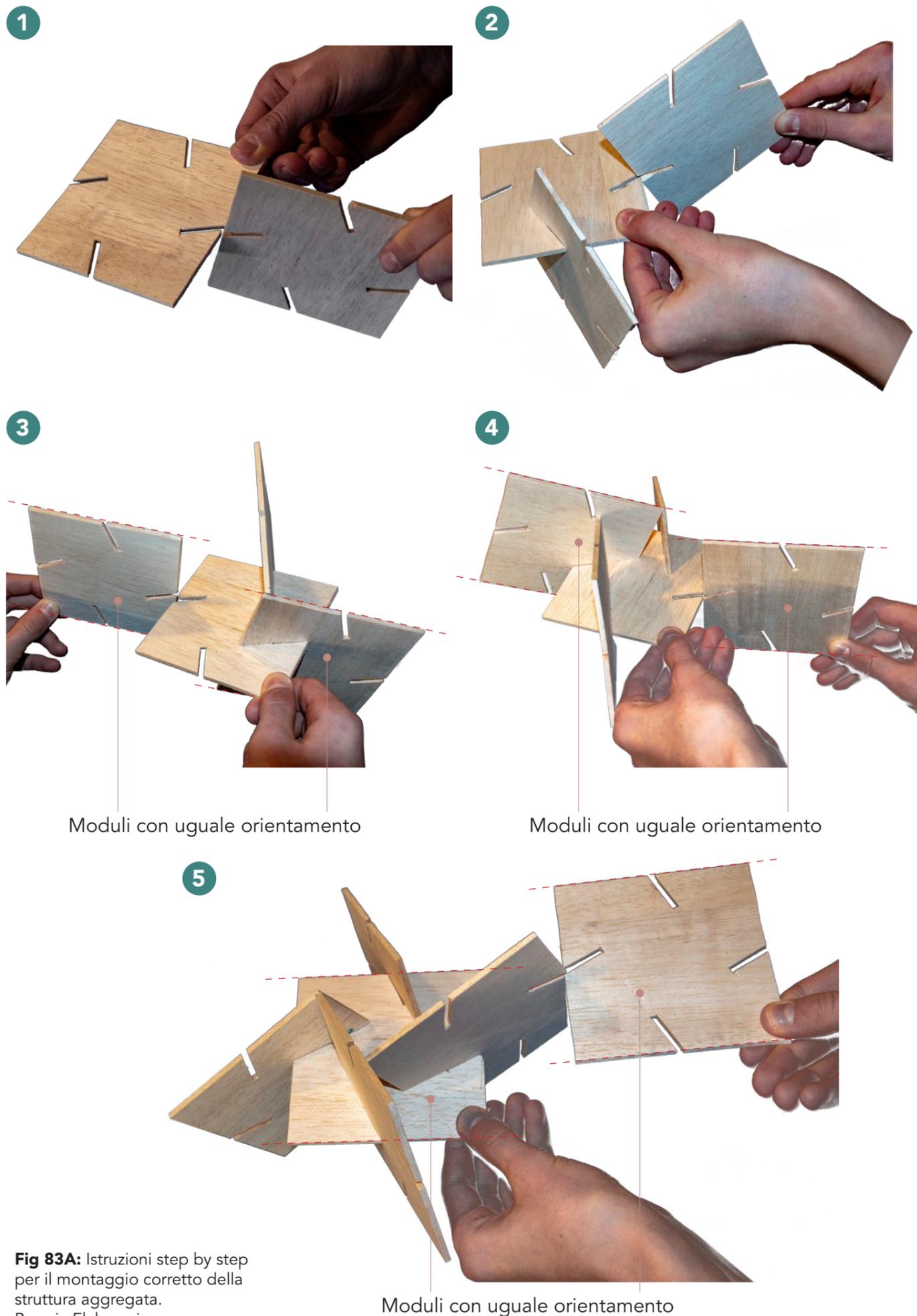


Fig 83A: Istruzioni step by step per il montaggio corretto della struttura aggregata.
Propria Elaborazione

In conclusione a questo capitolo, si reputa che il sistema costruttivo a moduli intervincolati possa essere una soluzione migliore rispetto alla struttura di Weire Phelan sotto diversi aspetti, a partire dalla costruzione user-friendly, fino ad arrivare alle fasi di produzione, e che quindi verrà adottato come modulo da usare per la discretizzazione e costruzione del padiglione.

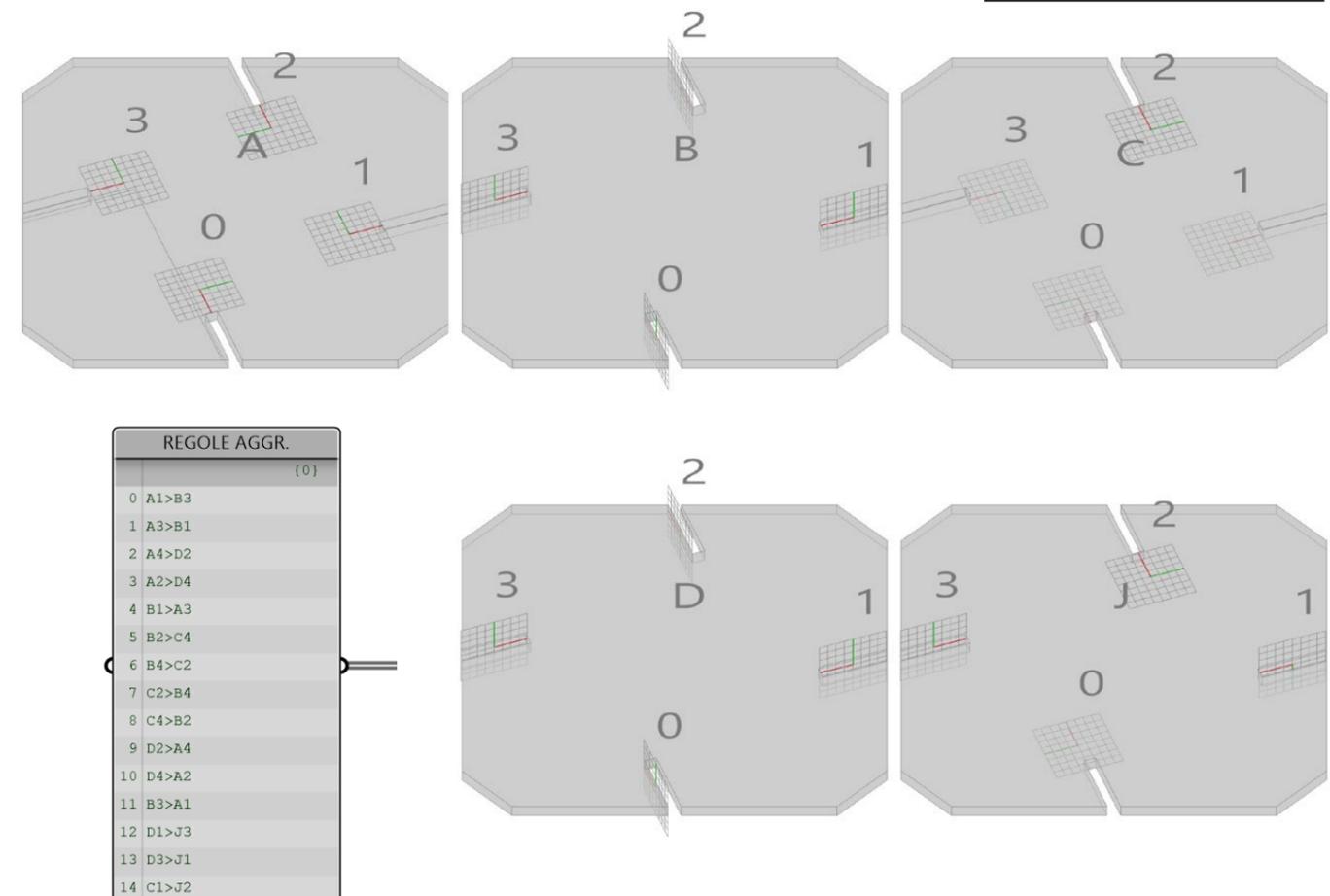
L'aggregazione Digitale e la Produzione dei Moduli

5.2

Il presente capitolo riguarda la costruzione dell' algoritmo di aggregazione basato sui risultati della di form finding presentati nel capitolo precedente, e conseguente presentazione dei risultati della aggregazione e discretizzazione dei moduli definiti. Questo passaggio è fondamentale per poter definire le caratteristiche quantitative relative alla produzione, trattata alla fine del presente capitolo.

Per poter procedere con l'aggregazione in ambiente Grasshopper, e quindi simulare la presenza del padiglione all'interno del contesto di Cascina Roccafranca, si decide di implementare il plugin **Wasp**, scritto specificatamente per lo scopo da Andrea Rossi (Tu Darmstadt, DE). Il plugin permette di aggregare qualsiasi tipo di geometria in funzione delle regole di aggregazione stabilite dall'utente, che possono riguardare le modalità di abbinamento delle connessioni, i volumi entro i quali aggregare e infine i vincoli strutturali che governano l'aggregazione, oltre che una serie di altre funzioni non approfondite in questa sede. Anche se esistono diversi plugin simili, si è deciso di implementare Wasp in quanto è risultato il software con maggiore controllo sull'aggregazione, oltre al fatto che possiede una cospicua community di supporto.

Fig 84: Visualizzazione dei piani di connessione dei 5 moduli inseriti all'interno del plugin Wasp.
Propria Elaborazione



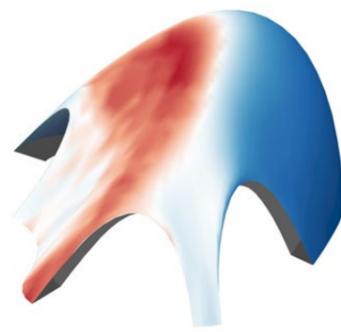


Fig 85: La forma ottimizzata dal punto di vista dei fattori ambientali viene resa solida. Questa è la geometria all'interno della quale aggregare
Propria Elaborazione

Per poter procedere con l'aggregazione, è stato innanzitutto necessario **stabilire le regole di connessione di ciascun modulo**, e come questo si aggiunge all'aggregazione esistente. Anche se fisicamente tutti i moduli sono identici e pieni - non si considera in questa parte la presenza del modulo poroso - all'interno del programma è stato necessario stabilire le regole di connessione per 5 tipologie di modulo - A,B,C,D,J - che si differenziano esclusivamente per posizione e orientamento dei piani locali di connessione. Ciò è stato necessario per poter seguire correttamente la regola di aggregazione individuata nella Fig 83. I piani di connessione e le regole di aggregazione vengono presentati per ciascun modulo nella Fig 84. All'interno del pannello di Grasshopper è possibile vedere le **regole grammaticali di connessione** stabilite, che definiscono quale id del piano va inserito in una determinata connessione. Ad esempio, la stringa "A1>B3" indica semplicemente che la connessione n°1 del modulo A dovrà andare ad innestarsi sulla connessione n°3 del modulo B.

Come si può notare, i bordi a spigolo vivo dei **pannelli sono stati smussati** rispetto alle immagini precedenti, per evitare che gli spigoli vivi costituiscano un pericolo una volta montato il padiglione.

Una volta stabilite le regole di connessione, si può procedere a eseguire l'aggregazione. Wasp fornisce la possibilità di eseguire 2 tipi di aggregazioni, quella stocastica - cioè quella che segue un ordine casuale per l'apposizione di nuovi moduli, e quella "field driven" ovvero quella che segue delle regole probabilistiche stabilite dall'utente per far crescere l'aggregazione. Quest'ultima è molto più lenta da calcolare rispetto alla precedente, ed è anche più difficile da gestire nel caso si abbia già una geometria da popolare. Il vantaggio delle aggregazioni "field driven" sta nel fatto che ogni volta che si esegue il reset dell'aggregazione, la posizione dei moduli rimane invariata.

Dato che nel caso specifico i vantaggi derivati dai field risultano marginali, si decide di utilizzare l'**aggregazione stocastica, combinata ad una serie di vincoli spaziali (mesh constraints) e strutturali**, per poter generare l'aggregazione seguendo le indicazioni definite nei capitoli precedenti.

A questo proposito, le mesh derivate dal form finding ambientale sono state trasformate in geometrie solide, con uno spessore di circa 1.2m - visibile in Fig 85 - all'interno della quale andrà eseguita l'aggregazione con i moduli.

Inoltre è stata imposta la condizione di presenza di almeno due connessioni occupate affinché il modulo sia posizionato, in modo da raggiungere una struttura progressivamente autoportante. Va ricordato che le soluzioni proposte durante il form finding hanno riguardato il periodo estivo e quello di mezza stagione, e che quindi in questa fase è necessario eseguire almeno un'aggregazione per ogni periodo considerato. Procedendo quindi con l'aggregazione, vengono di seguito presentati (Fig 86) i due padiglioni aggregati con tutti i moduli identici, che faranno da base per le successive modifiche di carattere ambientale.

A questo punto, è possibile **sostituire nelle posizioni di interesse i moduli porosi**, in modo da garantire gli apporti solari durante l'inverno e schermare i raggi solari in estate. Per poter svolgere questa operazione, non prevista dal plugin Wasp, è stato scritto un algoritmo customizzato di Grasshopper, che analizzando i colori della mesh radiativa - ricavata dal form finding - è in grado di riconoscere le posizioni in cui i moduli sono da mantenere pieni e dove essi vanno sostituiti con quelli porosi.

In questo modo, sono state mantenute parametricamente le informazioni della fase precedente, garantendo il passaggio o schermatura dei venti e del sole.

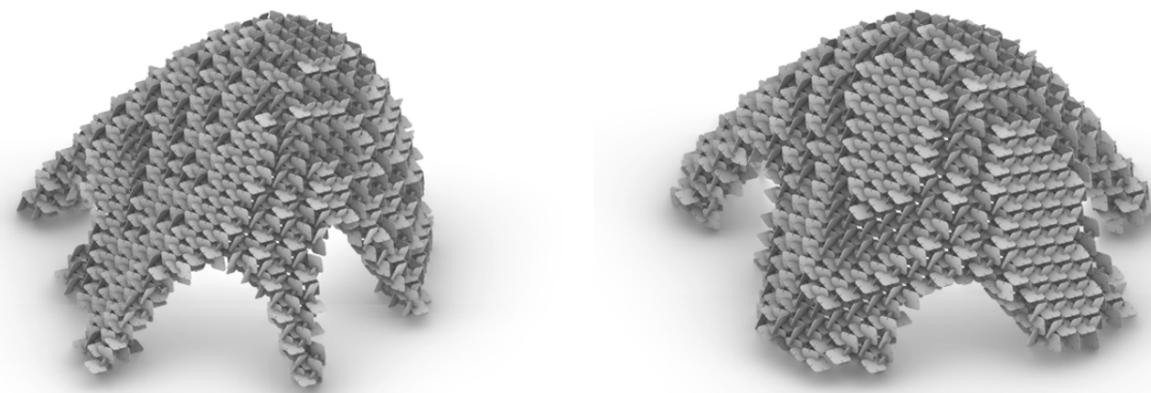


Fig 86: La prima iterazione del padiglione aggregato, che non considera le analisi climatiche fatte nel capitolo precedente. A sinistra il padiglione di mezza stagione e a destra quello estivo
Propria Elaborazione

Il risultato di questa ultima operazione è presentato nelle figure 87,88, dove la geometria dei moduli porosi ha un aspetto indicativo, in quanto la geometria effettiva di questi verrà presentata a conclusione del presente capitolo.

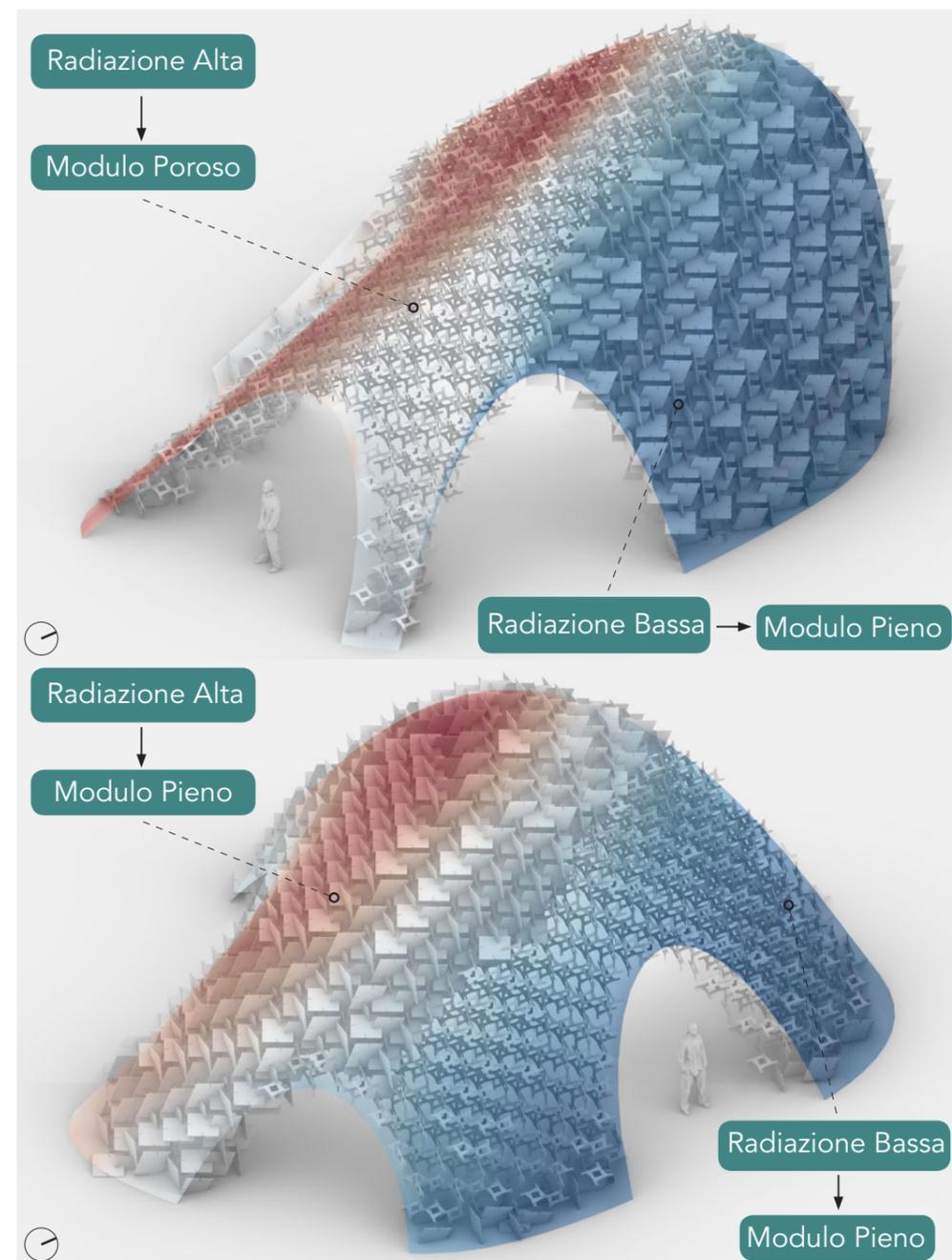


Fig 87: Visualizzazione della relazione tra radiazione e tipologia di modulo da aggregare durante il periodo underheated.
Propria Elaborazione

Fig 88: Visualizzazione della relazione tra radiazione e tipologia di modulo da aggregare durante il periodo overheated.
Propria Elaborazione

Successivamente si è proceduto a definire lo script parametrico relativo all'attacco a terra, costituito da un **deck di legno** in travi di larice poggiati su 16 plinti di calcestruzzo prefabbricati. La pavimentazione del basamento è formata da listelli di WPC, che farà da base per il montaggio dei moduli. Anche questo aspetto verrà meglio presentato successivamente, nel capitolo 5.3. Infine, la parte conclusiva dello script ha riguardato il taglio dei moduli che si intersecano con la base. A questo punto del lavoro, lo **script di grasshopper relativo a questa fase è completo** (Fig 89), in quanto sono stati definiti tutti gli elementi digitali necessari per passare alla fase di produzione e ingegnerizzazione.

La produzione dei moduli deve avvenire in maniera sostenibile, impiegando **materiali rinnovabili e riducendo il più possibile gli scarti di produzione**, ma comunque favorendo una facilità di montaggio da parte della comunità.

A tal proposito, la scelta del materiale per i moduli è ricaduta sui materiali a base legno, che sono in grado di fornire un credito di anidride carbonica, abbattendo l'impatto della produzione, e fornendo la possibilità di costruzione di un edificio carbon neutral o addirittura carbon negative. Allo stesso tempo, in quanto l'oggetto architettonico da costruire richiede una buona resistenza meccanica dei singoli moduli, in particolare a taglio-flessione, si è deciso di implementare un materiale legnoso ingegnerizzato, cioè il **compensato fenolico** a 7 strati. Questo materiale, oltre ad essere economico ed essere facilmente lavorabile, è di facile reperibilità, come attestato dalle numerose aziende presenti nei dintorni di Torino che operano nel settore dei legnami. Inoltre, il legno multistrato è leggero e resistente all'acqua, che sono due fattori fondamentali per questo progetto in quanto permettono l'auto-assemblaggio e la permanenza in ambiente esterno dei moduli.

Nonostante questa tesi non si sia concentrata sui fattori economici legati al progetto, si è supposto che si possa instaurare un **Partnership tra Pubblico Privato** (Cascina Roccafranca e Azienda di legnami), di modo che la parte privata si assuma la spesa di produzione dei moduli dietro un riconoscimento pubblicitario da parte della rete delle case di quartiere, o addirittura produzione e vendita di questo sistema a scopi commerciali da parte dell'azienda.

Supponendo quindi che tale partnership sia effettivamente avvenuta, nelle figure 90-91 sono stati studiati alcuni aspetti quantitativi legati alla produzione dei moduli.

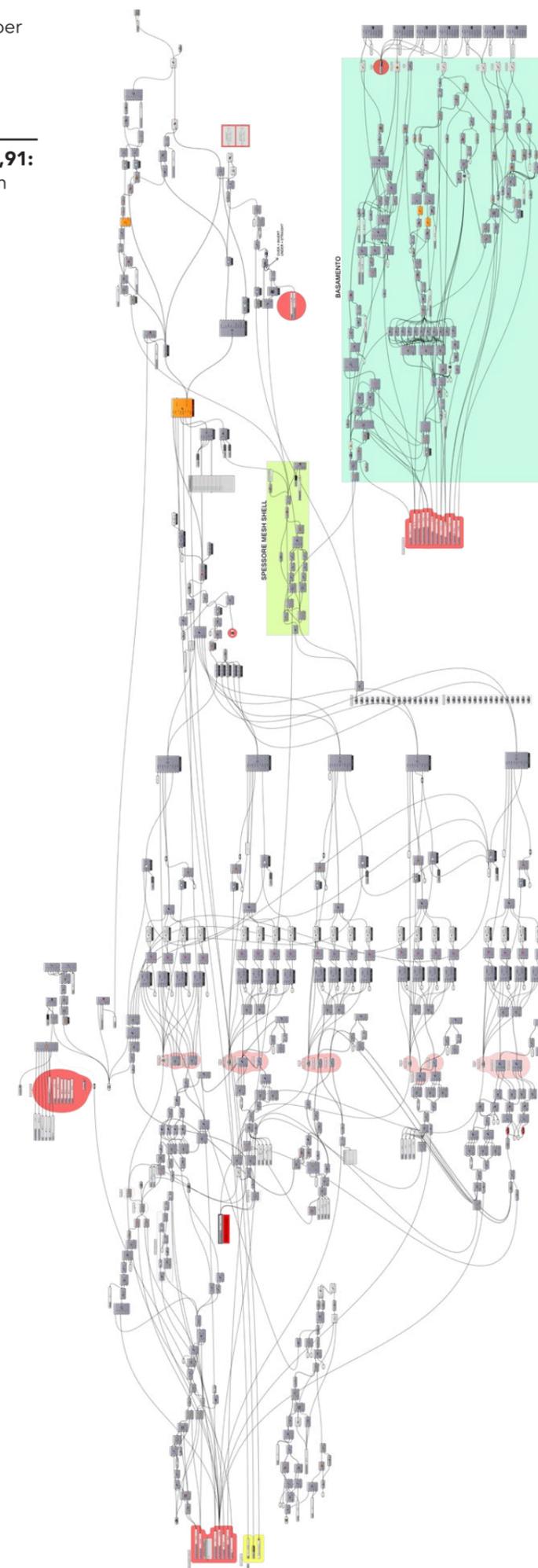
La conformazione geometrica del modulo pieno è rimasta invariata rispetto al modello digitale, in quanto non creava particolari problemi per le resistenze meccaniche e per l'economia di produzione.

Il modulo poroso invece, che in origine è stato pensato come un pezzo unico tagliato da un pantografo o da una fresatrice, presentava evidente fragilità a taglio, e sfridi prossimi al 40% rispetto alla superficie del pannello di compensato. Di conseguenza, si è deciso di optare per una conformazione geometrica simile a quella originale, che però è costituita da 23 listelli legati da resine fenoliche, rinforzati nei punti critici da connessioni meccaniche, che legano i listelli posizionati in modo tale da rigurre di sforzi da taglio e flessione a cui sarà sottoposto il compensato una volta montato.

In questo modo è stato possibile ridurre lo scarto di produzione a soli 7,7% per pannello di base, da cui è possibile ricavare ben 18 singoli moduli.

Fig 89: Script di Grasshopper e Wasp che ha permesso la costruzione del modello digitale completo.
Propria Elaborazione

Pagine Successive -Fig 90,91:
La produzione dei moduli in numeri.
Propria Elaborazione.



PRODUZIONE DEL MODULO PIENO

57% del Totale

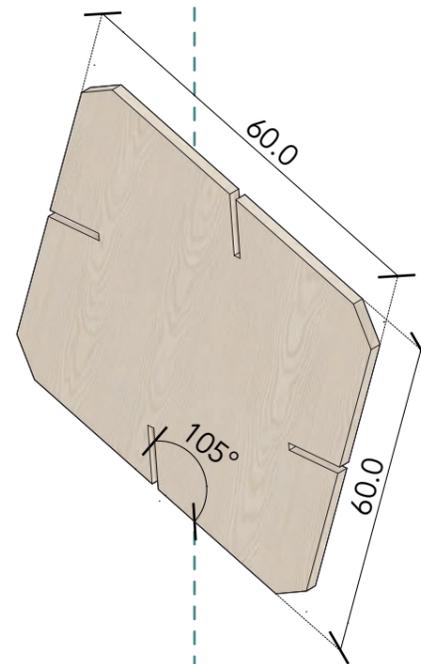
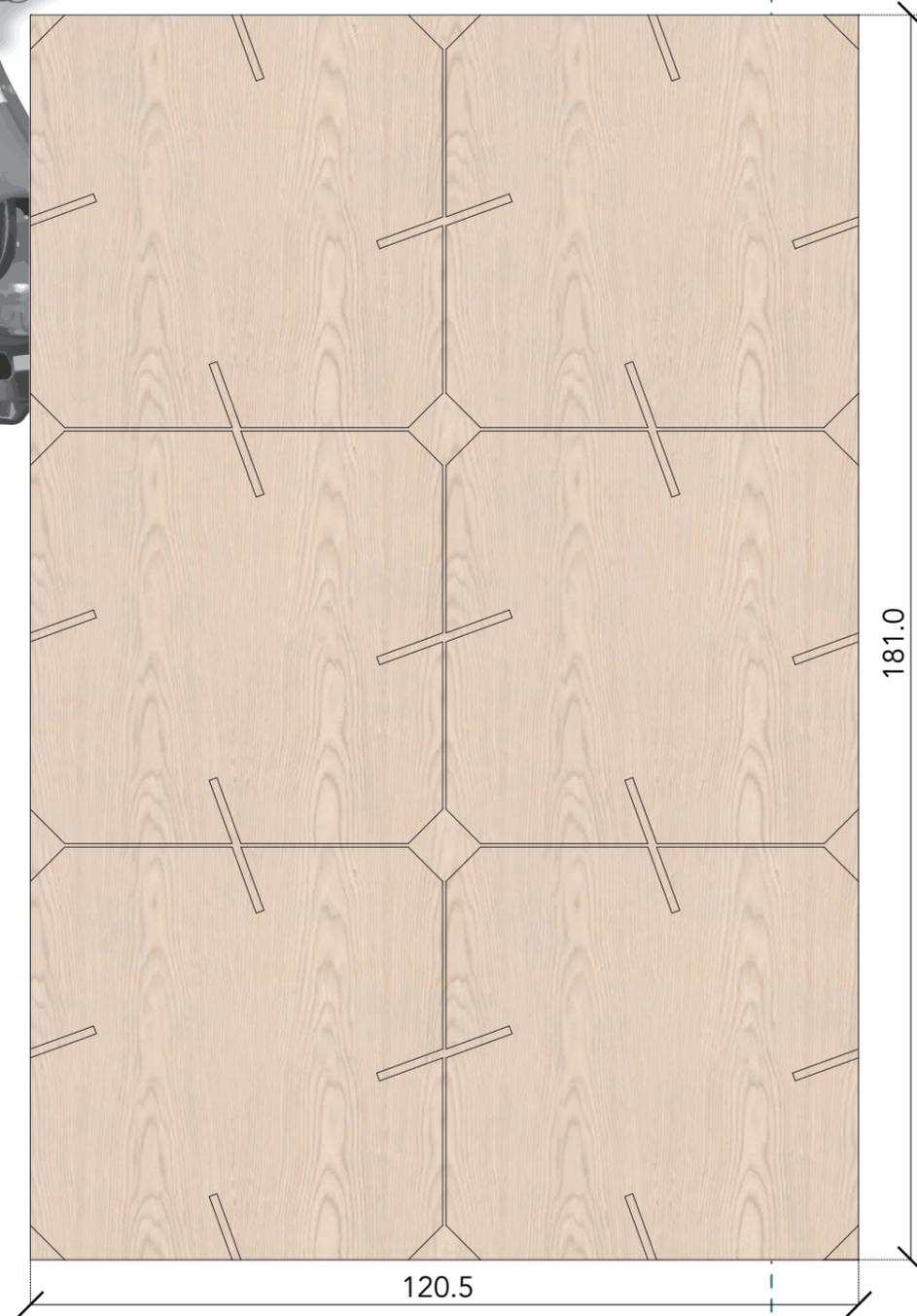
scala 1:10

1 Taglio pannello di compensato (7 strati) per ricavare i moduli

1

2

Modulo Pieno:
Peso 2,6 kg
Porosità 0%



1 Pannello = 6 Moduli
6.28 % scarto di produzione
277 Pannelli = 1663 Moduli

i

PRODUZIONE DEL MODULO POROSO

43% del Totale

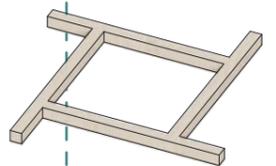
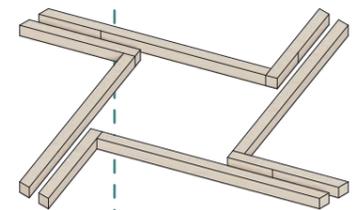
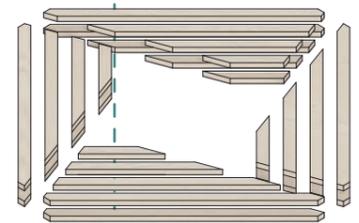
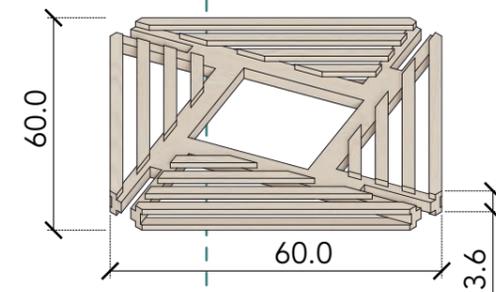
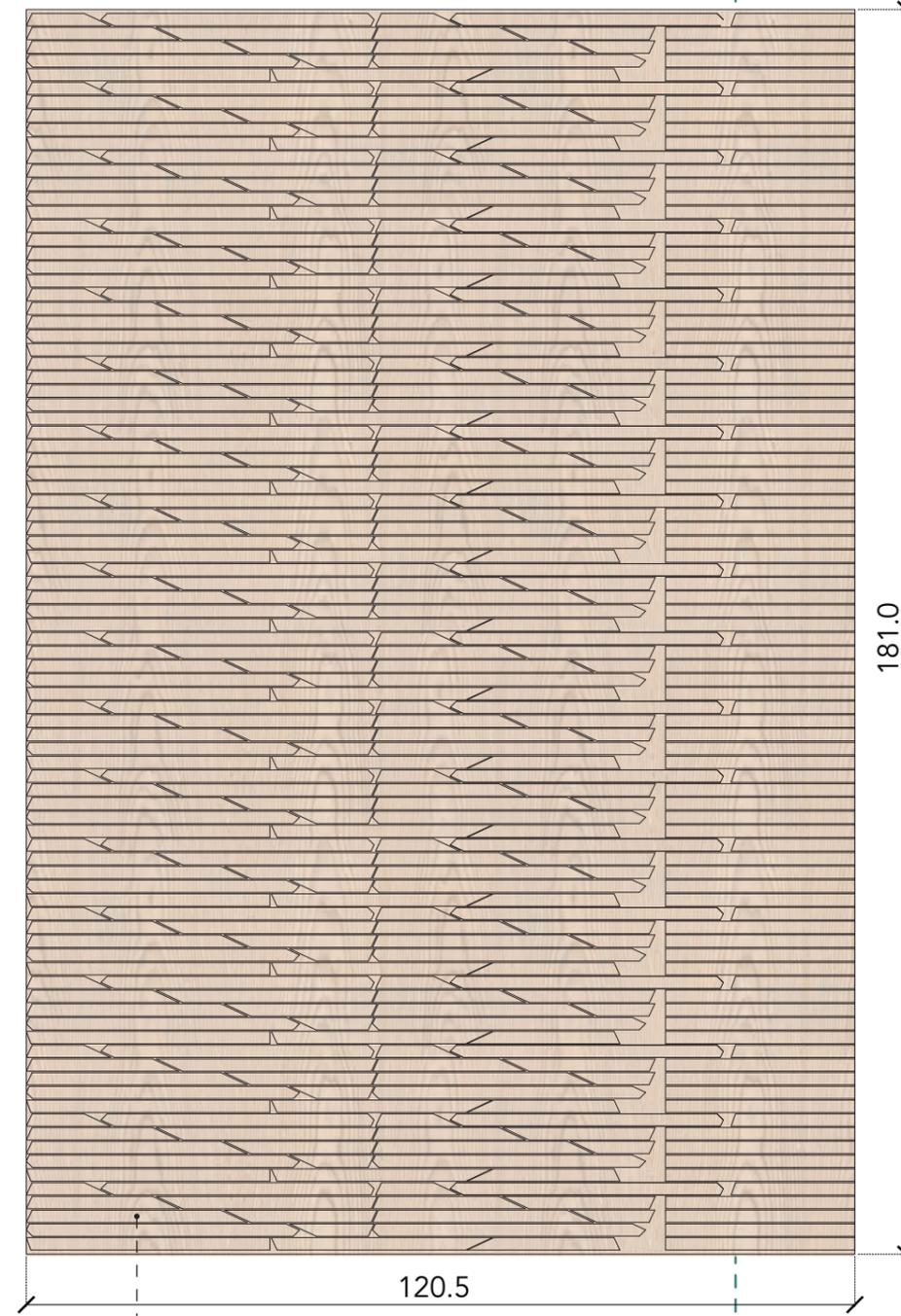
scala 1:10

1 Taglio pannello di compensato (7 strati) per ricavare listelli per i moduli

1

3

Modulo Poroso:
Peso 1,9 kg
Porosità 66%



23 Listelli per Modulo
1 Pannello = 18 Moduli
7.70 % scarto di produzione
77 Pannelli = 1375 Moduli

i

2

Assemblaggio dei listelli tramite collanti

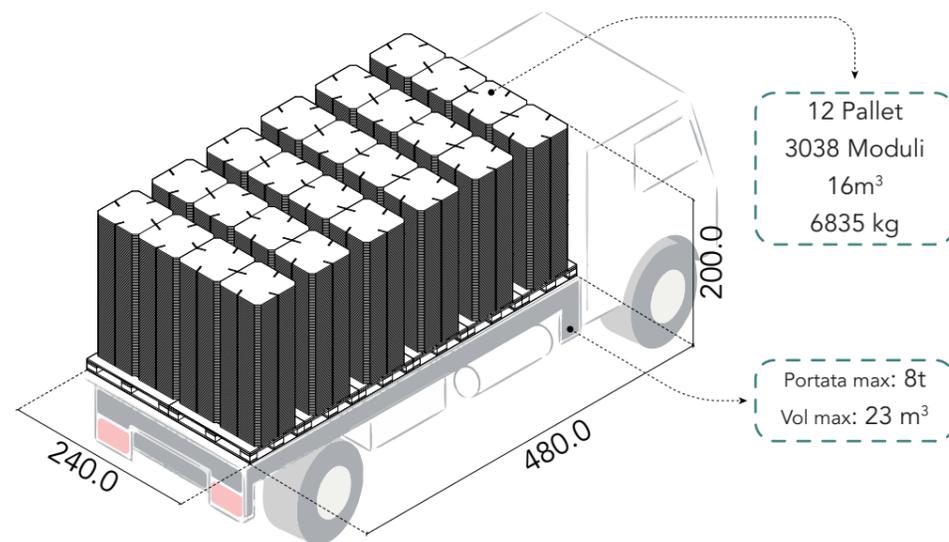
Va però ricordato che le indicazioni relative alla costruzione del modulo poroso, possono presentare problemi strutturali relativi alle connessioni tra le parti che compongono il modulo, comunque facilmente risolvibili attraverso uno studio più approfondito della sua geometria porosa.

Una finale attenzione è stata rivolta al **trasporto dei moduli smontati**, il quale obiettivo fin dalle fasi iniziali del presente lavoro era legato alla facilità di trasporto per essere spostato da una posizione all'altra, in modo da costituire un vero e proprio padiglione itinerante sul territorio di Torino. A tale scopo, vi è la necessità che i moduli occupino il meno spazio possibile, in modo da ridurre il numero di mezzi impiegati per il trasporto, influenzando sull'impatto ambientale ed economico che lo spostamento del padiglione può provocare.

Va sottolineato che la quantità dei moduli presentata nelle pagine precedenti è un numero indicativo, puramente dipendente dalle dimensioni del padiglione che si vuole ottenere. Di conseguenza, per tenere la stessa linea di sviluppo, anche nelle quantità fornite per le indicazioni di trasporto è stato assunta la geometria di base per cascina roccafranca, che richiede una media di **3038 moduli** per ciascuna configurazione stagionale.

Una volta prodotti in stabilimento, tale quantità dei moduli occupa un volume di 21.16 m³, che potrà essere caricata su 12 europallet sul cassone di dimensioni pari a 480x240x200 di una singola motrice da due assi (Fig 92). Questa dimensione equivale ad un camion di intermedio, che può essere facilmente usato per il trasporto presso un qualsiasi luogo, date le dimensioni abbastanza contenute per questa tipologia di trasporto.

Fig 92: Sistema di trasporto adottato.
Propria Elaborazione.



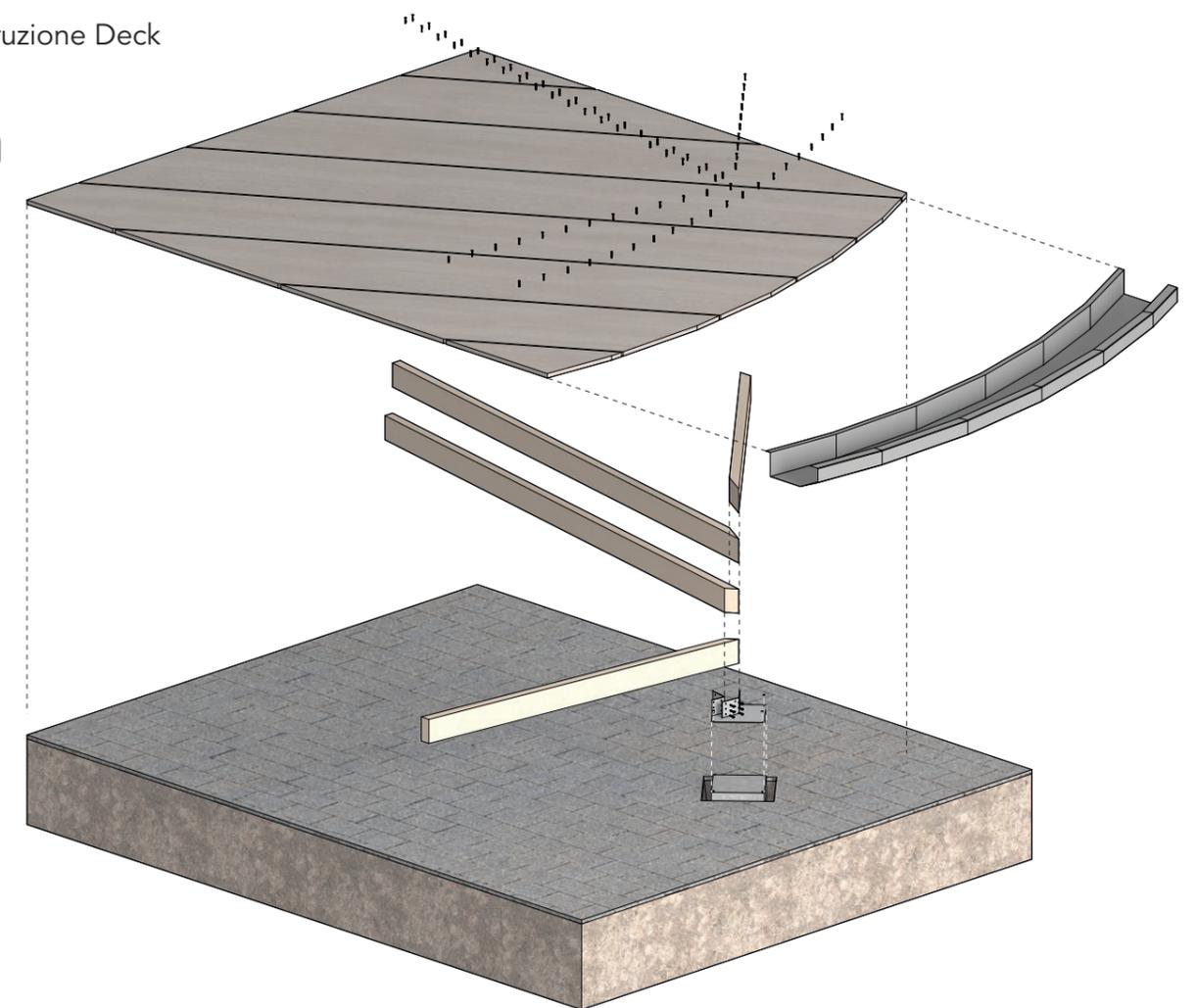
5.3

Tecnologia e Montaggio del Padiglione

Una volta prodotti e trasportati i moduli presso la Cascina Roccafranca, è necessario montarli su un **basamento** appositamente progettato. Esso ha la funzione principale di rialzare la struttura dal terreno, riducendo il rischio di marcescenze, di garantire il passaggio di aria e acqua al di sotto del padiglione, e ovviamente fornire una base solida e strutturale per i numerosi moduli su cui appoggeranno.

In generale (Fig 93), la costruzione del basamento poggia su 16 **plinti prefabbricati** quadrati di lato 30cm, posizionati nel terreno sottostante

1 Costruzione Deck



al pavimento esistente, in una posizione delimitata dallo schema morfologico in pianta. Il cappello dei plinti è dotato di quattro barre tirafondi che andranno collegate ad una **piastra di supporto** in acciaio, che ha lo scopo di collegare e fissare le posizioni delle sovrastanti **travi in larice** di altezza di 12cm. Nonostante le travi abbiano sezione identica tra loro, è necessaria un'operazione di taglio in corrispondenza degli estremi, in modo da poter completare il nodo a stella. Per questo motivo, le travi avranno lunghezza e angolo degli estremi ben precisi, identificato da un numero assegnato in fase di produzione. Una volta posizionate le travi nelle posizioni corrette, gli operatori specializzati che operano in questa fase, provvederanno a fissare le travi alle piastre tramite chiodi e viti. Successivamente, sulle travi verrà posizionato il **pavimento in WPS** dello spessore di 2cm, un materiale post-consumo in plastica mista bamboo, che visivamente è uguale al legno, ma non presenta i suoi svantaggi in quanto è un materiale inerte meno tendente all'usura nel tempo. Anche le doghe del pavimento sono uniche e perciò andranno posizionate in una posizione precisa. Dato che i moduli montati non forniscono particolare protezione rispetto alle piogge, vi è una particolare rilevanza nel trattare il tema delle acque.

Se da un lato i moduli resistono abbastanza bene all'insorgenza di degradi e dilatazioni a causa del trattamento alle resine fenoliche e dal loro posizionamento quasi sempre obliquo rispetto al piano orizzontale, che ne permette lo scolo, la stessa cosa non può essere detta del deck basamentale. Per evitare di introdurre un ulteriore elemento di complessità tramite un pannello di pendenza aggiuntivo, si è deciso di aumentare la distanza tra le **fughe delle doghe** di WPS a 0,5cm, in modo

Fig 93: Schema Costruttivo del basamento.
Propria Elaborazione.

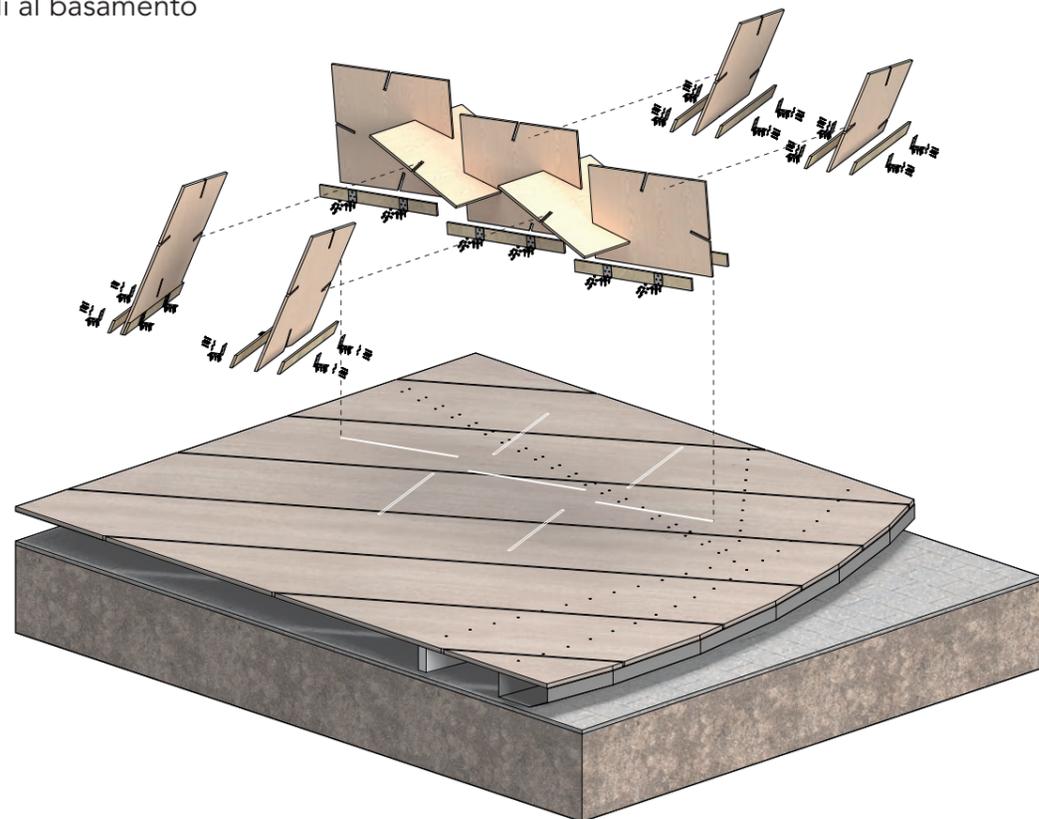
che l'acqua scenda direttamente sul pavimento esterno esistente. Il fissaggio delle doghe di WPS avviene tramite chiodatura/avvitatura. Ultimo elemento relativo alla costruzione del basamento è la **lamiera piegata** per il passaggio delle eventuali componenti elettriche di illuminazione, che verrà fissata lungo il perimetro del basamento tramite chiodatura, all'intradosso del pavimento.

Una volta completata la costruzione del basamento, si può passare alla fase dell'**assemblaggio del padiglione vero e proprio, che avverrà in due momenti differenti**. Anche in questo caso, si è supposto che l'assemblaggio avvenga da parte di personale qualificato, che si servirà di puntelli per evitare microspostamento della struttura durante questa delicata fase. Questa decisione è stata presa per evitare di far incorrere la popolazione in problemi legati ai rischi connessi alla costruzione, e alle basse tolleranze derivate da queste dimensioni della struttura. Sarà comunque concessa alla comunità la movimentazione delle parti libere - cioè quelle con meno di due incastri occupati - in modo da garantire un certo tipo di adattività e da instaurare almeno in parte un sistema di gioco, ad esempio per creare arredi customizzati per le varie attività che si possono svolgere entro la struttura.

Il primo passaggio della costruzione (Fig 94) della struttura schermante è relativo al montaggio dei primi moduli, cioè quelli che poggiano direttamente sul pavimento del basamento.

Fig 94: Schema Costruttivo dei primi moduli del padiglione. Propria Elaborazione.

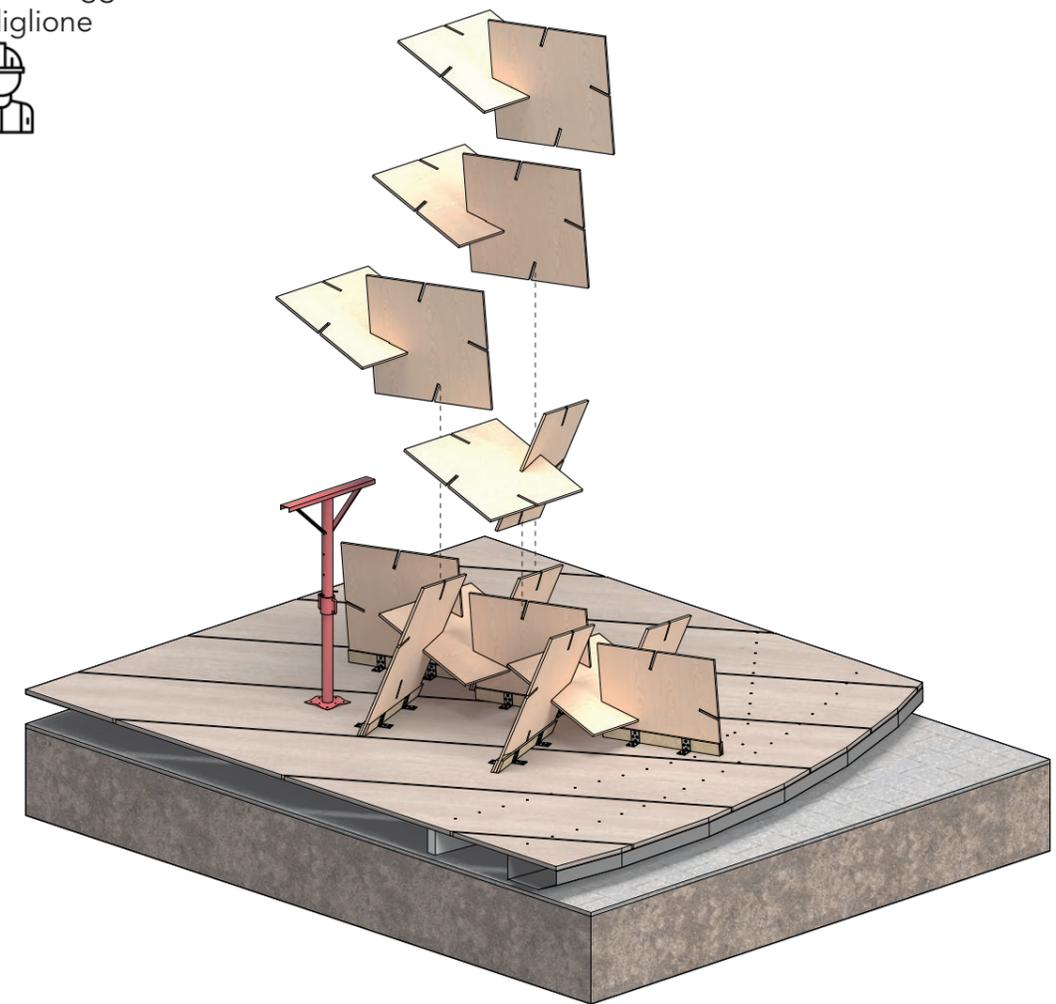
2 Fissaggio dei primi moduli al basamento



E' necessario che questi moduli, per ovvie ragioni strutturali, siano pieni, e inoltre, tagliati secondo una precisa angolazione per farli aderire completamente al pavimento. Essi andranno posizionati in punti specifici da segnare sul pavimento, le cui posizioni sono ricavate dal modello digitale, in modo da garantire le capacità combinatorie del modulo anche nei punti più alti della struttura, in quanto il senso di costruzione del padiglione segue le modalità dal basso verso l'alto, similmente alla costruzione di una volta. L'attacco a terra tra i moduli e il pavimento del

deck, avviene giuntando delle piastre metalliche tramite viteria il pannello spessorato, in modo che siano **compensati gli sforzi di flessione** che si verranno a creare mano a mano che si aggiungeranno moduli, evitando il ribaltamento delle aggregazioni già montate. Una volta posizionati tutti i moduli alla base, si può procedere con la seconda fase di montaggio del padiglione (Fig 95).

3 Assemblaggio Padiglione



Come si è detto nel capitolo precedente, in questa fase gli operatori dovranno seguire due semplici regole al fine di completare il padiglione aggregato: la prima, riguarda l'orientamento dei moduli ed è visibile nella fig 83, mentre la seconda è relativa alla buona pratica di montare i moduli nell'aggregazione in maniera accoppiata, così da permettere un agevole incastro delle connessioni intervincolate.

L'assemblaggio delle particelle deve necessariamente partire dal basso ed essere simultaneo lungo il perimetro del basamento. In questa fase non sono necessarie connessioni meccaniche aggiuntive, in quanto le connessioni femmina-femmina presenti nei moduli garantiscono una struttura autoportante, a condizione che almeno 2/4 connessioni possibili siano occupate. Ciò nonostante, al fine di garantire delle condizioni di sicurezza per i montatori ed evitare microassettamenti della struttura, si decide di implementare una serie di **puntelli a croce**, da posizionare a supporto dei moduli più in alto, in modo che il loro funzionamento sia analogo a quello di una centina, che nella sua forma tradizionale è difficilmente realizzabile per questo tipo di struttura.

Mano a mano che la costruzione aggregata raggiungerà altezze maggiori, verranno aggiunti sempre più puntelli per sorreggere il manufatto

Fig 95: Schema Costruttivo del montaggio dei moduli. Propria Elaborazione.

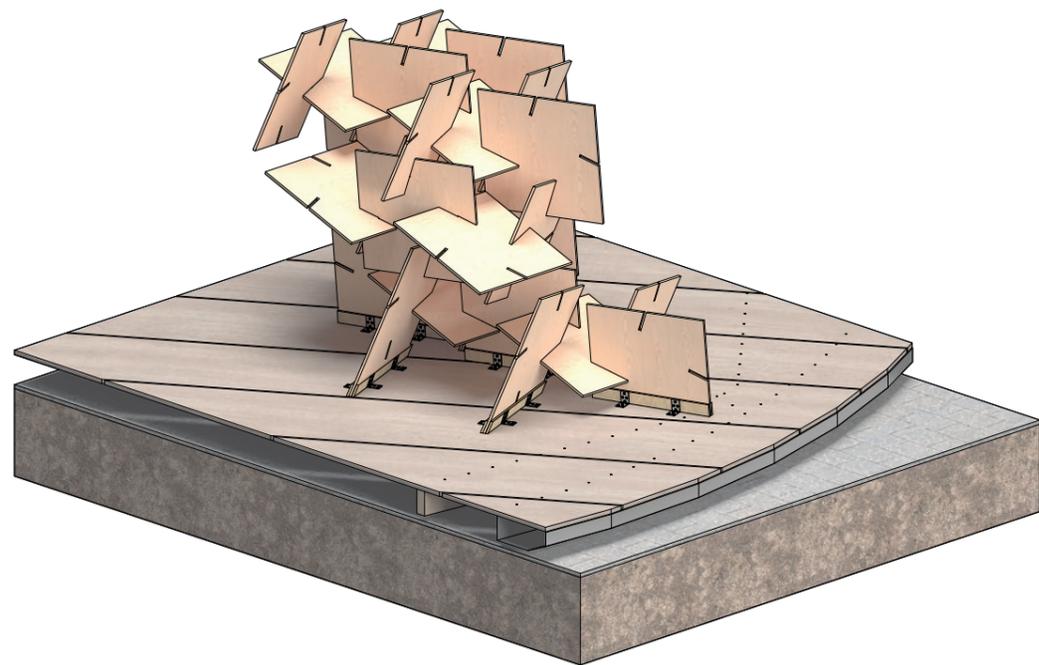


Fig 96: Schema Costruttivo del montaggio dei moduli. Propria Elaborazione.

aggregato. Una volta posizionati i moduli sommitali, che svolgono funzione di "chiave di volta" è possibile procedere al disarmo dei puntelli, concludendo il processo di costruzione (Fig 96).

Appena gli addetti hanno completato la costruzione del padiglione, eliminando i rischi legati alla fase di messa in opera, la comunità può iniziare a fruttare lo spazio che si è venuto a creare, con la possibilità di rimodellarlo leggermente tramite l'apposizione di nuovi moduli, oppure spostamento o eliminazione di quelli già inclusi nell'aggregazione.

In quanto l'obiettivo di questa fase è stato lo sviluppo di un sistema di discretizzazione non solo per la geometria globale sviluppata nel capitolo precedente, ma per qualsiasi forma, la libertà di implementazione e aggregazione di questo tipo di particelle è molto ampia: è possibile infatti assemblare la più varia gamma di arredi come sedie, tavoli, panchine, ecc oltre che numerosi manufatti di natura temporanea come pensiline, sculture, giochi per bambini, ecc, dimostrando le **potenzialità delle applicazioni** di semplici moduli in legno.

Nelle pagine seguenti vengono presentati alcuni elaborati relativi al padiglione completamente costruito, sotto forma di maquette in scala 1:50 relativo al periodo estivo (Fig 97-105), e sotto forma di modello digitale rappresentato con vari elaborati (Fig 106-113).

Da notare lo spazio libero all'interno del padiglione, che può essere utilizzato per le **funzioni** definite dall'analisi dei dati urbani sociali di **instagram** della Cascina Roccafranca, di cui alcuni esempi sono rappresentati nei render delle Fig 114-117.



Fig 97: Foto modellino in scala da lato Sud.

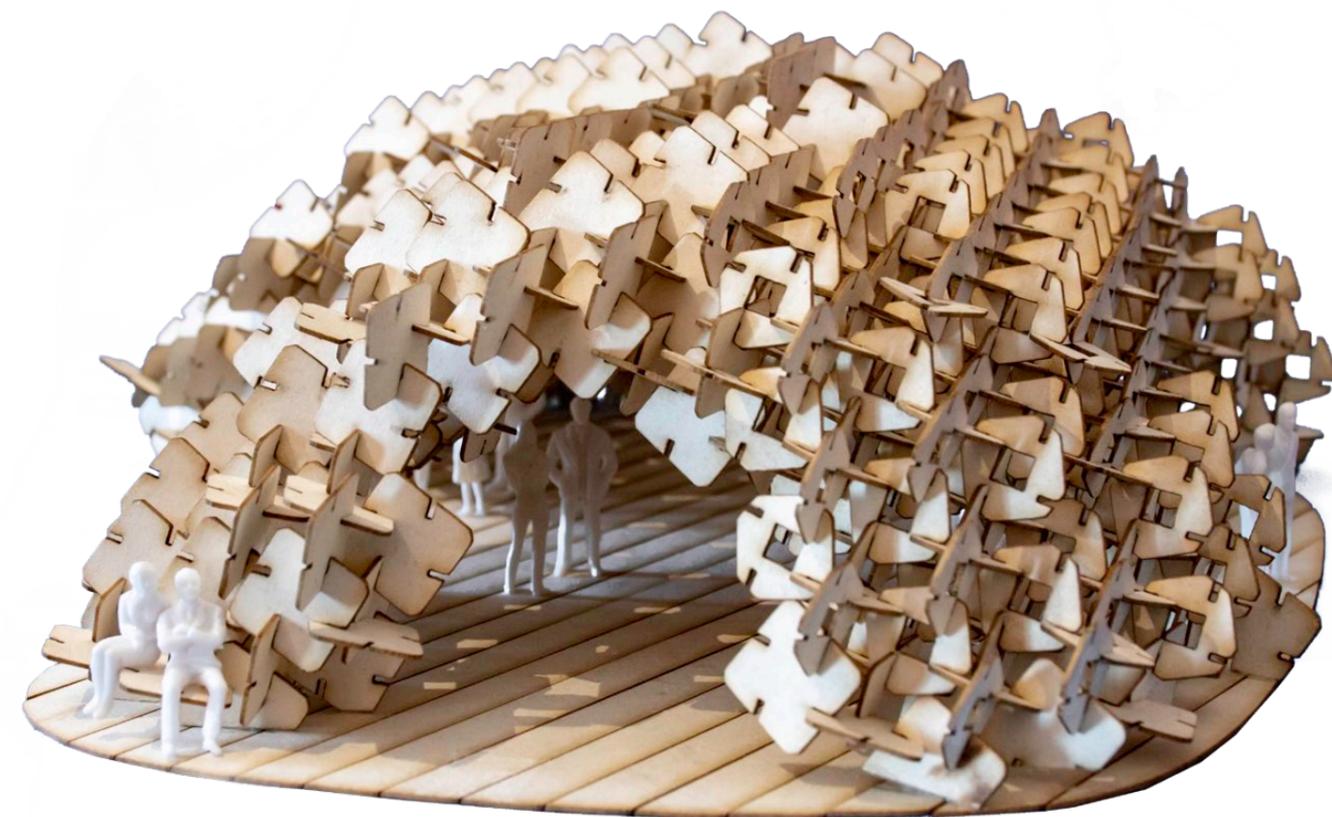


Fig 98: Foto modellino in scala da lato Sud-Est.



Fig 99: Dettaglio interno del modello in scala.

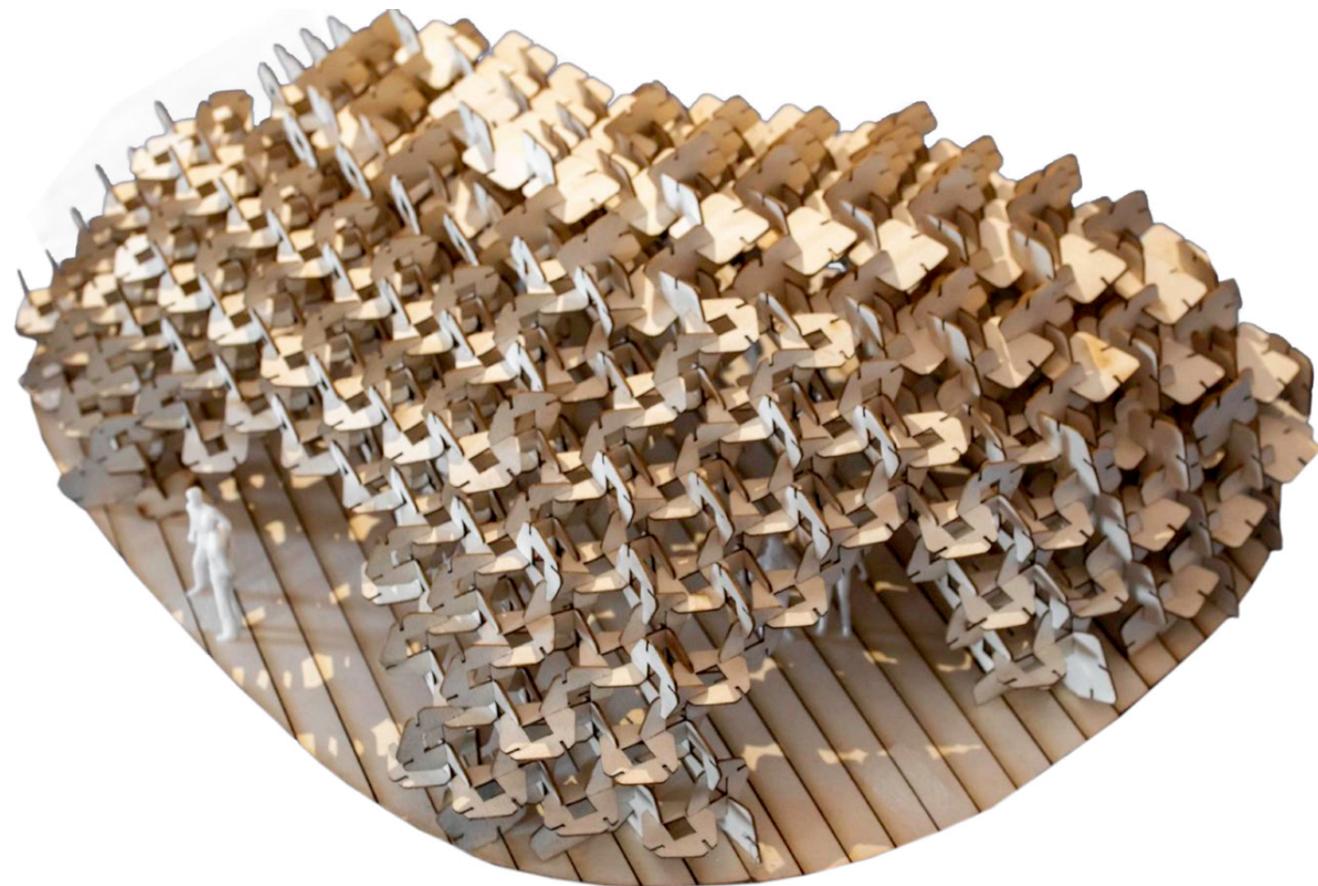


Fig 100: Foto modellino in scala da lato Nord.

Fig 101: Dettaglio ingresso Sud del modello in scala.

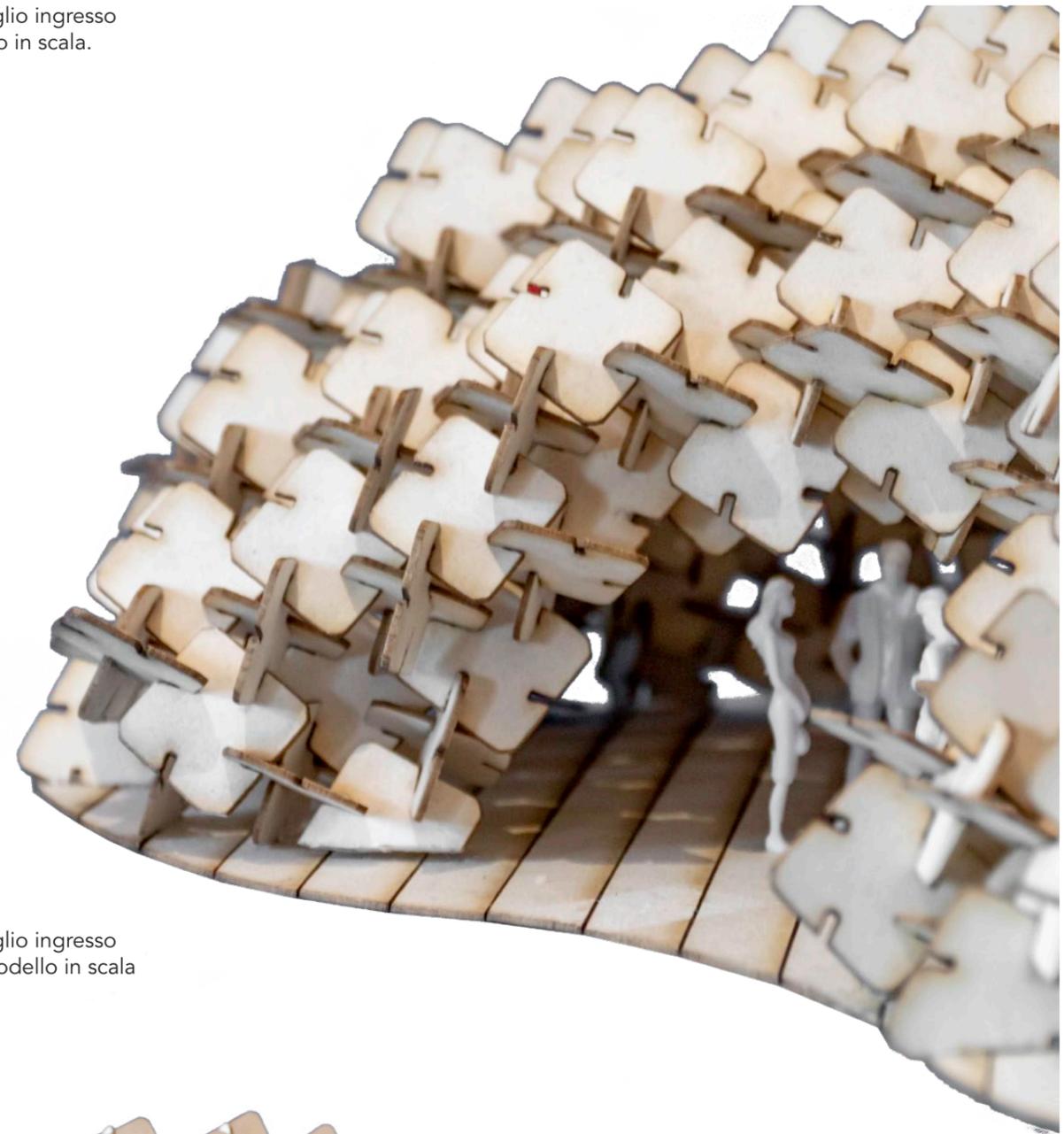


Fig 102: Dettaglio ingresso Nord-Est del modello in scala con ombre.

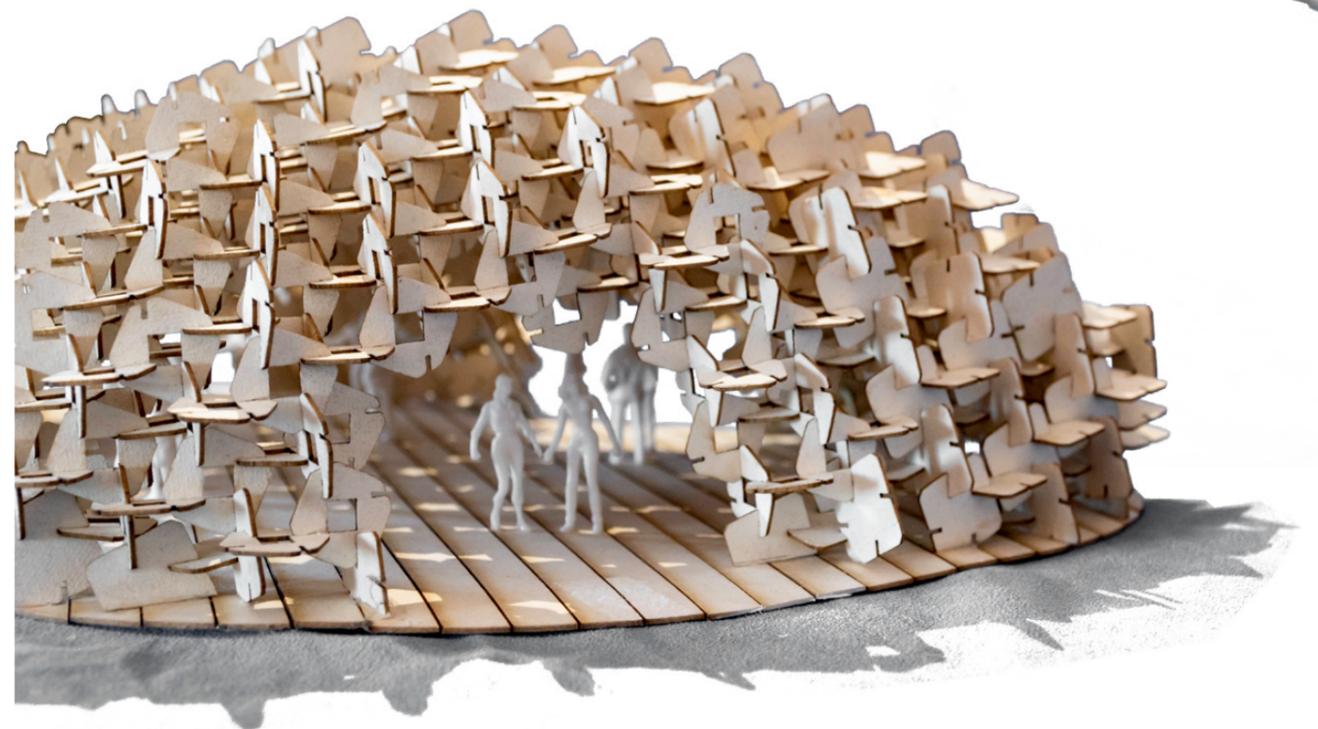


Fig 103: Vista da Nord-Est del modello in scala.

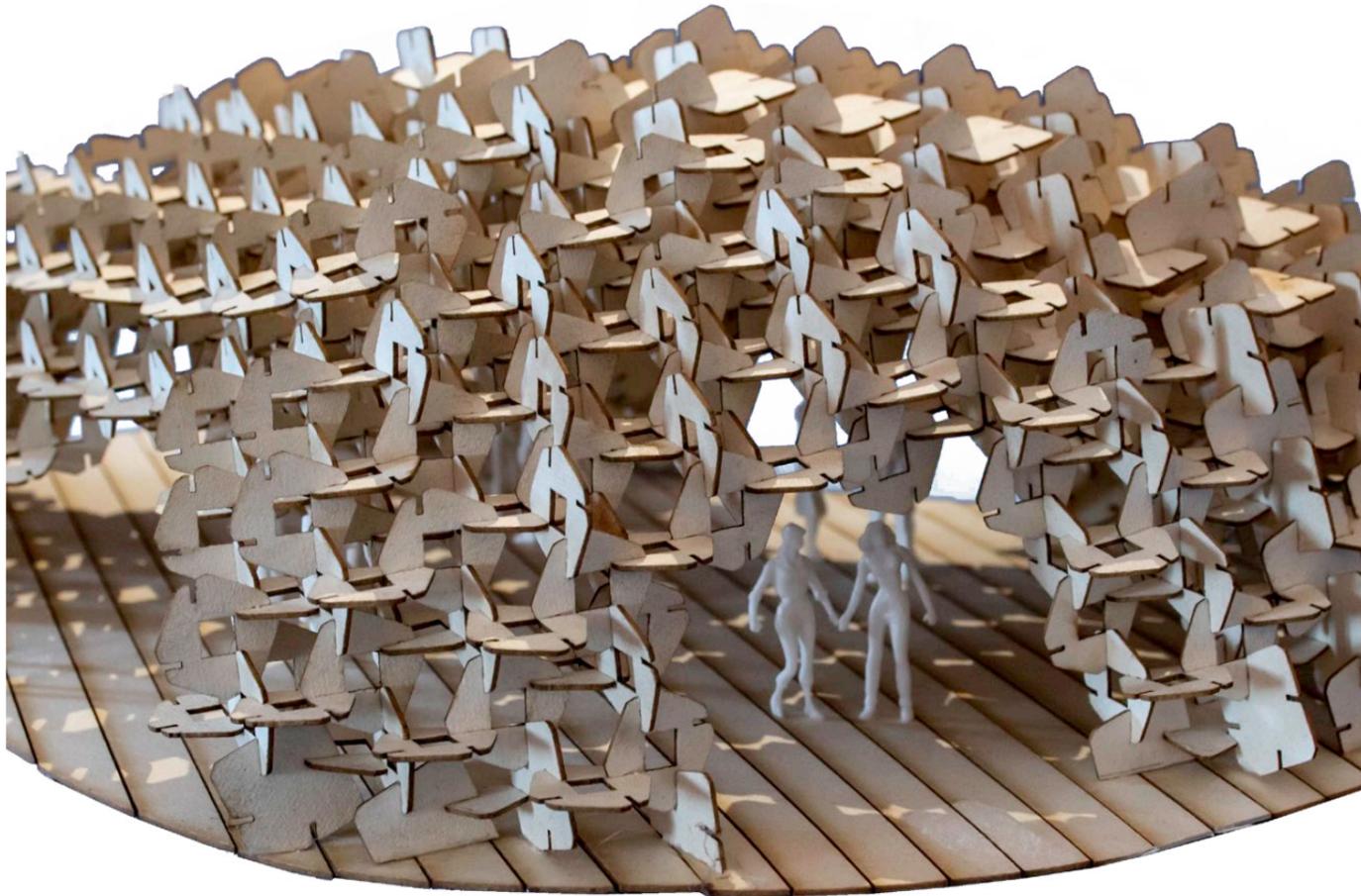


Fig 104: Dettaglio interno del modello in scala.



Fig 105: Vista del modello in scala da Nord.



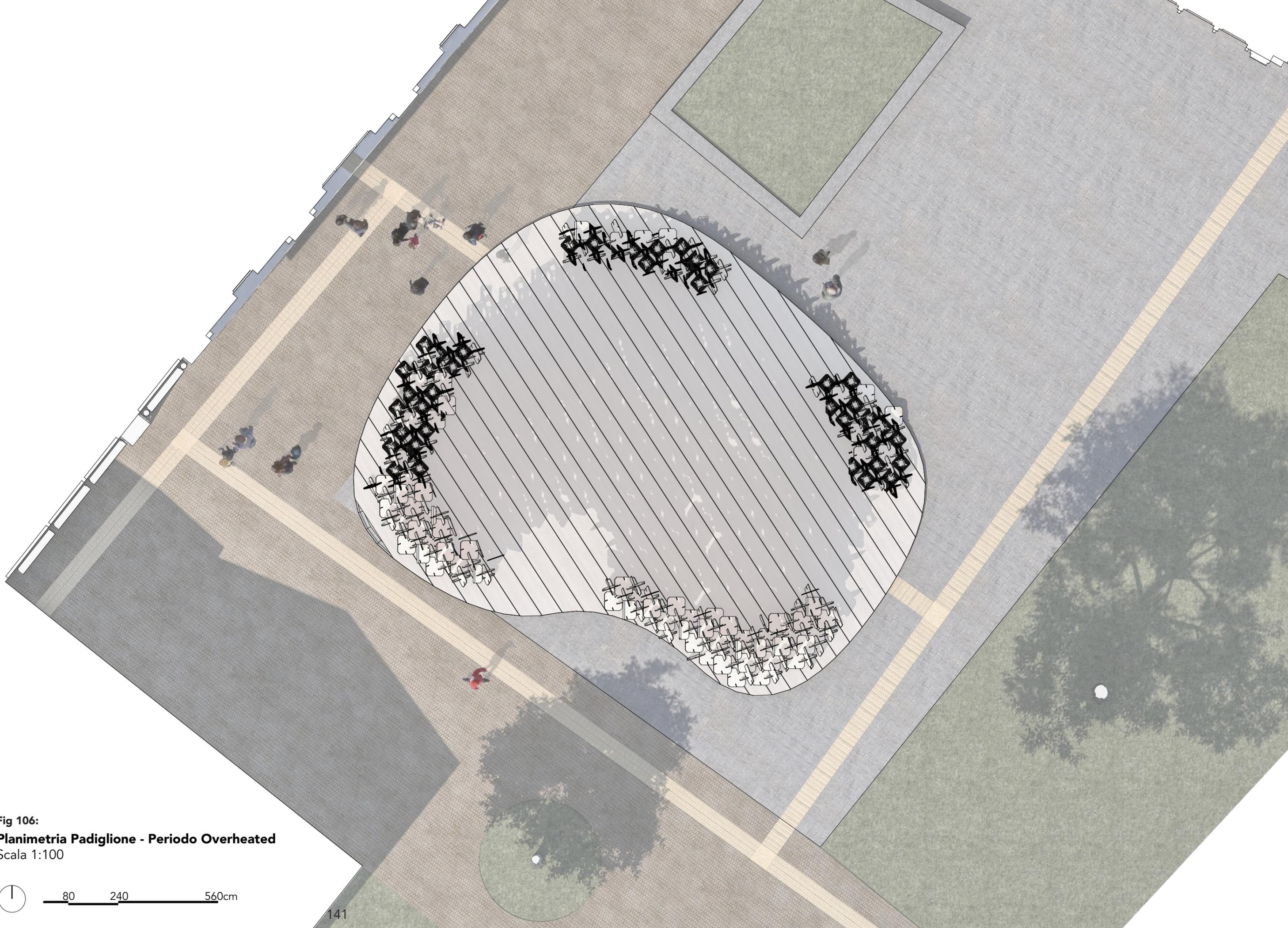


Fig 106:
Planimetria Padiglione - Periodo Overheated
Scala 1:100



80 240 560cm

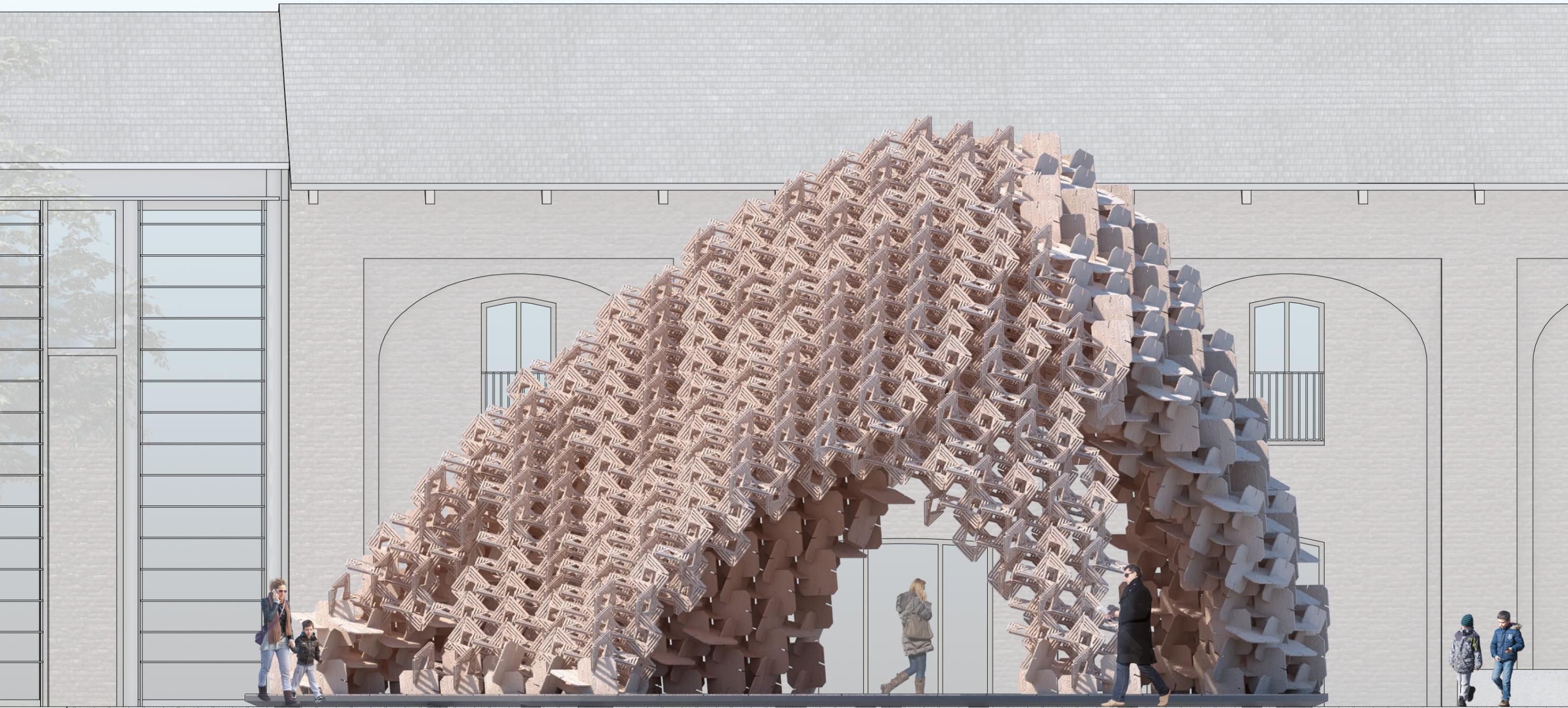


Fig 107:
Prospetto Sud-Est - Periodo Underheated
Scala 1:50

20 60 140cm



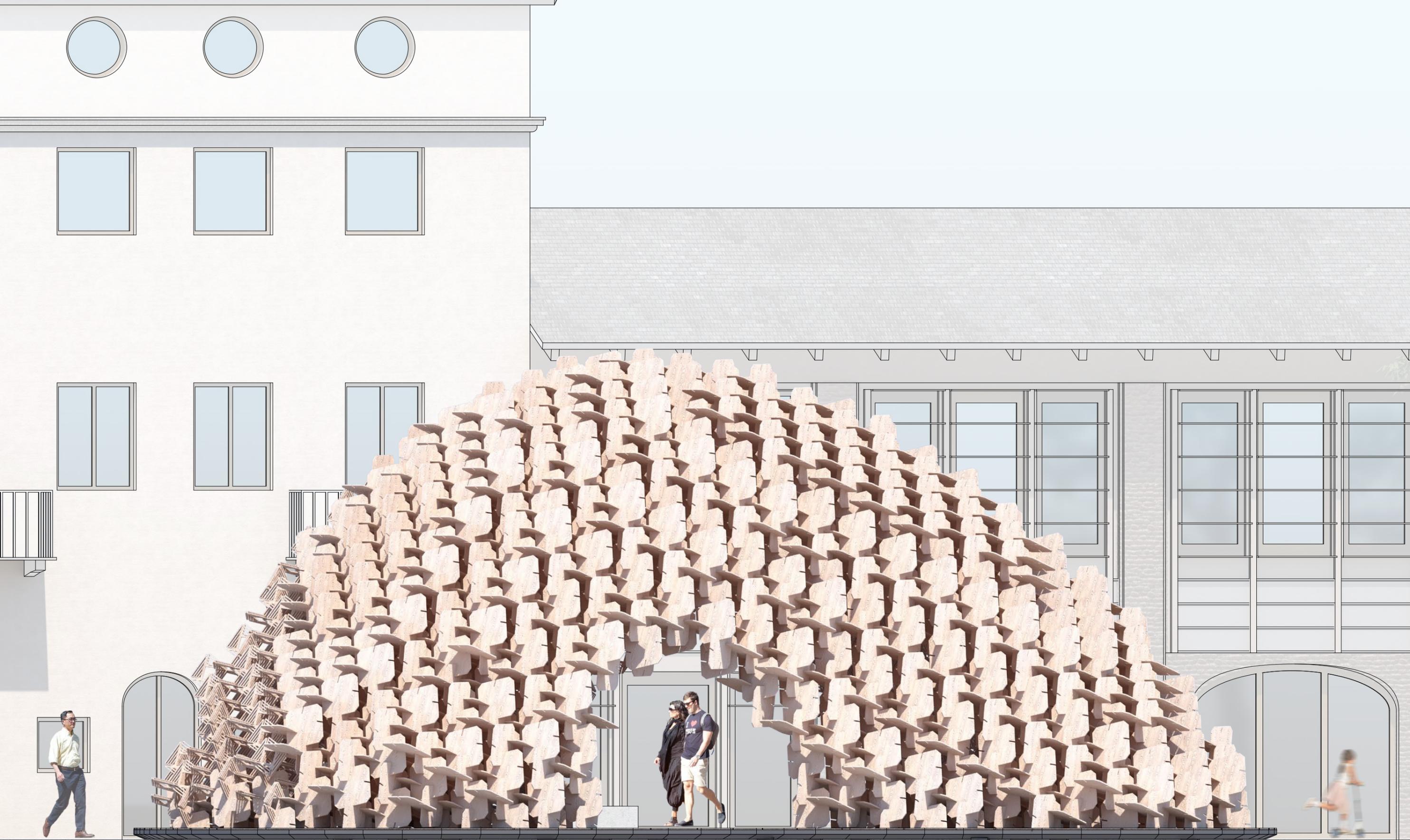
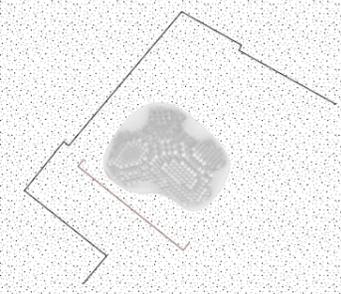


Fig 108:
Prospetto Sud-Ovest - Periodo Estivo
Scala 1:50

20 60 140cm



Sezione A-A - Periodo Estivo
Scala 1:50

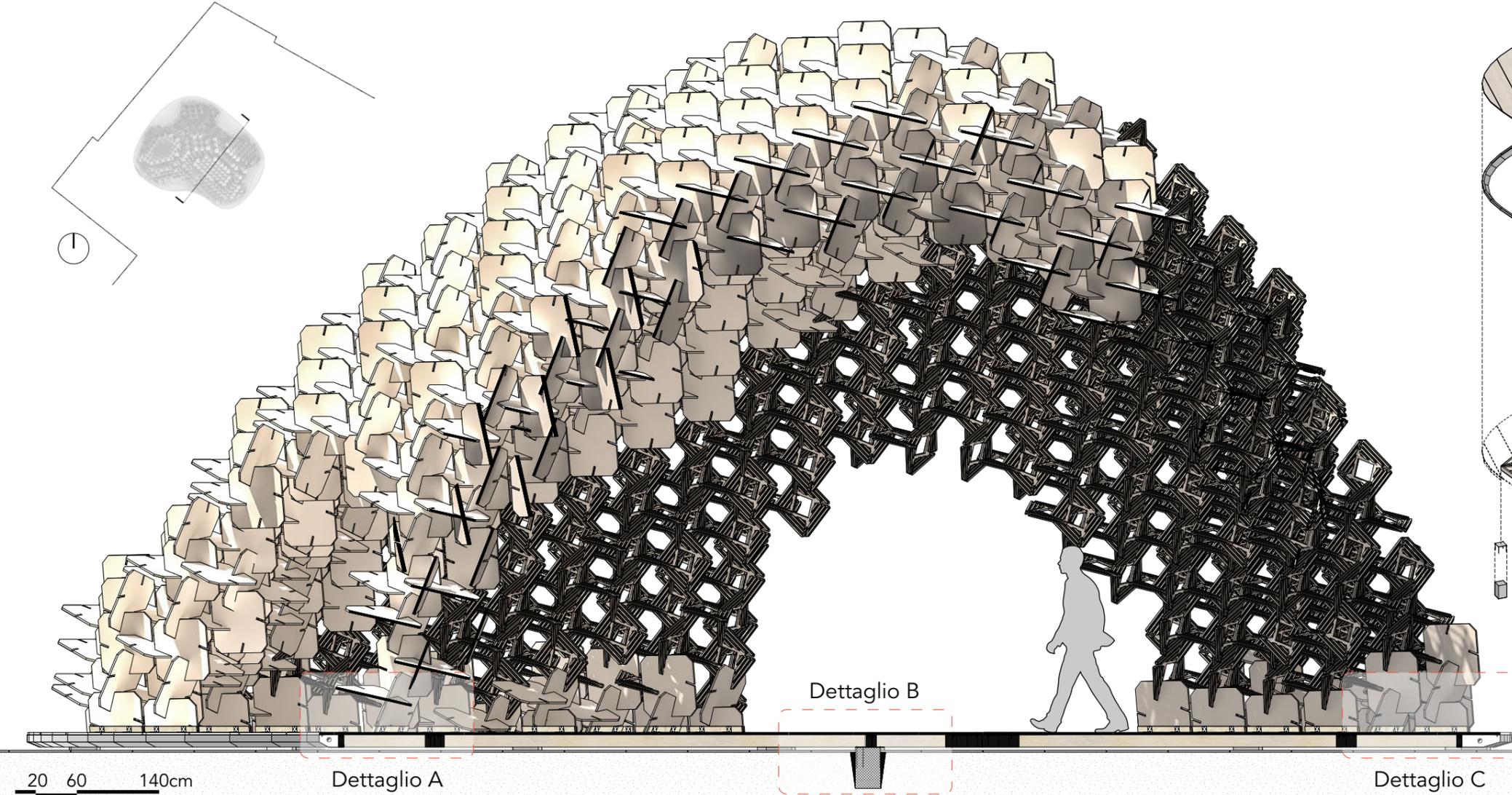
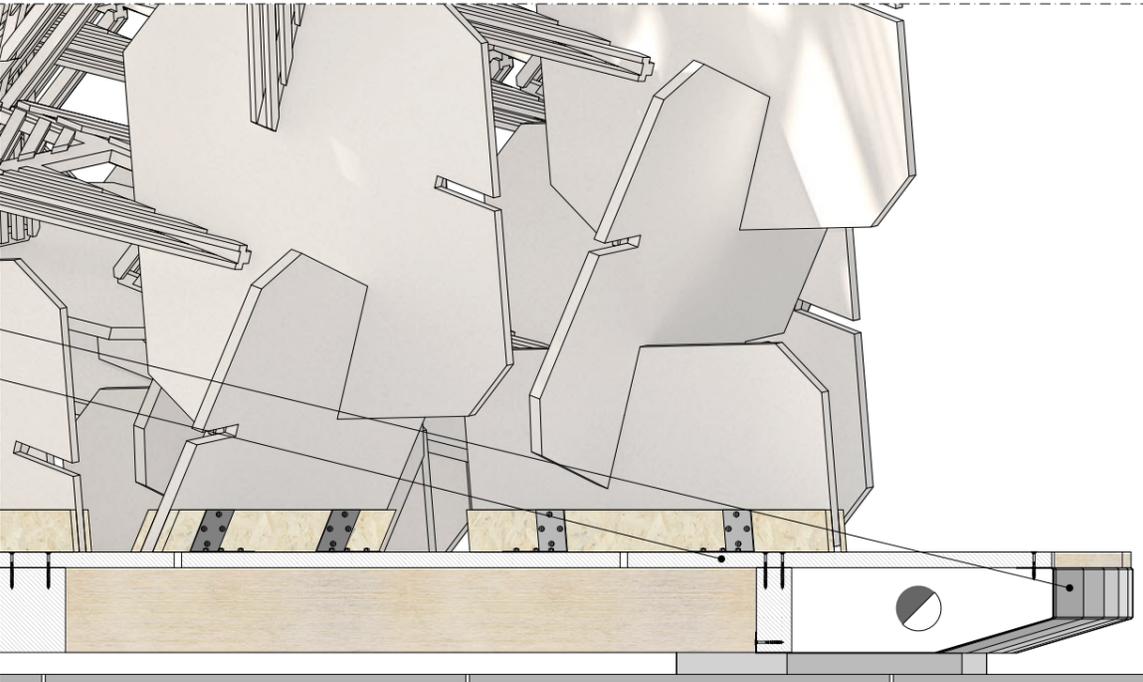
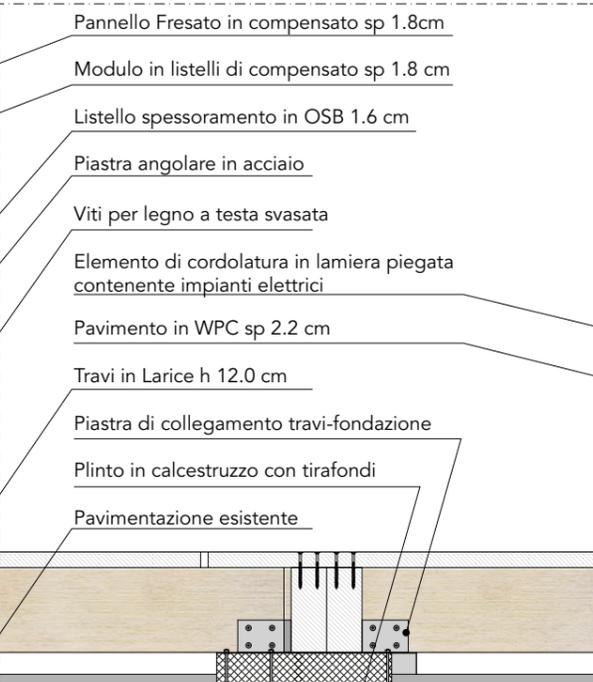
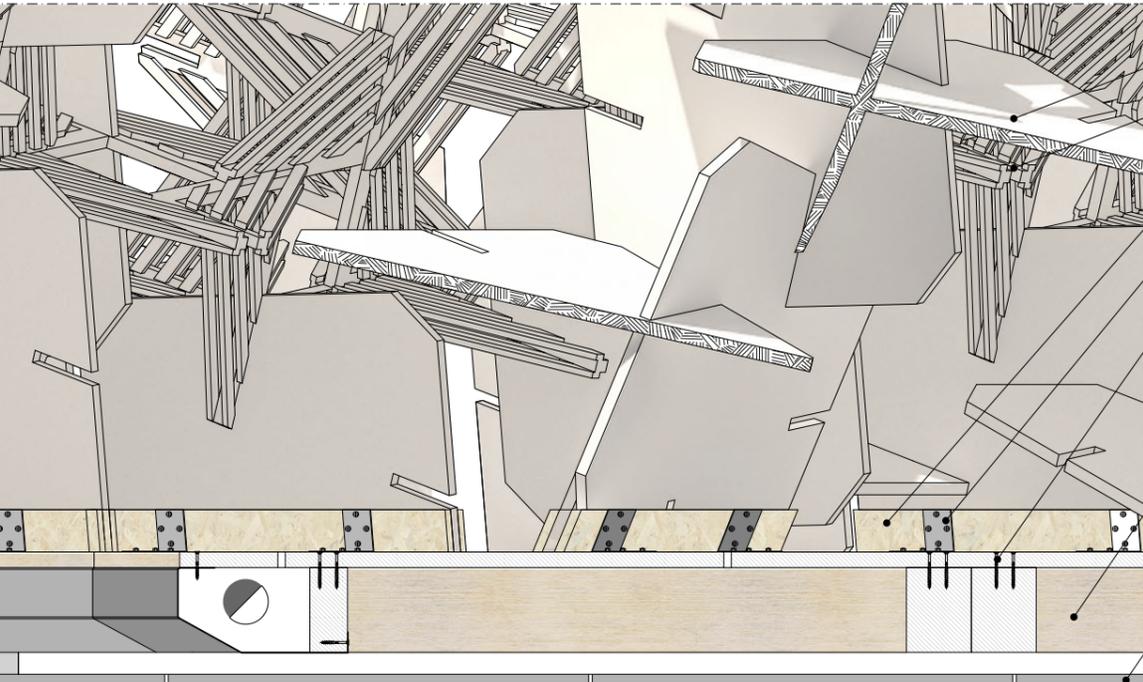
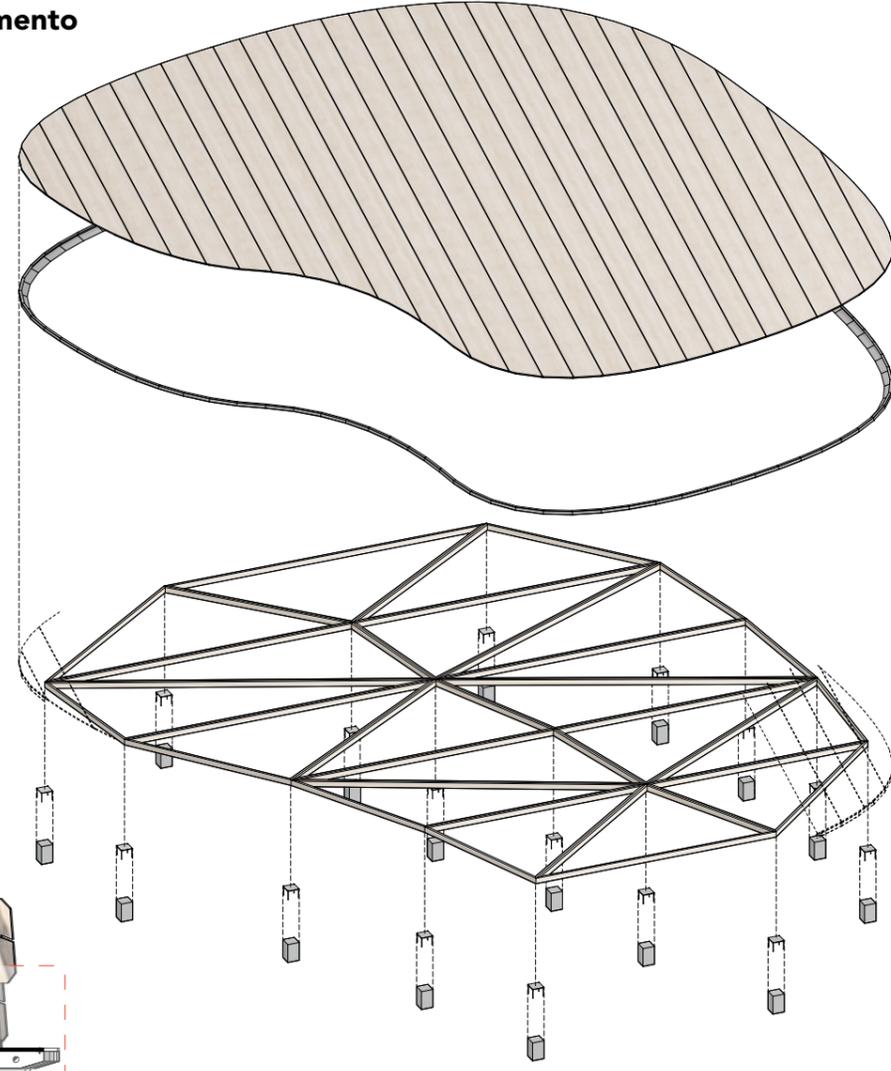


Fig 110: Esploso Assonometrico Basamento



- Pannello Fresato in compensato sp 1.8cm
- Modulo in listelli di compensato sp 1.8 cm
- Listello spessoramento in OSB 1.6 cm
- Piastra angolare in acciaio
- Viti per legno a testa svasata
- Elemento di cordolatura in lamiera piegata contenente impianti elettrici
- Pavimento in WPC sp 2.2 cm
- Travi in Larice h 12.0 cm
- Piastra di collegamento travi-fondazione
- Plinto in calcestruzzo con tirafondi
- Pavimentazione esistente

Dettaglio A - Scala 1:10 5 15 45cm

Dettaglio B

Dettaglio C - Scala 1:10

Fig 112: Rendering manufatto durante il periodo Overheated

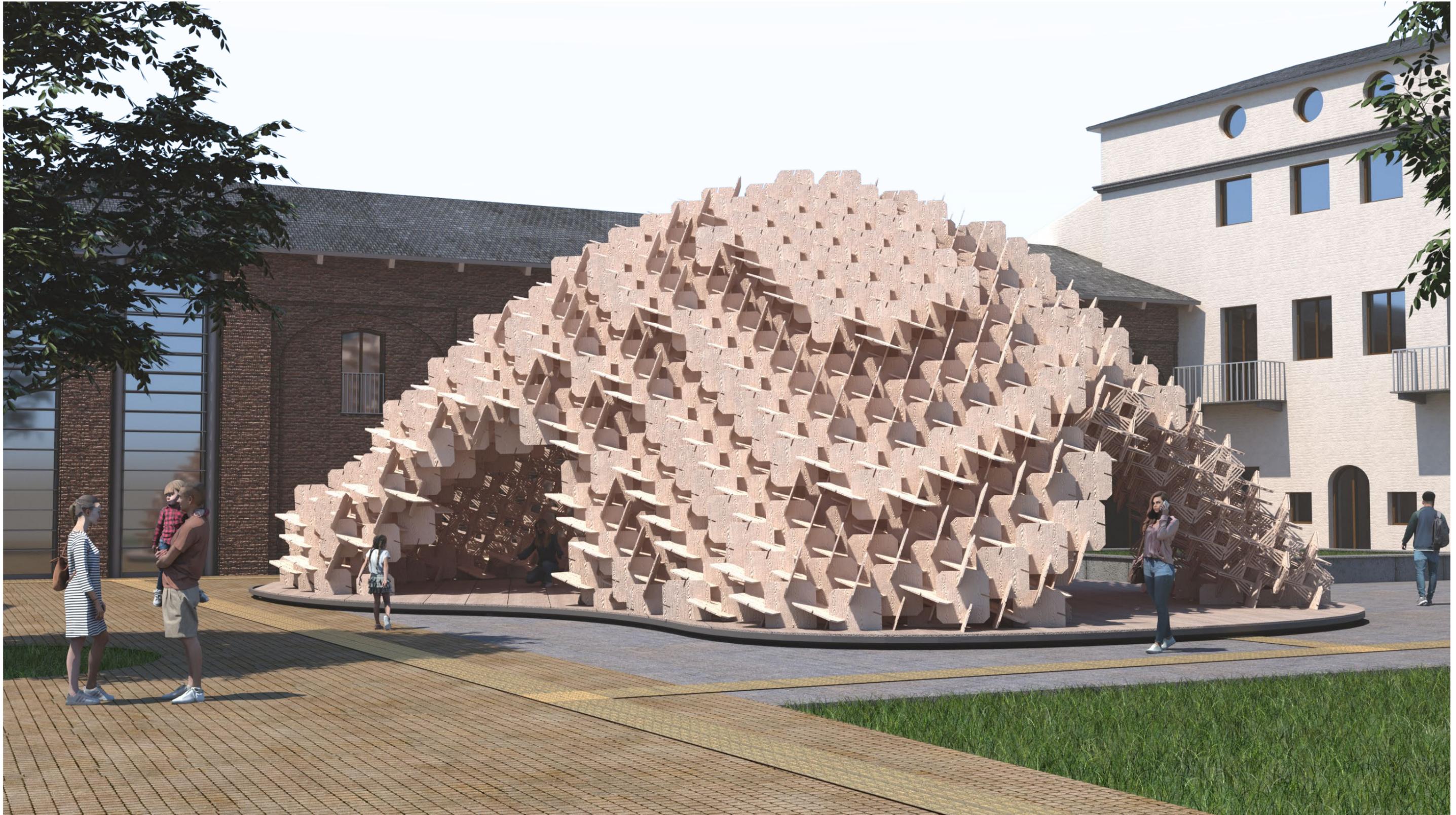


Fig 113: Rendering manufatto durante il periodo Underheated

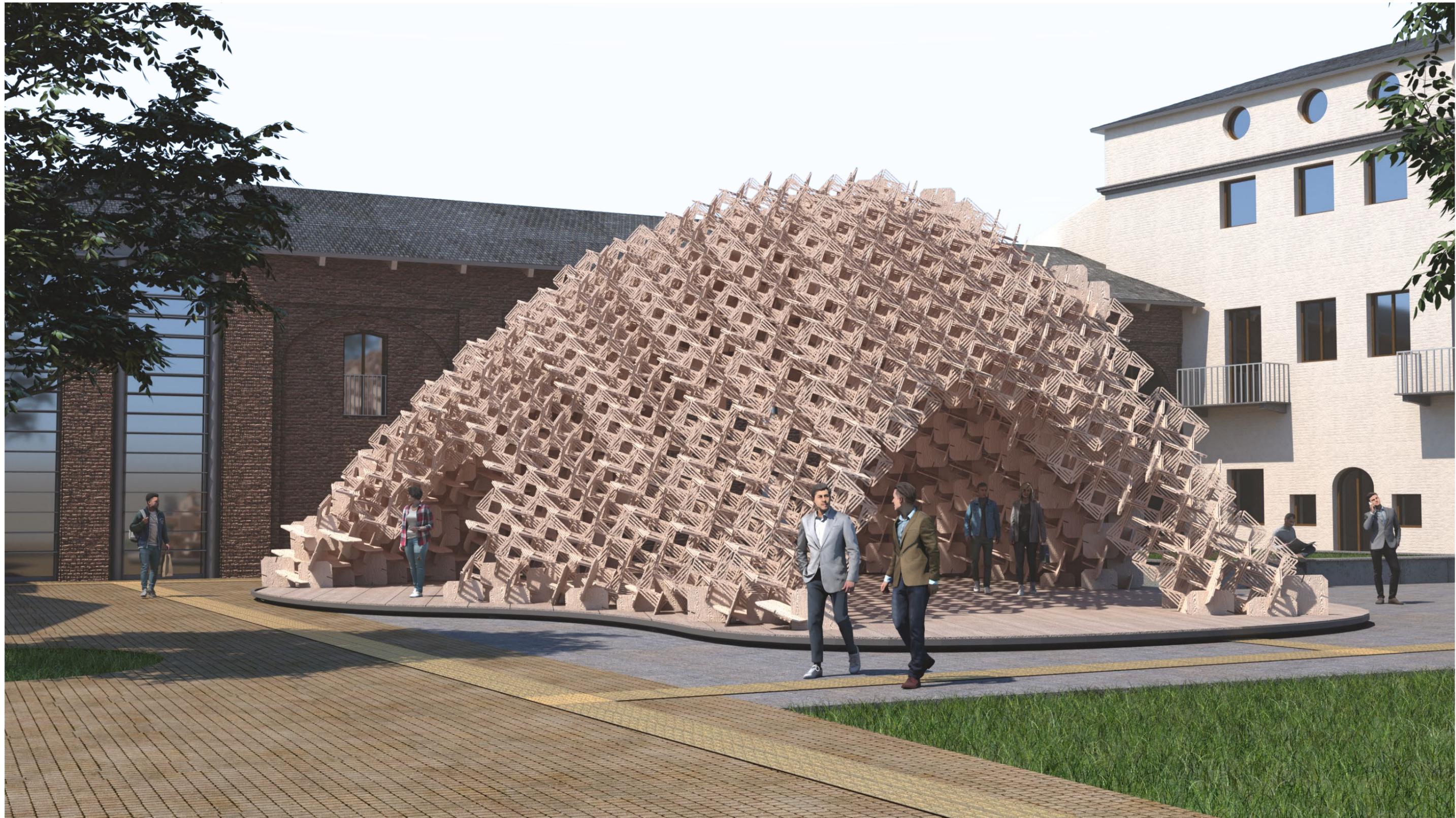
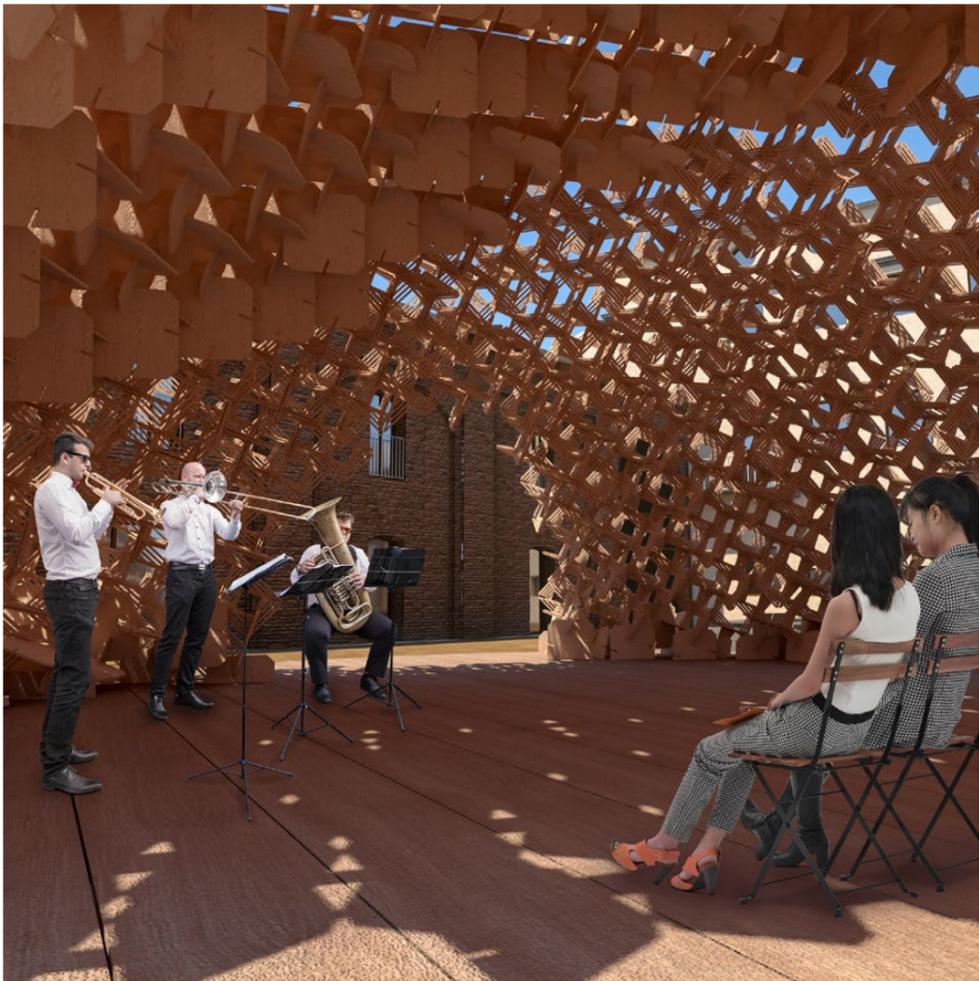
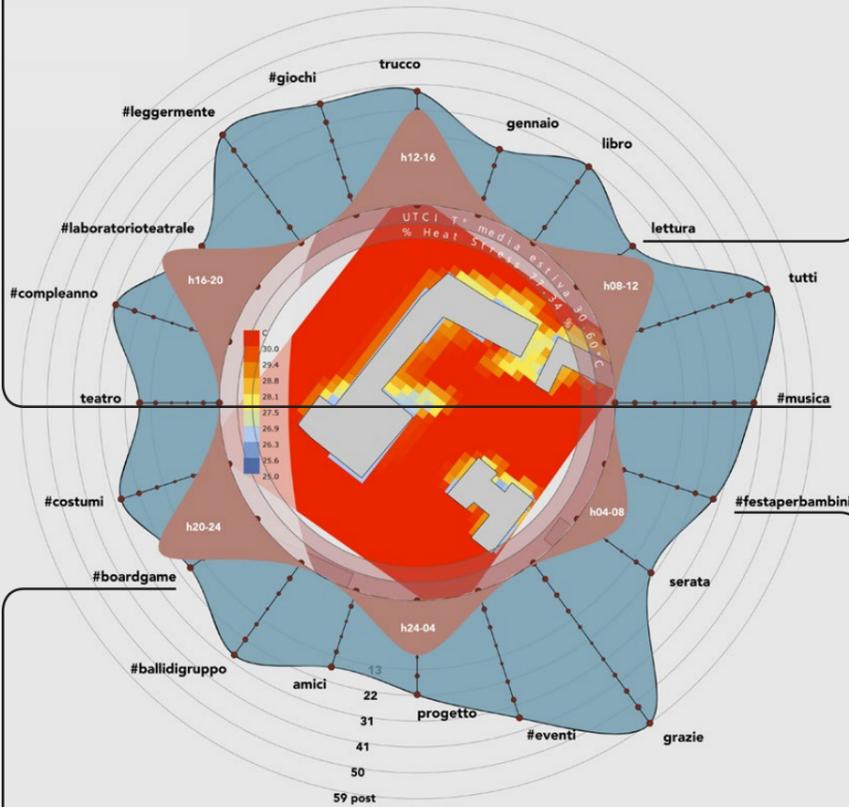
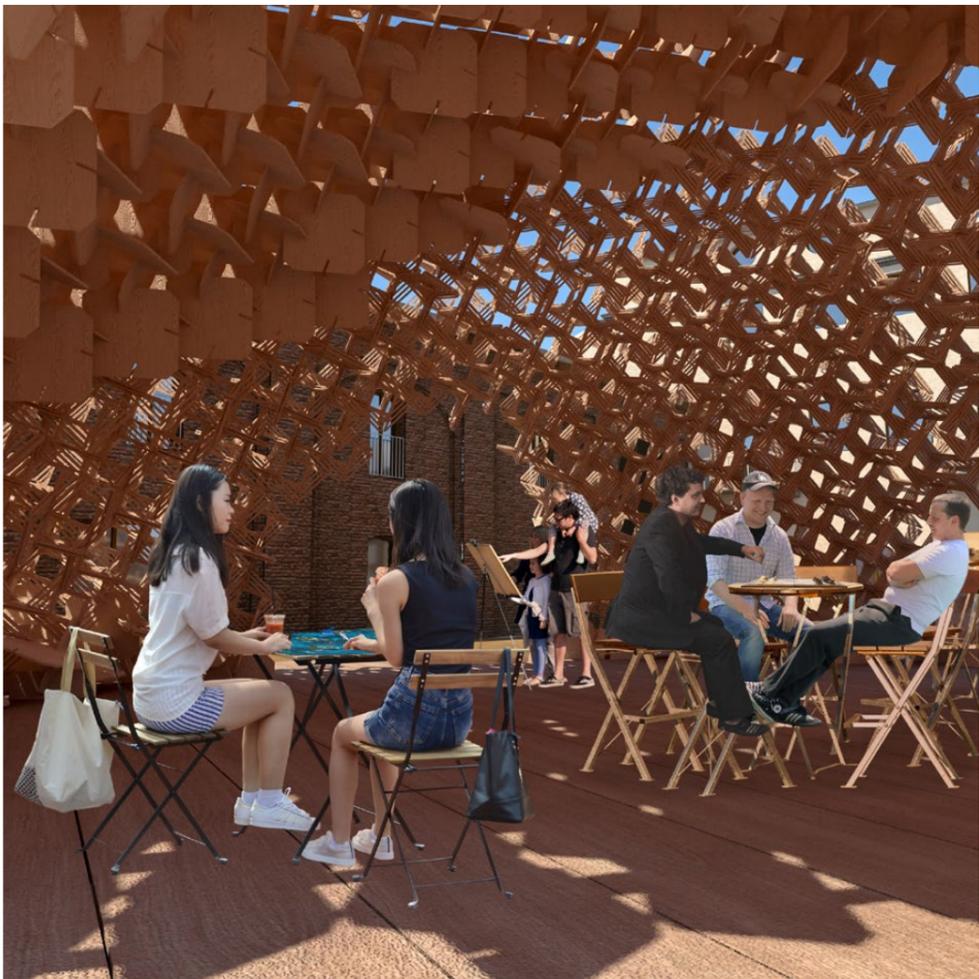


Fig 114-117 (pagina successiva):
Rappresentazione delle possibili
funzioni del padiglione relazionate
all'analisi del Big Data di Instagram.



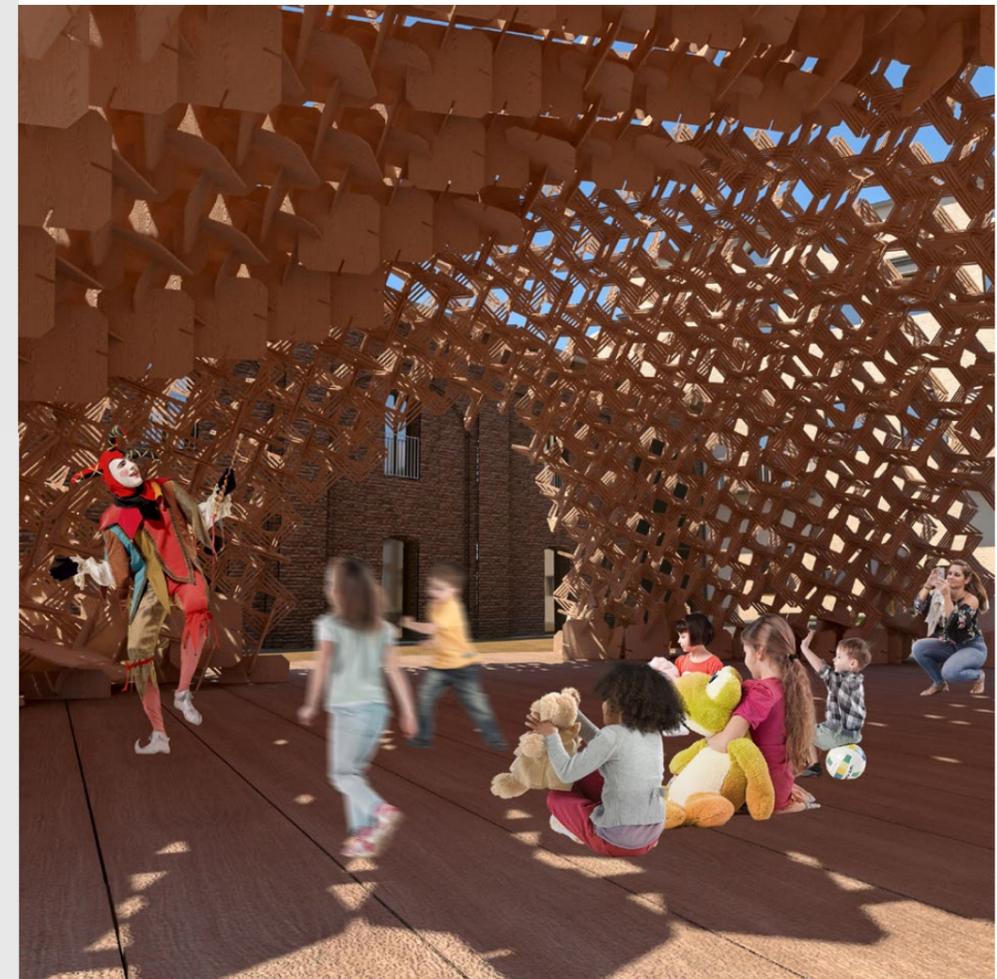
#Teatro #Musica

#Lettura



#Boardgame

#Festaperbambini



Conclusioni e Valutazioni Finali

Il lavoro svolto durante questo percorso di ricerca, dimostra come è possibile unire l'analisi di numerosi aspetti urbani tramite il Big Data, la progettazione ambientale e l'ottimizzazione del progetto in maniera **interamente parametrica**.

Infatti, le tre scale di approfondimento presentati per la progettazione di un padiglione per esterni, non costituiscono fasi separate nel processo progettuale, bensì fanno parte di un unico processo che viene mano a mano integrato di informazioni, e che fornisce una serie di soluzioni da valutare in fase finale. Inoltre, come si è sottolineato numerose volte nel testo, dato che l'intera tesi è sviluppata in ambito di applicativi parametrici come Grasshopper, Python e JavaScript, la cui implementazione permette l'**automatizzazione del medesimo processo anche in altri contesti**, generando soluzioni sempre differenti.

Ciò nonostante, il processo proposto non fornisce "la bacchetta magica" per sviluppare l'intero organismo edilizio, ma semplicemente una base metodologica che può essere ulteriormente affinata, introducendo ulteriori parametri all'interno del sistema relazionale.

Questa flessibilità di utilizzo del procedimento parametrico sottolinea la sua importanza di applicazione nel campo architettonico, fornendo soluzioni e spunti progettuali che vanno oltre le possibilità offerte dagli strumenti tradizionali.

Nel caso delle analisi preliminari a livello urbano, i dati urbani sociali del **social network Instagram** hanno fornito una piattaforma di studio rappresentativa delle modalità di utilizzo degli spazi da parte della popolazione, permettendo quindi di basare la scelta del luogo su cui operare l'intervento su dei dati direttamente prodotti dalla popolazione, attuando un processo di e-partecipazione indiretto. Incrociando successivamente queste informazioni con la valutazione delle temperature microubane è stato possibile valutare per ogni luogo la criticità delle condizioni microclimatiche e la sua necessità sociale e predisposizione alla costruzione del padiglione, individuandolo nello spazio del cortile di **Cascina Roccafranca**. L'attendibilità di tale sistema è visibile dal fatto che anche in altre fonti meno "digitali", Cascina Roccafranca è risultata un centro di incontro fondamentale per la comunità residente, che poteva presentare alcuni problemi microclimatici causati dall'alta occupazione del suolo.

Nonostante si sia deciso nel presente caso di relazionare i dati rispetto alla volontà di creare uno spazio sociale multiuso, in realtà le possibilità di applicazione del Big Data sono molto più ampie, come viene dimostrato dai risultati delle ricerche condotte in questo campo, che forniscono un livello di conoscenza molto approfondito da ogni punto di vista, permettendo ai progettisti pubblici e privati di **proporre delle pratiche progettuali informate, necessarie e resilienti**, basandosi sulle sfide proposte dalla società digitale.

Nel successivo passo progettuale, si è passati allo stadio progettuale vero e proprio, concentrandosi in primo luogo sulla stesura di un metodo per la generazione e l'ottimizzazione della forma del padiglione secondo

criteri ambientali, che influiscono in maniera fondamentale sull'utilizzo e percezione degli spazi esterni. A tal proposito, il classico metodo di valutazione microclimatica proposto da Victor Olgyay, ha rivelato che solo una minima parte delle condizioni nel periodo annuo di utilizzo ipotizzato può essere considerata confortevole.

Anche in questo caso, la natura di ricerca metodologica applicabile in altri ambiti ha dettato la necessità per la ricerca formale tramite procedimenti di **form finding**, introdotti dai precursori del movimento parametrico come Frei Otto, seguendo parametri strutturali come la gravità. Allo stesso tempo, in quanto l'obiettivo del padiglione è rappresentato dalla capacità di garantire un comfort di fruizione, è stato necessario integrare i suddetti metodi strutturali con l'**effetto del sole e dei venti**, che rappresentano i principali elementi che influiscono sul comfort in ambiente esterno, in modo da generare una forma derivata dall'influenza che il clima può avere sulla forma del padiglione.

A differenza del form finding puramente strutturale, che è immediato nella presentazione della soluzione migliore, i contributi ambientali necessitano di una serie di analisi fisico tecniche per essere compresi e recepiti. Di conseguenza, per poter trovare le soluzioni climaticamente ottimizzate, si è deciso di valutare oggettivamente tutte le forme generate dalla combinazione dei parametri nel form finding, utilizzando un **connubio tra analisi fisico-tecniche ed un solver evolutivo multicriterio**, che ha l'obiettivo di fornire una lista di soluzioni migliori per il problema.

Il vantaggio di questo sistema, similmente alla sua controparte strutturale è l'immediatezza del risultato, in cui una soluzione formale impiega circa 4 secondi prima di essere valutata rispetto all'insieme. Inoltre, nonostante si possa credere che in questo modo il controllo umano da parte dell'architetto è nullo, in realtà il processo messo a punto propone una serie di soluzioni in base ai parametri climatici scelti, che possono essere opposti tra Torino e Oslo, e che quindi la macchina svolge esclusivamente il ruolo di "ottimizzatore climatico" degli scenari progettuali, che in ultima istanza verranno scelti dal progettista. In quest'ottica, lo sviluppo della presente sezione risulta particolarmente utile in quelle situazioni in cui è necessario proporre diverse soluzioni progettuali **climaticamente ottimizzate fin dalle fase concettuale**, evitando di ricorrere a rappesamenti durante fasi avanzate per migliorare il comportamento climatico della costruzione.

Per tradurre le forme generali del padiglione in un manufatto **facilmente costruibile, adattabile e smontabile**, e al contempo implementare le informazioni climatiche provenienti dalla fase precedente, nell'ultima sezione della tesi si è fatto ricorso ad alcuni principi dell'architettura discreta per poter definire un modulo aggregativo. A tal proposito, la proposta di utilizzo di un **modulo** basato sulle capacità combinatorie di un cubo, ha portato allo sviluppo di un interessante sistema costruttivo che ha la capacità di discretizzare qualsiasi forma, ma non solo. Infatti, la semplicità di aggregazione permette a tale sistema di essere assemblato in autocostruzione, ad esempio nel caso di realizzazione di oggetti di minor dimensione come arredi temporanei, sottolineando ancora una volta la flessibilità degli sviluppi presentati.

Parallelamente, vista la forte caratterizzazione ambientale della precedente fase di form finding, per garantire il raggiungimento del comfort di fruizione del padiglione sono state adottate delle strategie

climatiche passive, basate principalmente sull'effetto passante del sole e dei venti prevalenti, ed è quindi stato necessario lo sviluppo di **due tipologie di modulo** con comportamenti diversi - schermante e poroso - da posizionare in punti strategici per garantire il comfort termico di fruizione. A tal proposito, nelle Fig 114-117, sono rappresentate le **analisi di comfort conclusive** sul padiglione completamente aggregato nei due

Fig 114: Analisi delle condizioni di comfort nel periodo Underheated con il Climatic Chart di V. Olgyay. Propria Elaborazione.

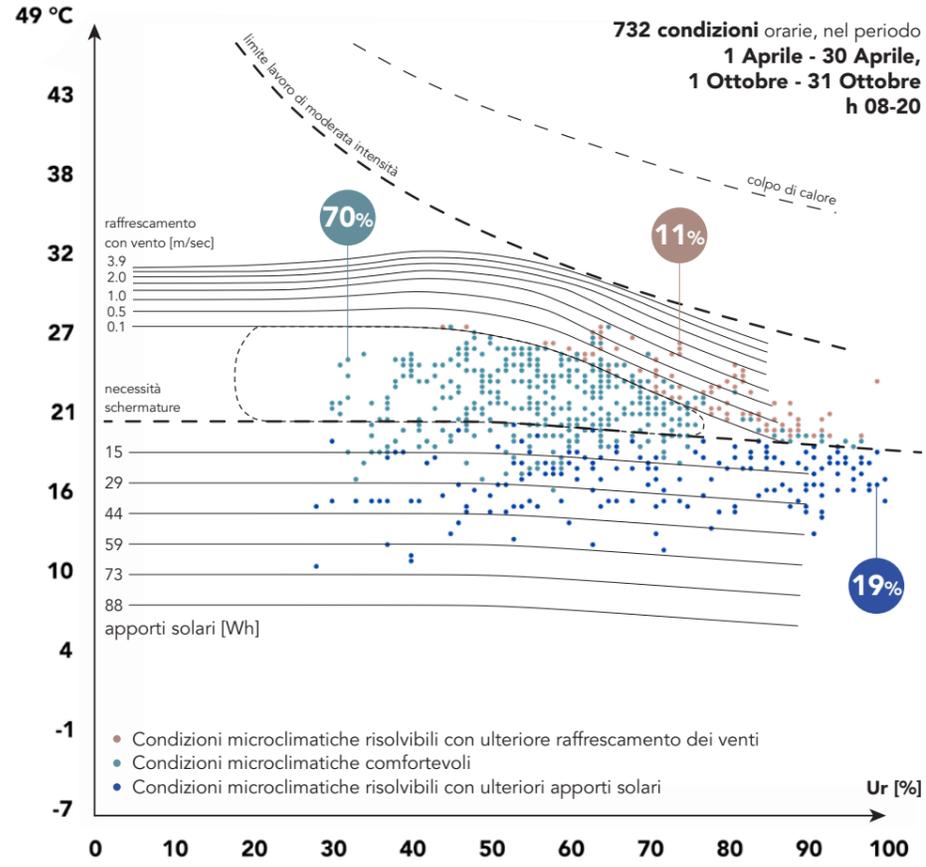
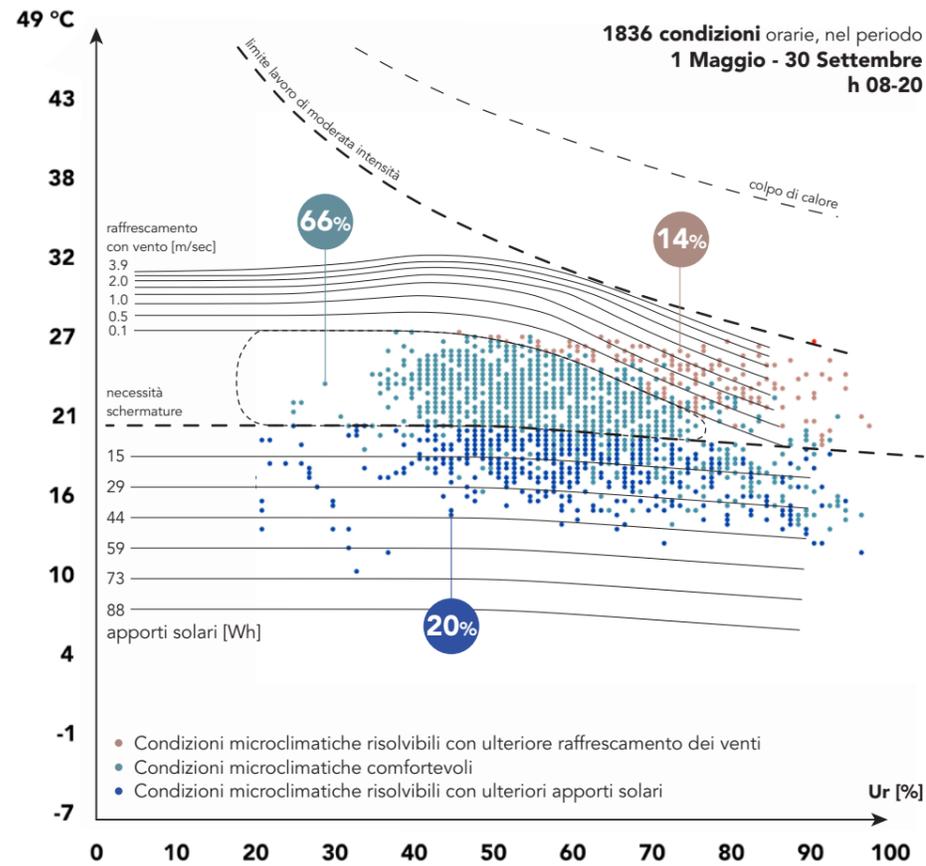


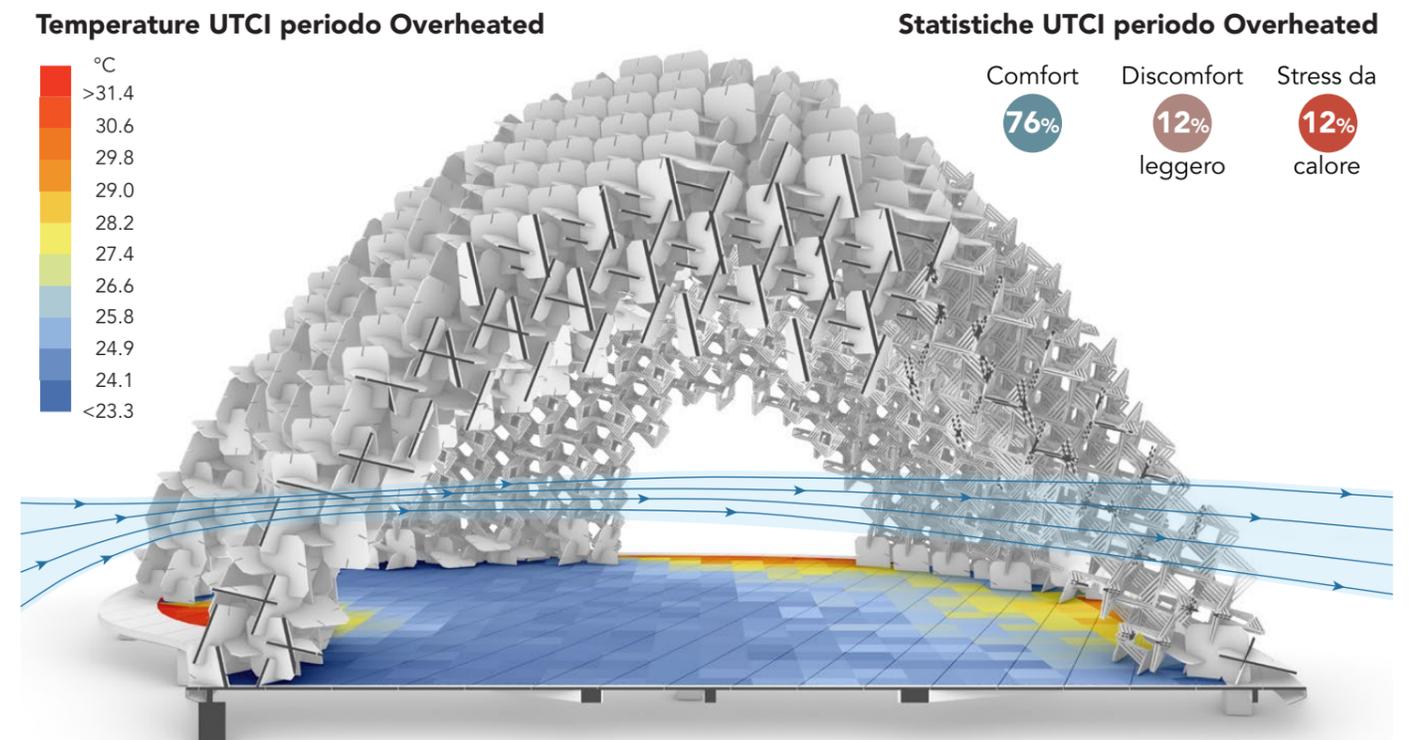
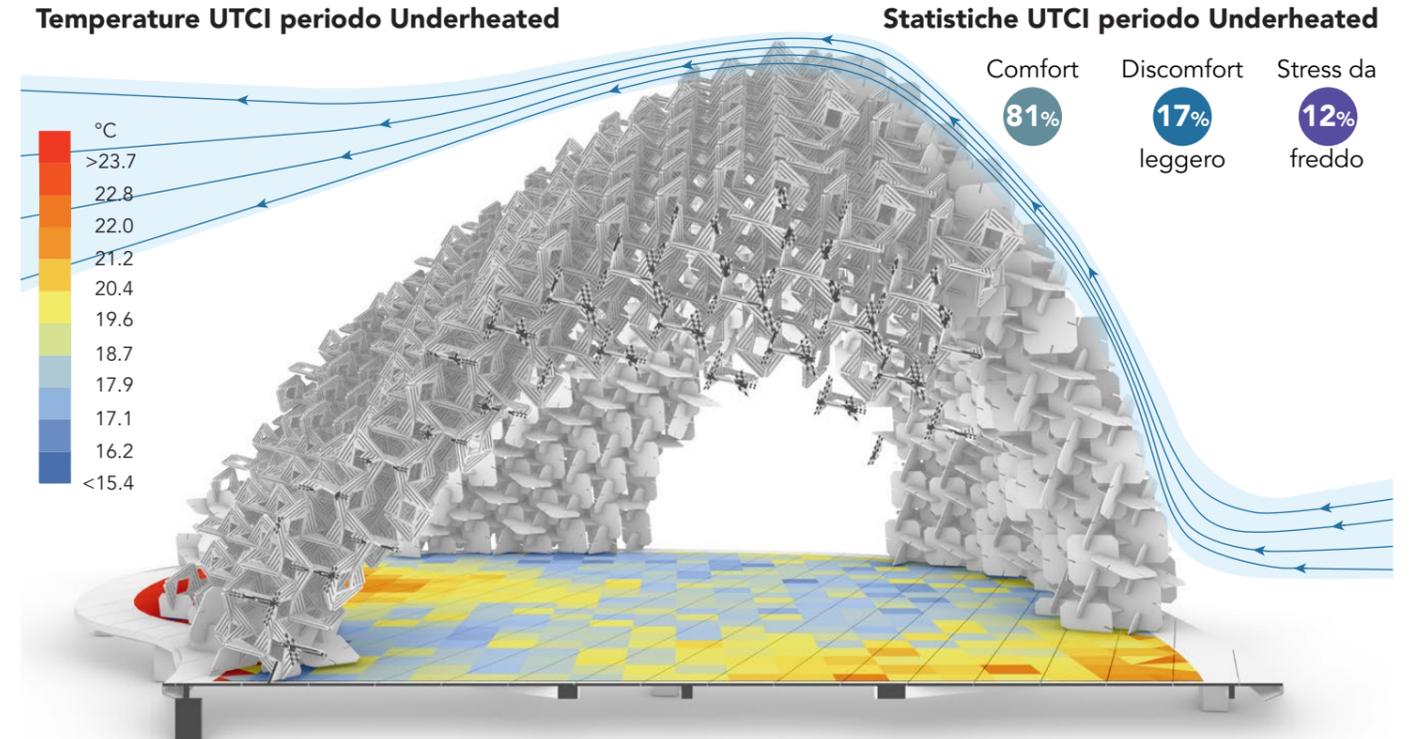
Fig 115: Analisi delle condizioni di comfort nel periodo Overheated con il Climatic Chart di V. Olgyay. Propria Elaborazione.



periodi di utilizzo. Le analisi di comfort eseguite sul costruito utilizzando il metodo del Climatic Chart di V. Olgyay presentano massicci miglioramenti rispetto alle condizioni microclimatiche di partenza (vedi capitolo 4.1), portando le condizioni dal 25% di **comfort a valori prossimi al 70%** in entrambi i periodi, esclusivamente con l'utilizzo di strategie passive. Allo stesso tempo, la volontà di non operare nel campo della climatizzazione meccanizzata, derivata dal fatto di voler un manufatto completamente aperto e facilmente assemblabile, ha comportato alcuni svantaggi che non permettono una totale risoluzione degli aspetti di comfort.

Ciò nonostante, la tendenza al netto miglioramento delle temperature esterne causata dalla schermatura, è confermata anche dai **valori della temperatura UTCI** nelle Fig 116-117, che mostrano valori di comfort

Fig 116-117: Analisi delle condizioni di comfort nel periodo Underheated secondo l'indice UTCI. Propria Elaborazione.



ancora più alti rispetto alle analisi di Olgyay, garantendo lo svolgimento delle attività in quasi la totalità delle condizioni ambientali nel periodo di utilizzo considerato.

Infine, va ricordato che le condizioni di comfort raggiunte non portano esclusivamente ad un arco temporale maggiore per l'utilizzo degli spazi da parte della popolazione, ma hanno anche il merito di aver dimostrato come il procedimento **parametrico**, se correttamente gestito, **sia in grado di proporre delle soluzioni efficaci in maniera autonoma**.

Oltre ad essere un metodo flessibile per la risoluzione di un problema, nell'ambito dell'architettura contemporanea il parametricismo svolge anche un importante ruolo di intermediario tra cultura e sviluppo urbano, a causa del suo linguaggio formale complesso, fluido ed intrigante, a metà tra espressione tecnica e arte. Nel contesto sociale di Cascina Roccafranca, questo linguaggio ha trovato un proprio sbocco non solo per le coincidenti agende funzionali, ma soprattutto per la sua abilità di attirare persone, che intrigate dal suo aspetto, generano nuova socialità.

In conclusione, questo lavoro non vuole essere esclusivamente un metodo di lavoro interdisciplinare, sviluppato per ottenere la massima prestazione da un problema di natura ambientale. Il significato più importante che si può trarre da questa esperienza, è legato alle opportunità che gli strumenti digitali del presente e del futuro ci possono offrire per **leggere, comprendere e progettare la complessità** sempre crescente del mondo, con cui l'architettura deve relazionarsi.

Bibliografia

- 1 " RATTI CARLO, *Fare Avanguardia*, in Domus n° 1011, Milano, p 3."
- 2 " GOTTLÖB GEORG et al, *Big Data*, Oxford, Springer, 2013, p 1."
- 3 " CARPO MARIO, *The Digital Turn in Architecture 1992 - 2012*, Hoboken, Wiley & Sons, 2013, p 8."
- 4 " SCHUMACHER PATRIK, *Gearing up to impact the global built environment*, in Architectural Design n°86, p 8-17."
- 5 " ALEXANDER CRISTOPHER, *The Question of Computers in Design*, Landscape, 1967, p 8-12."
- 6 " PATRIK SCHUMACHER, *Gearing up to impact the global built environment*, in Architectural Design n°86, p 9."
- 7 " LUCAS C., *The Philosophy of Complexity*, www.calresco.org/lucas/philos, 2000."
- 8 " GOTTLÖB GEORG et al, *Big Data*, Oxford, Springer, 2013, p 1."
- 9 " MARSH ANDREW et al, *Simulation and the future of design tools for ecological research*, in Architectural Design vol°81, n°6, p 82-91."
- 10 " Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale, *Usa e consumo delle risorse*, 2010."
- 11 " HALL TIM, ROBERTSON IAIN, *Public Art and Urban Regeneration: Advocacy, Claims and Critical Debates*, in Landscape Research 26(1), 2001."
- 12 " CRIVELLO SILVIA, SALONE CARLO, *Arte Contemporanea e sviluppo urbano: esperienze torinesi*, Franco Angeli Editore, Milano, 2013, pp 13-14."
- 13 " CRIVELLO SILVIA, SALONE CARLO, *Arte Contemporanea e sviluppo urbano: esperienze torinesi*, Franco Angeli Editore, Milano, 2013, pp 37."
- 14 " CRIVELLO SILVIA, SALONE CARLO, *Arte Contemporanea e sviluppo urbano: esperienze torinesi*, Franco Angeli Editore, Milano, 2013, pp 37."
- 15 " SHENGMIN JIN, REZA ZAFARANI, *Emotions in Social Networks: Distributions, Patterns, and Models*, in Conferenza: Proceedings of the 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management, Singapore, 2017."
- 16 " CHARALABIDIS YANNIS, EURIPIDIS LOUKIS, *Participative Public Policy Making Through Multiple Social Media Platforms Utilization*, in International Journal of Electronic Government Research n° 8(3), 2012, pp 78-97."
- 17 " HONEYCUTT COURTENAY, HERRING SUSAN C. , *Beyond Microblogging: Conversation and Collaboration via Twitter*, in Conferenza: Proceedings of the Forty-Second Hawai'i International Conference on System Sciences (HICSS-42), IEEE Press, Los Alamitos, 2009"
- 18 " BERTOT JOHN C. , JAEGER PAUL T., JUSTIN M. GRIMES, *Using ICTs to create a culture of transparency: E-government and social media as openness and anti-corruption tools for societies*, in Government Information Quarterly n° 27, Elsevier, 2010, pp 264-271."
- 19 " BERTOT JOHN C. , JAEGER PAUL T. , HANSEN DEREK L. , *The Impact of Policies on Government Social Media Usage: Issues, Challenges, and Recommendations*, in Government Information Quarterly n° 29(1), 2012."
- 20 " BAZZU PAOLA et al, *Tactical Urbanism Italy 5*, New York, The Street Plans Collaborative, 2016, p 30-31."
- 21 " LYDON MIKE et al, *Tactical Urbanism vol 1*, New York, The Street Plans Collaborative, 2012, p 1."
- 22 " BAZZU PAOLA et al, *Tactical Urbanism Italy 5*, New York, The Street Plans Collaborative, 2016, p 58-59."
- 23 " LYDON MIKE et al, *Tactical Urbanism vol 2*, New York, The Street Plans Collaborative, 2012, p 29."
- 24 " SANCHEZ JOSE, *Architecture for the Commons: Participatory Systems in the Age of Platforms*, in Architectural Design March 2019, Vol.89(2), Wiley, 2019, p 29."
- 25 " LYDON MIKE et al, *Tactical Urbanism vol 2*, New York, The Street Plans Collaborative, 2012, p 29."
- 26 " BAZZU PAOLA et al, *Tactical Urbanism Italy 5*, Sassari, Tutta la mia Città, 2016, p 18."
- 27 " CARPO MARIO, *Parametric Notations*, in Architectural Design n°86, p 28."
- 28 " VITRUVIO MARCO POLLIONE, *De Architectura Libri decem*, IV, p227."
- 29 " SPALLONE ROBERTA, *La formalizzazioni delle convenzioni del disegno architettonico*, Alessandria, Edizioni dell'orso, 2012, p30."
- 30 " SPUYBROEK LARS, *The Sympathy of Things, Ruskin and the Ecology of Design*, Oxford, Bloomsbury Academic, 2011."
- 31 " SPUYBROEK LARS, conferenza *The Radical Picturesque*, presso Architectural Association, 2009."
- 32 " WÖRRINGER WILLHELM, *Form in Gothic*, Tiranti, 1964, p48."
- 33 " WÖRRINGER WILLHELM, *Abstraktion und Einfühlung, A Contribution to the Psychology of Style*, New York, International Universities Press, 1953."
- 34 " ROE JEREMY, *Antoni Gaudì*, New York, Parkstone International, 2012, p IX."
- 35 " ROE JEREMY, *Antoni Gaudì*, New York, Parkstone International, 2012, p 21."
- 36 " ROE JEREMY, *Antoni Gaudì*, New York, Parkstone International, 2012, p 129."
- 37 " COLLINS GEORGE, *Antonio Gaudì: Structure and Form*, in Perspecta Vol 8, MIT Press, 1963, pp. 89."
- 38 " SPUYBROEK LARS, conferenza *The Radical Picturesque*, presso Architectural Association, 2009."
- 39 " Film "*Frei Otto: Spanning the Future*", di MICHAEL PAGLIA, SIMON K. CHIU, JOSHUA HASSEL, 2016, Germania."
- 40 " FREI OTTO et al, *Finding Form*, Bayern, Edition Axel Menges, 1995, p15."
- 41 " FREI OTTO et al, *Finding Form*, Bayern, Edition Axel Menges, 1995, p 15-22."
- 42 " FREI OTTO et al, *Finding Form*, Bayern, Edition Axel Menges, 1995, p 22."
- 43 " Film "*Frei Otto: Spanning the Future*", di Michael Paglia, Simon K. Chiu, Joshua Hassel, 2016, Germania."
- 44 " FREI OTTO et al, *FINDING FORM*, Bayern, Edition Axel Menges, 1995, p 107."
- 45 " Film "*Frei Otto: Spanning the Future*", di Michael Paglia, Simon K. Chiu, Joshua Hassel, 2016, Germania."
- 46 " FREI OTTO et al, *Finding Form*, Bayern, Edition Axel Menges, 1995, p 149-150."
- 47 " DELEUZE GILLES, *The Fold: Leibniz et le baroque*, Parigi, Editions de Minuit, 1988, p 54."
- 48 " CARPO MARIO, *The Digital Turn in Architecture, 1992- 2012*, Chichester, John Wiley & Sons, 2012"
- 49 " TURING A. M., *On computable numbers, with an application to the entscheidungsproblem*, in Proceedings of the London Mathematical Society, 1937."
- 50 " <https://www.designworldonline.com/50-years-of-cad/>"
- 51 " FRAZER JOHN, *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, 1995, p 33."
- 52 " FRAZER JOHN, *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, 1995, p 38-46."
- 53 " CARPO MARIO, *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*, Cambridge, The MIT Press, 2017 ,p 4."
- 54 " FRAZER JOHN, *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, 1995, p 66."
- 55 " TEDESCHI ARTURO, *AAD*, Brienza, Le Penseur, 2014, p22."
- 56 " SCHUMACHER PATRIK, *The Autopoiesis of Architecture, A new framework for Architecture*, Chichester, John Wiley & Sons, 2010, p 353."
- 57 " DEL GIUDICE DAVIDE, *Data driven Geometry Mutation*, in Area n°124, 2014."
- 58 " LEACH NEIL, in AD: *Theoretical Meltdown*, Hoboken, Wiley & Sons, 2009, p 33-37."
- 59 " CARPO MARIO, *The Digital Turn in Architecture, 1992- 2012*, Chichester, John Wiley & Sons, 2012"
- 60 " ÇANO, E. AND MORISIO M, "*A data-driven neural network architecture for sentiment analysis*", Data Technologies and Applications, Vol. 53 No. 1, 2019, pp. 2-19."
- 61 " ANDERSON KJELL, *Design Energy Simulation For Architects: Guide to 3D Graphics*, Routledge, 2014, p1."
- 62 " KOCH CHRISTOPH, *Compilation and Synthesis in Big Data Analytics*, in Big Data, Oxford, Springer, 2013, p 6."
- 63 " SZELISKI RICHARD, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Berlin, Springer, 2011, p 24-25."
- 64 " ELIJAH MUNN, EVE NNAJI, RASHID GILFANOV, ROVIANNE SANTIAGO, *Barcelona Street Adaptations. Computer Vision For Urban Analysis*, <http://www.iaacblog.com/programs/barcelona-street->

adaptations-computer-vision-urban-analysis."

- 65 "CARPO MARIO, in PA Talks 002 - *The Second Digital Turn* - at GAD Foundation"
- 66 "DEL GIUDICE DAVIDE, *Data driven Geometry Mutation*, in Area n°124, 2014."
- 67 "LEACH NEIL, '*Introduction*', in *Digital Tectonics*, Hoboken, Wiley & Sons, 2004, p 4–12."
- 68 "DARRELL WHITLEY, *A genetic algorithm tutorial*, in *Statistics and Computing* n°4, 1994, p 65–85."
- 69 "RUTTEN DAVID, *Evolutionary Principles applied to Problem Solving*, <https://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles>, 2010."
- 70 "CARPO MARIO, *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*, Cambridge, The MIT Press, 2017 ,p 46."
- 71 "PETERS TERRI, *New Dialogues About Energy*, in *AD: Computing the Environment*, Chichester, 2018, p 14-22."
- 72 "SHADY ATTIA, LILIANA BELTRÁN, ANDRÉ DE HERDE AND JAN HENSEN, '*Architect Friendly: A Comparison of Ten Different Building Performance Simulation Tools*', in proceedings of the 11th IBPSA 'Building Simulation' conference, International Building Performance Simulation Association, Glasgow, Scotland, 27– 30 July 2009, pp 204– 11."
- 73 "JACOBSON ALEXANDER MATTHIAS, *Overview of Honeybee Energy Workflow*, <https://github.com/ladybug-tools/honeybee-legacy.wiki.git>"
- 74 "LATIFI MOHAMMAD, MOHAMMADJAVAD MAHDAVINEJAD, DARAB DIBA, *Understanding Genetic Algorithms in Architecture*, in *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication - TOJDAC* August 2016 Special Edition, p 1386."
- 75 "SCHUMACHER PATRIK, '*Parametricism as Style— Parametricist Manifesto*', presented and discussed at the Dark Side Club, 11th International Architecture Exhibition, Venice Biennale, 2008."
- 76 "D. AELENEI, L. AELENEI AND C. PACHECO VIEIRA, "*Adaptive Facade: Concept Applications Research Questions*", *Energy Procedia*, vol. 91, 2016, pp. 269-275."
- 77 "L. GIOVANNINI, V. SERRA, V. LO VERSO, A. PELLEGRINO, M. ZINZI, F. FAVOINO, *A Novel Methodology to Optimize Visual Comfort and Energy Performance for Transparent Adaptive Façades*, in 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)."
- 78 "WARDROP N, et al., *Spatially disaggregated population estimates in the absence of national population and housing census data*, in *Proc Natl Acad Sci USA* n° 115, 2018, pp 3529–3537."
- 79 "GLAESER EL, KOMINERS SD, LUCA M, NAIK N, *Big data and big cities: The promises and limitations of improved measures of urban life*, in *Econ Inquiry* n° 56, 2018, pp 114–137."
- 80 "HENDERSON JV, STOREYGARD A, WEIL DN, *Measuring economic growth from outer space*, in *Am Econ Rev* n° 102, 2012, pp 994–1028."
- 81 "KOSINSKI M, STILLWELL D, GRAEPEL T, *Private traits and attributes are predictable from digital records of human behavior*, in *Proc Natl Acad Sci USA* n° 110(15), 2013, pp 5802–5805."
- 82 "TOOLE JL, et al, *Tracking employment shocks using mobile phone data*, in *J R Soc Interface*"
- 83 "BLUMENSTOCK J, CADAMURO G, ON R, *Predicting poverty and wealth from mobile phone metadata*, in *Science* n° 350(6264), 2015, pp 1073–1076."
- 84 "CAVALLO A, *Scraped data and sticky prices*, in *Rev Econ Stat* n° 100(1), 2018, pp 105–119."
- 85 "GEBRU T, et al, *Using deep learning and google street view to estimate the demographic makeup of neighborhoods across the United States*, in *Proc Natl Acad Sci USA* n° 114(50), 2017, pp 13108–13113"
- 86 "JEAN N, et al, *Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty*, in *Science* n° 353(6301), 2016, pp 790–794."
- 87 "PSYLLIDIS ACHILLEAS, *Revisiting urban dynamics through social urban data: methods and tools for data integration, visualization, and exploratory analysis to understand the dynamics of human activity in cities*, TU Delft Open, Delft, 2016, p. 61"
- 88 "BOCCONI STEFANO, BOZZON ALESSANDRO, ACHILLEAS PSYLLIDIS, BOLIVAR CHRISTIAAN TITOS, GEERT-JAN HOUBEN,

- Social Glass: A Platform for Urban Analytics and Decision-making Through Heterogeneous Social Data*, in conferenza 24th International World Wide Web Conference, 2015, Firenze."
- 89 "J. SUSSIN, *How to Apply Advanced Analytics Capabilities to Social Data*, Gartner, 2016."
- 90 "<https://www.strava.com/heatmap>"
- 91 "*We Are Social*, Report annuale Digital 2020, p 46."
- 92 "RATTI, C, *La città di domani: Come le reti stanno cambiando il futuro urbano*, Torino, Giulio Einaudi editore, 2017."
- 93 "LYNCH KEVIN, *L'immagine della Città*, Marsilio Editore, Venezia, 1960, pp 23-29."
- 94 "AMIN, A., & THRIFT, N, *Cities: Reimagining the urban*. Cambridge, England: Polity Press, 2002."
- 95 "BOY, J. D., & UITERMARK, J, *Reassembling the City Through Instagram*, in *Transactions of the Institute of British Geographers* n°42, 2017, pp 612-624."
- 96 "APPUDARAI, citato in Amin & Thrift, 2002, p. 115."
- 97 "SILVA TH, VAZ DE MELO POS, ALMEIDA JM, SALLES J, LOUREIRO AAF, *A comparison of Foursquare and Instagram to the study of city dynamics and urban social behavior*, in *Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD international workshop on urban computing*, New York, Association for Computing Machinery, 2013, pp. 1–8."
- 98 "SILVA TH, VAZ DE MELO POS, ALMEIDA JM, SALLES J, LOUREIRO AAF, *A picture of Instagram is worth more than a thousand words: Workload characterization and application*, in *Proceedings of the IEEE international conference on distributed computing in sensor systems*, Cambridge, Mass.: IEEE Computer Society, 2013, pp. 123–132."
- 99 "<https://www.britannica.com/technology/GIS>"
- 100 "developer.chrome.com"
- 101 "<https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/visual-basic/programming-guide/com-interop/walkthrough-calling-windows-apis>"
- 102 "<https://github.com/drawrowfly/instagram-scraper>"
- 103 "JENDRITZKY GERD, MAAROUF ABDEL, STAIGER HENNING, *Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for Outdoor Applications*, in *Windsor-Conference on Thermal Standards*, April 5-8, 2001, Windsor, UK"
- 104 "ARENS EDWARD, HUANG LI, HOYT TYLER, ZHOU XIN, SHIAYON STEFANO, *Modeling the comfort effects of short-wave solar radiation indoors*, in *Indoor Environmental Quality (IEQ)*, 2014."
- 105 "UNZETA BRUNO BUENA, *Study and Predicion of the energy interactions between building and the urban climate*, MIT PHd Thesis, Boston, 2012."
- 106 "RAKHA TAREK, *Towards Comfortable and Walkable Cities: Spatially Resolved Outdoor Thermal Comfort Analysis Linked to Travel Survey-based Human Activity Schedules*, MIT PHd Thesis, Boston, 2015, p27."
- 107 "RAKHA TAREK, *Towards Comfortable and Walkable Cities: Spatially Resolved Outdoor Thermal Comfort Analysis Linked to Travel Survey-based Human Activity Schedules*, MIT PHd Thesis, Boston, 2015, p47."
- 108 "BAZZU PAOLA et al, *Tactical Urbanism Italy 5*, New York, The Street Plans Collaborative, 2016, p 43."
- 109 "GEHL, J. AND GEMZØE, L., *Public Spaces, Public Life*, Danish Architectural Press, 2004."
- 110 "DESSI VALENTINA, *Progettare il Comfort degli Spazi Pubblici*, in *REBUS* n°08, Bologna, 2017."
- 111 "DESSI VALENTINA, *Progettare il Comfort degli Spazi Pubblici*, in *REBUS* n°08, Bologna, 2017."
- 112 "BLOCK PHILIPPE et Al, *Design, fabrication and testing of a prototype, thin-vaulted, unreinforced concrete floor*, in *Engineering Structures* Volume 137, Elsevier, 2017, pp 323-335."
- 113 "PANTAZIS EVANGELOS, *Environmental aware shell design: Using solar path as a form finding force*, in *archidoct* Vol. 7 (1), 2019, pp 48-61."
- 114 "RAHMAN, M., *Complexity in building design*, in *Re-inventing Construction*, Berlino, Ruby Press, 2010, p 440."
- 115 "KILIAN A., *Steering of form*, in *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization*,

- Routledge, Londra, 2014, p 131."
- 116 "LA MAGNA R., *Bending-active plates : strategies for the induction of curvature through the means of elastic bending of plate-based structures*, in Stuttgart : Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen VIII, Universität Stuttgart, 2017, p 173."
- 117 "MACKKEY, C. AND ROUDSARI, M.S., *The Tool (s) Versus The Toolkit*, in Humanizing Digital"
- 118 "GERBER, D.J., LIN, S.-H.E., PAN, B.P. AND SOLMAZ, A.S., *Design optioneering: Multidisciplinary design optimization through parameterization, domain integration and automation of a genetic algorithm*, in SimAUD 2012, Orlando, 2012, pp 23-30."
- 119 "OOSTERHUIS, K., *Towards a New Kind of Building: A Designers Guide for Non-Standard Architecture*, NAI Uitgevers/Publishers Stichting, 2011, p 12."
- 120 "DAVEY, M., BELLEW, P., ER, K., KWEK, A. AND LIM, J., *Gardens by the Bay: High performance through design optimization and integration*, in Intelligent Buildings International 2(2), Taylor & Francis, Abingdon-on-Thames, 2010, pp 140-157."
- 121 "PETERS, B. AND PETERS, T., *Parametric Environmental Design: Simulation and Generative Processes*, in AD: Computing the Environment, John Wiley & Sons, Chichester, 2018, p 33."
- 122 "OLGYAY VICTOR, *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, Oxford, 2015, pp 11-12."
- 123 "GERBER D.J., PANTAZIS E, WANG A, *Interactive Design of Shell Structures Using Multi Agent Systems: Design Exploration of Reciprocal Frames Based on Environmental and Structural Performance*, in Proceeding of CAAD Futures 17th Conference, Springer, 2017, Istanbul, pp 601-614."
- 124 "FITCH J.M., *American Building-The Forces that Shape It*, Houghton Mifflin Company, Boston, 1948."
- 125 "BEDFORD T., *Environmental Warmth and Human Comfort*, in British Journal of Applied Physics, Febbraio 1950."
- 126 "OLGYAY VICTOR, *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, Oxford, 2015, p 17."
- 127 "STEADMAN R.G., *A universal scale of apparent temperature*, in J Clim Appl Meteorol 23 (12), American Meteorological Society, 1984, pp 1674-1687."
- 128 "THOM E.C., *The discomfort index*, in Weatherwise 12, Taylor & Francis, 1959, pp 57-60."
- 129 "HÖPPE P., *The physiological equivalent temperature: A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment*, in Int J Biometeorol 43 (2), 1999, pp 71-75."
- 130 "NIKOLOPOULOU MARIALENA, *Outdoor Thermal Comfort*, in Frontiers of Bioscience S3, 2011, pp 1552-1568."
- 131 "GULYAS A., et Al, *Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements*, in Build Environment 41 (12), Elsevier, 2006, pp 1713-1722."
- 132 "BRUSE M., FLEER H., *Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model*, in Environmental Modelling Software 13 (3-4), 1998, pp 373-384."
- 133 "VAN HOOFF J., *Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?*, in Indoor Air 18 (3), John Wiley & Sons, 2018, pp 182-201."
- 134 "RICHARDS M., HAVENITH G., *Progress toward the Final UTCI Model*, in Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Ergonomics, I.B. Mekjavic, S.N. Kounalakis, 2007, pp 521-524."
- 135 "OLGYAY VICTOR, *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, Oxford, 2015, p 31."
- 136 "ASCE, *Outdoor Human Comfort and its Assessment: State of the Art*. Task Committee on Outdoor Human Comfort, in American Society of Civil Engineers, 2003."
- 137 "EN 15193 1:2017"
- 138 "OLGYAY VICTOR, *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, Oxford, 2015, p 53."
- 139 "MALONE T, FRIEDMAN D., *Solar Radiation and Heat Transmission in Dwellings*, Research Report, MIT Press, Cambridge, 1952."
- 140 "LIN, T; TSAI, K; HWANG, R; MATZARAKIS, A., *Shading Effect On Long-term Outdoor Thermal Comfort*, in Landscape And Urban Planning, Building And Environment 45:1, Elsevier, 2010, pp 213-221."
- 141 "OLGYAY, A, OLGAYAY, V., *Solar control and shading devices*, in Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society n° 84:360, 1958, p 200."
- 142 "MACKKEY C, ROUDSARI M.S, SAMARAS P, *ComfortCover: A Novel Method for the Design of Outdoor Shades*, 2018."
- 143 "SARGENT J.A et Al, *Shaderade: Combining Rhinoceros and EnergyPlus for the Design of Static Exterior Shading Devices*, in Proceedings of Building Simulation: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, IBPSA, 2011, pp 310-317."
- 144 "KAFTAN, E., MARSH, A., *Integrating the cellular method for shading design with a thermal simulation*, in Passive and Low Energy Cooling Conference (PALENC), Santorini, Greece, 2005, pp 965-970."
- 145 "BAVEREL O., *Nexorades : a family of interwoven space structures*, Tesi di Dottorato presso École des Ponts ParisTech, Parigi, 2000, p 27-41."
- 146 "GERBER D.J, PANTAZIS E, WANG A, *Interactive Design of Shell Structures Using Multi Agent Systems: Design Exploration of Reciprocal Frames Based on Environmental and Structural Performance*, in Proceeding of CAAD Futures 17th Conference, Springer, 2017, Istanbul, pp 601-614."
- 147 "SHEA, K., AISH, R. & GOURTOVAIA, M., *Towards integrated performance-driven generative design tools*, in Automation in Construction 14, Elsevier, 2005, 253-264."
- 148 "ZITZLER ECKART, BROCKHOFF DIMO, THIELE LOTHAR, *The hypervolume indicator revisited: On the design of Pareto-compliant indicators via weighted integration*, in International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Springer, Berlino, 2007, pp 862-876."
- 149 "VIERLINGER ROBERT, tesi di Laurea Magistrale, Università di Arti Applicate Vienna, pp 29-30."
- 150 "ZITZLER ECKART, BROCKHOFF DIMO, THIELE LOTHAR, *The hypervolume indicator revisited: On the design of Pareto-compliant indicators via weighted integration*, in International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Springer, Berlino, 2007, pp 862-876."
- 151 "BADER JOHANNES, ZITZLER ECKART, *HypE: an algorithm for fast hypervolume-based many-objective optimization*, in Evol Comput. n°18, MIT Press, 2011."
- 152 "ROSSI A, TESSMANN O., *Geometry as Assembly: Integrating design and fabrication with discrete modular units*, in Fabrication - Virtual and Physical Prototyping Vol 2, eCAADe n°35, 2017, p 201."
- 153 "DILLENBURGER B, HANSMAYER M., *The Resolution of Architecture in the Digital Age*, in Conference: International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures, Springer, Shanghai, 2013, pp 347-357."
- 154 "WARD J., *Additive Assembly of Digital Materials*, Tesi di Dottorato, MIT Press, 2010."
- 155 "WILLMANN J, GRAMAZIO F, KOHLER M., *The Robotic touch: How robots change architecture*, Park Books, Zurich, 2013."
- 156 "ROSSI A, TESSMANN O., *Geometry as Assembly: Integrating design and fabrication with discrete modular units*, in Fabrication - Virtual and Physical Prototyping Vol 2, eCAADe n°35, 2017, p 202."
- 157 "MILLER S. L., *Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions*, in Science 117(3046), Washington DC, 1953, pp. 528-529."
- 158 "JOHNSON S., *Where Good Ideas Come From: The Natural History of Innovation*, Riverhead Books, New York, 2011, p 31."
- 159 "SANCHEZ J., *Combinatorial Commons: Social Remixing in a Sharing Economy*, in AD: Autonomous Assembly: Designing for a New Era of Collective Construction, Wiley & Sons, Chichester, 2017, p 19."
- 160 "RIKIN J., *The Zero Marginal Cost Society*, Palgrave Macmillan, Londra, 2014."
- 161 "GRAMAZIO KOHLER RESEARCH, *Endless Wall*, ETH Zurigo, 2011."

162 "DIERICHS K, MENGES A., *Aggregate Architectures*, Institute for Computational Design (ICD), University of Stuttgart, Stuttgart, 2011."

163 "AUTODESK, *Hive*, Autodesk University, Las Vegas, November 2015"

164 "SANCHEZ J., *Combinatorial Commons: Social Remixing in a Sharing Economy*, in *AD: Autonomous Assembly: Designing for a New Era of Collective Construction*, Wiley & Sons, Chichester, 2017, p 22."

165 "BAVEREL O., DOUTHE C., CARON J.-F., *Nexorade: a structure for 'free form' architecture*, in International Conference On Adaptable Building Structures, Eindhoven, 2006."

166 "LAGARIAS, J. C, MOEWS, D., "*Polytopes that fill R and scissors congruence*", in *Discrete and Computational Geometry* n° 13 (3–4), Springer, pp. 573–583."

Ringraziamenti

Prima di tutto voglio ringraziare la mia famiglia, soprattutto i miei genitori, per avermi fornito un continuo supporto per questo lungo percorso per realizzare il mio sogno. Grazie per avermi insegnato come affrontare le difficoltà della vita a testa alta e trovare sempre nuovi modi per risolvere qualsiasi problema.

Un ringraziamento speciale va ai miei relatori, che con costante interesse mi hanno aiutato a portare avanti questo lavoro ingarbugliato e complesso. Sono molto riconoscente della possibilità di aver potuto sviluppare con loro un tema molto libero e a me caro, ricevendo sempre comprensione e un consiglio giusto.

Grazie ad Elina, che non si è mai tirata indietro per darmi un' opinione esterna su come affrontare certe situazioni, ma soprattutto per avermi sempre dato il calore anche nei momenti più difficili.

Grazie a Sofiane El Mahrani, mio amico ed ex compagno di classe, ora programmatore di livello, che mi ha fornito un contributo tecnico essenziale sulla programmazione nella prima fase della tesi. Senza di lui sicuramente questo lavoro non sarebbe stato possibile. Devo anche porgere i miei riconoscimenti al developer Andrea Rossi, che mi ha aiutato personalmente con la scrittura di alcune funzioni specifiche del suo plugin Wasp.

Grazie anche a tutte le persone con cui ho condiviso il mio percorso formativo (Francesco, Manfredi, Federica, Miriam, Francesca R, Cristian, Alessia, Francesca T, Francesca S, Chiara, Carlotta, Elena) e per le numerose serate insieme. Sono convinto che non sarei la persona che sono ora senza avervi incontrato.

Grazie a tutti i miei amici di Alba (in particolare Matteo e Alessandro) con cui ho passato tanti bei momenti anche in questo periodo di pandemia.

Grazie anche a mio zio Giuseppe, che ha sempre creduto in me e mi ha iniziato alla pratica progettuale, senza la quale non sarei stato così preparato per ciò che mi aspetta.

Insomma, grazie veramente a tutti che sono stati parte della mia vita anche per un'ora, gli incontri e le situazioni che capitano non sono mai casuali ma portano sempre a qualcosa!