



MORFOGENESI DI UN TEATRO **ALL'APERTO** Campi di validità e Parametric Design tra Forma Architettonica, Acustica e Strutturale Simone Galiotta POLITECNICO DI TORINO Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione e Città Tesi di Laurea Magistrale RELATORE: Carlo Deregibus Politecnico di Torino Co-RELATORI:

Alberto Pugnale

Louena ShtrepiPolitecnico di Torino

Arianna Astolfi

Luglio 2019

Politecnico di Torino

Con la partecipazione di Marco Barla

University of Melbourne



01

INTRODUZIONE

/ 11

OCCASIONE & GENESI DEL PROGETTO

2.1 CONDIZIONI GENERALI /13

2.2 GENESI E CONTESTO / 20 PAESAGGISTICO

PROGETTO & METODO: PARAMETRIC DESIGN



- 3.1 L'EVOLUZIONE STORICA E LA / 31 DIMENSIONE PARAMETRICA
- 3.2 EVOLUZIONE VS RIVOLUZIONE
- 3.3 USO / ABUSO?

FORMA & CAMPI DI VALIDITÀ



MORFOGENESI & PROGETTO

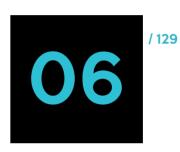


5.1 SISTEMA DEI CAMPI DI VALIDITÀ, / 109 MORFOGENESI E ALGORITMI

5.2 MAPPA DEI VALORI / 111 DEL PROGETTO

5.3 EVOLUZIONE DEL PROGETTO: / 115 COSTRUZIONE ED EQUILIBRI **ALTERNATIVI**

ELABORATI



CONCLUSIONI



BIBLIOGRAFIA



INTRODUZIONE

Il progetto di tesi nasce come risposta a un bando di concorso per la progettazione di un teatro all'aperto in Portogallo, a Baleal. Il progetto, partendo dallo studio del sito e dal quadro esigenziale del concorso, sviluppa un teatro parzialmente ipogeo, basato su geometrie pure che si valorizzano nel contrasto con il contesto. Nel corso del progetto, per evolvere il disegno architettonico, era necessario confrontarsi con questioni di varia natura: in primis acustiche, trattandosi di un teatro all'aperto e strutturali, dato che la struttura è ipogea. Dal progetto come disegno si è quindi passati a un progetto come messa a sistema di valori diversi: un approccio multidisciplinare e interdisciplinare che è stato condotto in modo sperimentale, sfruttando il *parametric design* come risorsa di controllo e morfogenetica. La tesi è il racconto di questo progetto: trasformando le istanze delle diverse discipline in "campi di validità", ossia campi entro cui la forma rispetta parametri qualitativi e quantitativi imposti. Così che la forma sia per così dire l'intersezione di forme congruenti con i parametri di ogni disciplina, e ne costituisca quindi l'effettiva messa a sistema.

La tesi si sviluppa in quattro macro-sezioni: introduttiva, di studio storicometodologico, di definizione dei "campi di validità" e di progetto.

La prima sezione approfondisce la nascita del progetto e il sorgere dell'interesse verso strumenti parametrici per combinare questioni architettoniche, strutturali e acustiche, facendole convergere sulla forma, esaminando genesi e contesto paesaggistico.

La seconda è un saggio di ricerca inserito all'interno della tesi, il cui scopo è quello di analizzare l'evoluzione della progettazione parametrica. Esso potrebbe essere definito come uno studio storico-metodologico sul *Parametric Design*, poiché esamina il pensiero dei maggiori interpreti di questo movimento architettonico, approfondendo non solo la diffusione di nuovi *software*, basati su geometrie complesse, ma anche il complesso enigma che avvolge il concetto di *Parametric Design*: si tratta di evoluzione o rivoluzione?

Per quanto concerne, invece, la terza sezione, essa analizza lo sviluppo dei "campi di validità" della forma architettonica, acustica e strutturale dell'edificio e sta alla base della definizione dei parametri da inserire all'interno del software parametrico.

La quarta ed ultima parte delinea il processo di morfogenesi che unisce i "campi di validità" al fine di trovare la "forma migliore" all'interno del teatro all'aperto, traducendo i "campi di validità" in parametri. L'applicazione e la combinazione di campi di validità differenti ha portato al raggiungimento della soluzione del processo di morfogenesi, arrivando, così, al compimento del progetto.

OCCASIONE & GENESI DEL PROGETTO

2.1 CONDIZIONI GENERALI

Il progetto di tesi nasce come risposta ad un bando di concorso, con l'esigenza di progettare un'area esibizioni situata su un promontorio vicino al sito della fortezza di Baleal, Peniche, Portogallo. Il bando di concorso è stato promosso da ARKxSITE, una piattaforma per concorsi internazionali di architettura per promuovere il dibattito e la riflessione oltre i confini interculturali, ideologici e disciplinari. È un'iniziativa che mira a riunire studenti e professionisti nel campo dell'architettura per incoraggiare nuove prospettive e strategie innovative di intervento all'interno del territorio. Il progetto mira a creare una nuova destinazione culturale e fornire un posto per spettacoli all'aria aperta per migliorare l'esperienza nel paesaggio. Il bando di concorso richiede la progettazione di una nuova destinazione culturale che possa offrire un luogo per spettacoli all'aperto, includendo l'esperienza del paesaggio circostante, con una capienza di 150 – 200 persone. Il teatro è un luogo in cui interagire

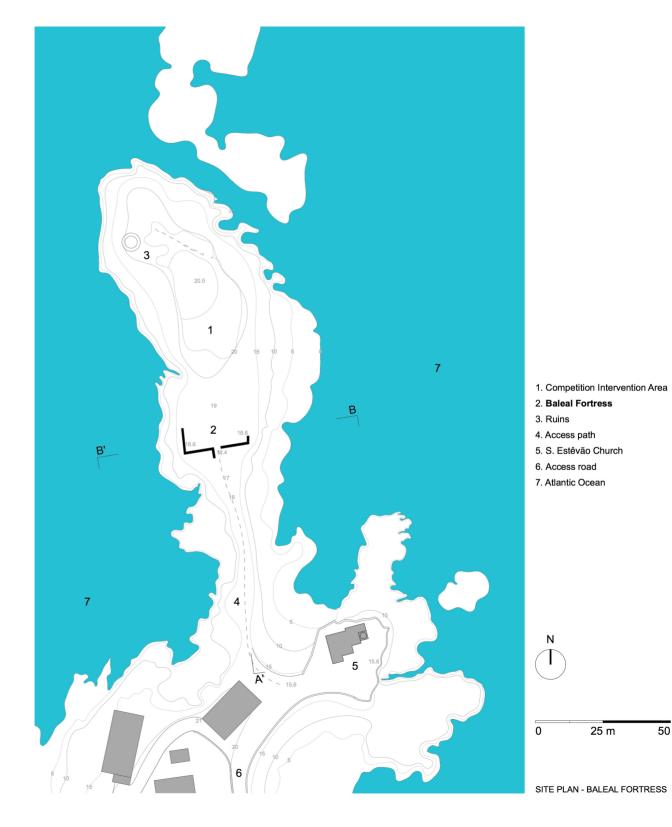
con la terra, il cielo e il mare, dove artisti e il pubblico sono sia partecipanti che osservatori mentre il paesaggio diventa un luogo scenico naturale. Il bando di concorso provvede a fornire delle dimensioni standard per quanto riguarda le caratteristiche base che il progetto dovrà contenere come spazi per servizi e locali adibiti all'utenza, ma risulta molto libero per scelte progettuali e nullo di vincoli urbanistici, di altezza degli edifici e di scavo.

Baleal si trova a nord di Peniche, nella regione nord-occidentale del Portogallo ed è un piccolo villaggio pittoresco all'interno di una penisola di straordinaria bellezza naturale, è unito alla terraferma da un pezzo di terra formato da sabbia bianca. Nel corso della storia, con frequenti attacchi e occupazioni, Peniche era diventata un importante punto strategico di difesa. Tra il diciottesimo e il diciannovesimo secolo fu costruito un esteso sistema difensivo lungo la costa, da sud di Peniche alla penisola baleare. L'ampio numero di strutture fortificate era costituito da mura, fortezze, bastioni. La Fortezza di Baleal si trova in una posizione prominente sulla penisola baleare, che compone un potente scenario paesaggistico con scogliere che scendono drasticamente nell'oceano. I resti della Fortezza sorgono dal paesaggio e le superfici rocciose erose dal vento sono caratteristiche notevoli all'interno di questo scenario. La Fortezza fu costruita nel 1808 dalle truppe napoleoniche durante le invasioni francesi e le tracce dei ruderi sono ancora presenti sul sito, ed è un esempio di struttura militare difensiva costruita durante le invasioni francesi per rafforzare il sistema di difesa costiera. Della Fortezza, oggi, ne rimangono soltanto i ruderi, e sono un punto di riferimento all'interno di un paesaggio straordinario: la bellezza naturale e la memoria del luogo offre ai visitatori un'esperienza unica.



Rovine della fortezza Napoleonica di Baleal





50 m



2.2 GENESI E CONTESTO PAESAGGISTICO

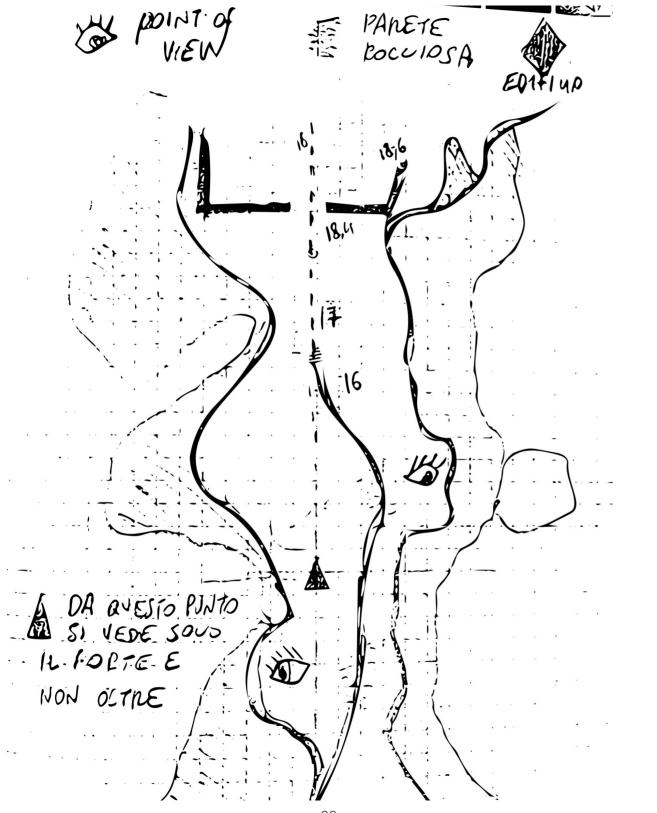
Per la progettazione del teatro all'aperto, la mia scelta è stata quella di utilizzare la roccia per creare una struttura ad ipogeo, ovvero, una struttura scavata nella roccia, che utilizza il materiale naturale roccioso presente sul sito di progetto, come mezzo per avere acusticamente le riflessioni necessarie per l'estensione ottimale del suono nello spazio e il suo massimo comfort per l'utenza che ne usufruirà. L'apparato complessivo del progetto si presenta con una forma circolare, la rampa che avvolge la struttura della platea, collega il dislivello di due metri, da qui, si accede al teatro e ai relativi servizi. Gli edifici che svolgono le funzioni essenziali per la struttura (bar, servizi igienici, Info Point, spogliatoi, magazzino) sono collegati da una struttura a sbalzo radiale che, per buona parte, regala una sensazione di collegamento e vista del paesaggio. Il bando di concorso prevede la progettazione di un edificio per spettacoli immerso nel contesto naturalistico dell'area, in modo da risaltarne

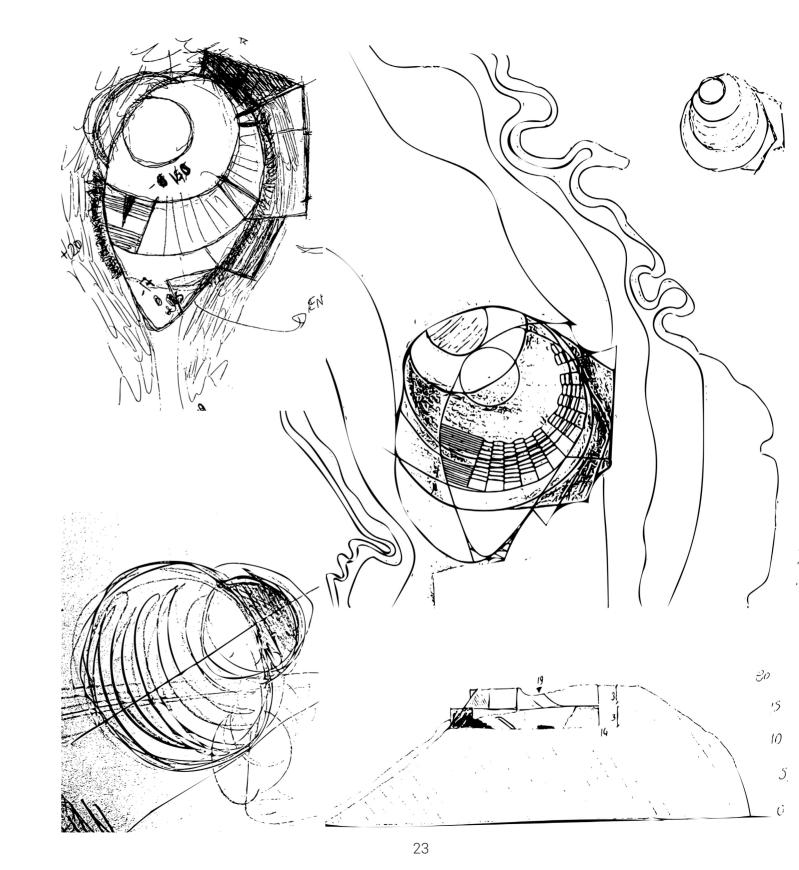
le viste e valorizzare il patrimonio sonoro locale dell'oceano. Il bando prevedeva la progettazione di: servizi privati e uno spogliatoio per un totale di 20 mq, un locale ristorazione di almeno 40 mq, dei servizi igienici per il pubblico di 20 mq, un locale adibito a ripostiglio o caldaie di 15 mq e, infine, un punto informazioni di 15 mq. Le rovine napoleoniche fungono da ingresso all'area di progetto creando un collegamento architettonico tra la struttura progettata e le rovine: le mura, ormai dimezzate dal tempo e dalle intemperie, e i muri ex- novo che escono dalla scogliera. La platea sprofonda nel terreno immergendosi nella roccia scavata per far in modo così di ripararsi dal vento e regalando suoni naturali dall'esterno e performance acustiche da parte di chi si esibisce.

L'intera struttura è situata quasi al centro del promontorio, e le rovine del forte napoleonico ne determinano l'accesso. Il teatro è stato pensato e progettato per tutelare il territorio e per rispettare, di conseguenza, il paesaggio circostante, permettendo la totale fruibilità dell'utenza. Il progetto prevede che le rovine napoleoniche divengano un punto di accesso all'area del promontorio e del teatro all'aperto, creando un collegamento visivo e architettonico tra la struttura progettata e le rovine: le mura, ormai deteriorate dal tempo e i muri ex- novo. Un altro degli obiettivi richiesti dal bando di concorso è quello di migliorare i collegamenti tra Baleal e la scogliera, luogo in cui sorgerà la nuova struttura per concerti. Il collegamento per arrivare al teatro all'aperto, per facilitare il passaggio del pubblico e dei visitatori, è stato favorito dalla costruzione di una passeggiata che si fa spazio tra la scogliera e i dislivelli da essa creati. La strada pedonale collegherà il paese di Baleal con il Teatro, passando attraverso le rovine del forte presenti nel promontorio, che diverranno l'ingresso dell'area di progetto.

Il progetto si compone di un'area dedicata meramente alla fase spettacolo, ovvero lo spazio destinato alla platea e al palco, e di un secondo spazio, costituito da 142 mq, riservato sia ai servizi igienici rivolti al pubblico e allo staff della struttura, sia ai servizi indirizzati alla ristorazione ed all'informazione. Il bando di concorso fornisce delle dimensioni standard per quanto riguarda le caratteristiche base che il progetto dovrà contenere come spazi per servizi e locali adibiti all'utenza, ma risulta molto libero per scelte progettuali e nullo di vincoli urbanistici, di altezza degli edifici e di scavo.

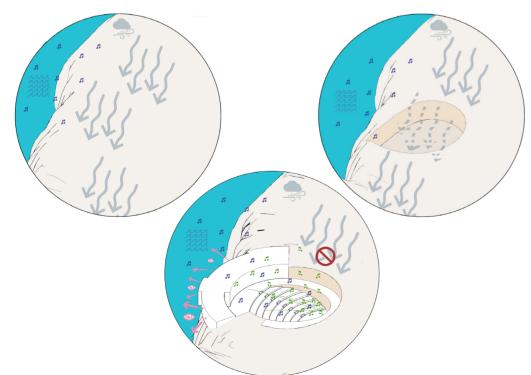
Nelle pagine 22 - 23: schizzi di progetto che raffigurano uno studio per la creazione del collegamento pedonale tra il paese di Baleal e il teatro all'aperto e della struttura stessa.





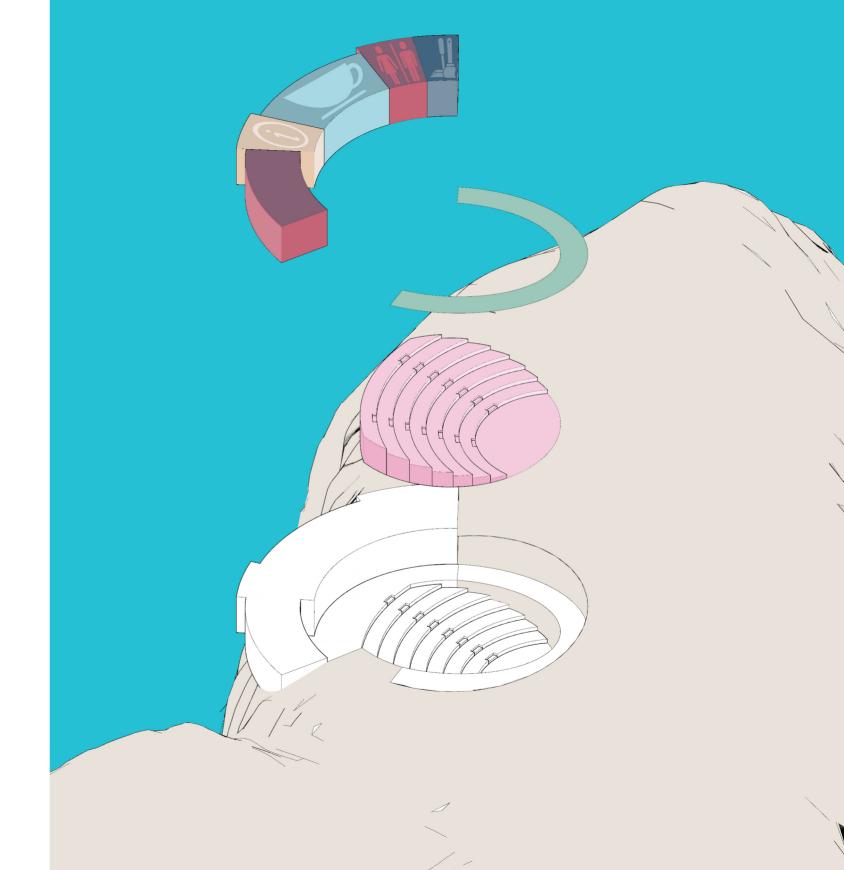
È importante fare una premessa: l'area di progetto, sita sul promontorio di Baleal, è notevolmente esposta alle intense correnti d'aria provenienti dall'oceano Atlantico e proprio per questa ragione si è ponderato molto riguardo la scelta strutturale, al fine di individuare la soluzione ottimale per evitare problemi acustici all'interno del teatro all'aperto. Infine, la scelta migliore per la costruzione del teatro, è stata quella di progettarlo attraverso una struttura ipogea, ovvero una costruzione sotterranea scavata nella roccia, che agevola la performance dei musicisti, "proteggendola" da eventuali interferenze del vento. Ciò avviene grazie alle superfici rocciose, progettate al fine di ottimizzare le performance acustiche, che fungono da barriere aerodinamiche evitando così il passaggio del vento.

Grazie allo studio sul luogo e alle caratteristiche paesaggistiche dell'area di progetto, è stato possibile progettare una struttura che si integrasse bene all'interno del paesaggio naturale, che lasciasse inalterata l'armonia e l'equilibrio che vi è tra fauna, materiali e rovine del luogo e che "celasse" il teatro. La struttura ipogea fa si che sia difficile scorgere in lontananza il teatro, tuttavia, avvicinandosi alla struttura sarà possibile notare maggiori dettagli strutturali, come ad esempio: le superfici rocciose, la rampa di accesso alla struttura e l'edificio per servizi posto a sbalzo sul mare. La platea, invece, sprofonda nel terreno immergendosi nella roccia, regalando suoni naturali dall'esterno che si mischiano con le performance acustiche dei musicisti.



Di fianco: concept di progetto che raffigura le tre fasi preliminari per la progettazione del teatro.

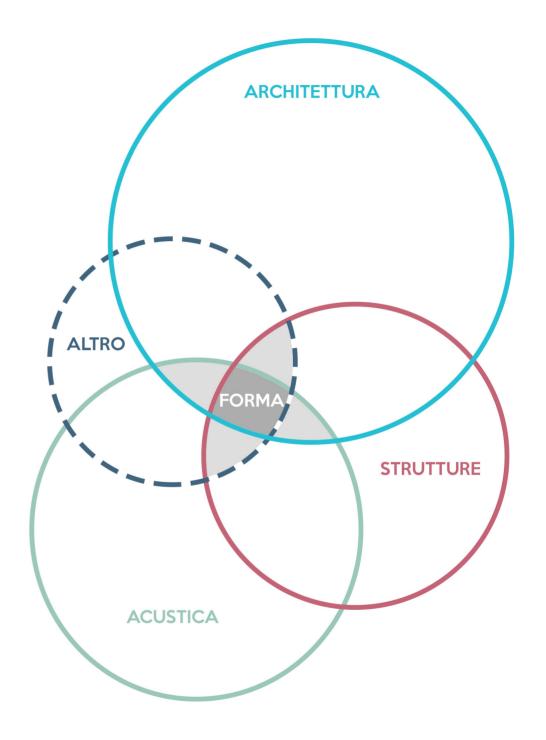
Nella pagina successiva: esploso assonometrico raffigurante il teatro all'aperto e i suoi principali elementi progettuali.
Nell'edificio per servizi sono rappresentate le funzioni attraverso differenti colori.



PROGETTO COME RICERCA

Il progetto coinvolge quindi diversi temi: architettonici, ma anche acustici (per ottenere una scena sonora efficace) e strutturali (relativi ad esempio allo scavo nella roccia). Il progetto evolve per questo la scelta puramente formale, trasformando tutti questi fattori, in una serie di "campi di validità". Cioè in una serie di parametri qualitativi e quantitativi capaci di "validare" la forma. Gli schizzi sopra riportati, ad esempio, tracciano linee di sviluppo del progetto indicative, definendo, intuitivamente, un campo di validità morfologico: la forma sarà affine rispetto a quel disegno se non cambierà "troppo". Ma come definire quel "troppo"? Farlo significa definire un "campo di validità" attravrso l'impostazione di un parametro: in questo caso la forma, ma potrebbe essere un parametro tecnico (ad esempio per l'acustica). Qui entra in gioco la gestione del progetto che si sviluppa attraverso differenti parametri che appartengono a campi di validità diversi e quindi non sono direttamente comparabili. Devono invece essere messi a sistema: un sistema in cui la forma è l'unico vero referente. Così, partendo da una serie di valori limite, ho sviluppato una serie di parametri che riguardano esattamente la definizione morfologica delle pareti, delle inclinazioni graduali che la roccia dovrà avere per riflettere il suono a tutta la platea, cioè una gestione multi-criteria della forma che mi ha consentito di arrivare, attraverso iterazioni, a una soluzione capace di soddisfare tutti i vari parametri espressi entro i "campi di validità". E' fondamentale capire che i campi di validità sono tra loro definiti in modo indipendente, ciascuno secondo le loro logiche: è attraverso il software parametrico, che saranno messe a sistema, conciliandosi in una forma.

> Nella pagina successiva: schema raffigurante i campi di validità utilizzati per il processo di morfogenesi che si uniscono al fine di trovare una forma ottimale entro i parametri stabiliti.



PROGETTO & METODO: PARAMETRIC DESIGN

INTRODUZIONE

Sviluppo e innovazioni tecnologiche hanno portato grandi cambiamenti in qualsiasi ambito, rivoluzionando radicalmente ogni aspetto della società moderna e migliorando notevolmente lo stile di vita delle persone in tutto il mondo.

L'architettura, intesa in senso vitruviano come "disciplina dell'edificare", rientra in questo contesto, evolvendosi nel corso dei secoli sia a livello progettuale sia come risposta ad abitare profondamente mutati. Ogni epoca, partendo da quella rinascimentale fino ad arrivare a quella contemporanea, è stata protagonista di uno sviluppo tecnologico che ha portato con sé grandi innovazioni all'interno del mondo dell'architettura, dove l'impiego delle tecnologie è aumentato in maniera esponenziale.

L'utilizzo di nuovi software, come quelli parametrici, è solo una delle tante evoluzioni che si sono affermate nell'ambito della progettazione architettonica, potenziando le capacità di morfogenesi dell'edificio e rendendo possibili nuovi approcci progettuali.

Lo scopo di questo studio è quello di analizzare l'evoluzione della progettazione parametrica, sviluppatasi sia attraverso le innovazioni tecnologiche, sia grazie al contributo di alcune figure storiche e contemporanee dell'architettura, esaminando quindi i principali strumenti che hanno permesso di approcciarci in maniera diretta al metodo parametrico. Strettamente legato a quest'evoluzione è l'interrogarsi sul ruolo e sul compito dell'architetto.

La struttura di questo saggio di ricerca è organizzata parti. La prima parte si occupa di delineare, attraverso un excursus storico, l'evoluzione di quello che oggi si può definire "disegno contemporaneo". la seconda parte si focalizza sui software parametrici, sul loro sviluppo e sul loro metodo di progettazione, anche attraverso esempi e opere di architettura. Infine, nella terza parte, si affronteranno i temi relativi alla metodologia progettuale, interrogandosi circa il ruolo dell'architetto e il progettuale nell'era delle nuove tecnologie digitali.

30

3.1 L'EVOLUZIONE STORICA E LA DIMENSIONE PARAMETRICA

IL DISEGNO RINASCIMENTALE E IL METODO GEOMETRICO

Come si è arrivati alla innovazione ed al progresso portati dalla modellazione tridimensionale e parametrica? Non si sarebbe potuti arrivare a queste "nuove" soluzioni di progetto, senza il contributo di architetti che hanno fatto la storia della progettazione architettonica, ampliando le conoscenze che sono alla base dei nuovi metodi di progettazione. Negli ultimi anni tali programmi hanno acquisito un'elevata notorietà nell'ambito architettonico, e sono stati resi accessibili ai progettisti per un migliore e avanzato utilizzo per la progettazione architettonica.

Nonostante la diffusione dei programmi parametrici sia di recente utilizzo, l'approccio che li ispira ha radici ben più lontane. Nel Quattrocento l'invenzione della stampa ha portato grandi cambiamenti, aumentando la diffusione del sapere e, nello specifico, delle teorie architettoniche, grazie

anche al ritrovamento di documenti fondamentali, tra cui il trattato di Vitruvio1. Il De re aedificatoria di Leon Battista Alberti, scritto in latino a Roma sotto Niccolò V nel 1485, ebbene non contenga illustrazioni, è un passo fondamentale per comprendere la liason tra disegno, progetto e costruzione (Spallone R., 2012). Alberti era a conoscenza di quanto fosse un'operazione rischiosa ricopiare manoscritti e immagini durante XV secolo, poiché era importante produrre una copia identica all'originale. Per evitare errori, Alberti, inventò degli stratagemmi al fine di aiutare gli amanuensi a copiare le immagini attraverso diagrammi numerici facilmente riproducibili per mezzo di cifre e una serie di istruzioni per completarle. Tali diagrammi numerici erano progettati per convertire l'immagine in un file che oggi potremmo definire "digitale" e successivamente ricrearne una copia dell'originale. Ma questa tecnica non era pensata solo per i testi scritti: massimo esempio della sua tecnica fu quello della riproduzione della mappa della città di Roma. Disegnata intorno a metà del XV secolo, era stata riprodotta con errori via via crescenti. Alberti trovò un modo di codificare la mappa attraverso dei numeri, per poi "digitalizzarla" usando un sistema di coordinate polari. Il resto del libro è un insieme di coordinate che aiutano a ricreare la mappa di Roma senza commettere errori. Nel suo libro, il De statua, Alberti avanzò un'altra ipotesi, ovvero che fosse possibile creare coordinate spaziali (quelle che oggi definiremmo "in 3D") al fine di delineare un modello del corpo umano, dividendolo in differenti parti, per poi incaricare scultori situati in differenti parti del mondo, ottenendo così un lavoro pressoché identico alle direttive del progettista (Carpo M., 2011).

A livello concettuale, potremmo dire che l'unica differenza tra il processo digitale di Alberti e quello attuale sia la velocità di esecuzione. I disegni di progetto di Alberti non erano infatti semplicemente immagini: essi erano concepiti come matrici, e questo perchè rispondevano all'esigenza di copiare testi, immagini, oggetti d'arte e industria. In effetti, gran parte delle ipotesi avanzate da Alberti sarebbero presto state sostituite da un'altra tecnologia riproduttiva: la stampa. Immagini e testi stampati avrebbero fornito esattamente ciò di cui Alberti aveva bisogno, poiché l'introduzione della stampa permise una diffusione più rapida di informazioni e documenti riducendo notevolmente la presenza di errori. Il medesimo approccio Alberti lo applicava agli edifici, ed è il lavoro dell'architetto che lo ha progettato dal punto di vista progettuale e non costruttivo. L'idea di progetto di Alberti era composta da elementi fondamentali come disegni in scala,

1 Il ritrovamento del trattato di Vitruvio avviene nel secondo decennio del Quattrocento (Spallone R., 2012).

In ogni caso, da allora si è continuato a dare molta importanza alle rappresentazioni ortogonali e grafiche. Famosa è la lettera di Raffaello Sanzio a Papa Leone X risalente al 1519 che enfatizza la correlazione fra le tre viste: pianta, prospetto e sezione².

Grazie alle proposte innovative degli architetti del Rinascimento e alla loro grande capacità di rappresentare l'architettura tramite elaborati grafici, nel XVII secolo furono acquisite capacità e competenze matematiche e della geometria pura grazie alle quali si svilupparono successivamente teorie all'avanguardia nel campo del disegno architettonico. Guarino Guarini, assunse in questo senso un ruolo fondamentale: nella sua visione, l'architettura era basata sulla composizione di figure geometriche semplici attraverso cui si sviluppavano geometrie e forme estremamente complesse. Grazie alle sue capacità scientifiche, riusciva ad affrontare differenti problematiche tra superfici e solidi.

Ad esempio, un'importante tema ricorrente nei manuali di architettura del Rinascimento è quello delle coperture voltate, che caratterizzavano gli edifici pubblici e privati. Le volte venivano classificate secondo la tipologia, la geometria ed i metodi costruttivi con cui venivano edificate. Guarini nei suoi libri³ spiegava come progettare, attraverso nozioni geometriche e calcoli di superfici e volumi, nuove conformazioni di volte. Inoltre, descriveva gli aspetti costruttivi delle volte, fra cui la stereotomia, finalizzata al taglio delle pietre, dimostrandone i procedimenti geometricamente. Ad esempio le volte "planteriane"⁴, che con la

^{2 &}quot;Il disegno adunque degli edifici si divide in tre parti; delle quali la prima è la pianta, o vogliam dire disegno piano: la seconda è la parete di fuori, con li suoi ornamenti. [...] La terza parte di questo disegno è quella in che abbiamo la parete di dentro con li suoi ornamenti. E questa è necessaria non meno che l'altre due, et è fatta medesimamente della pianta con le linee parallele, come la parete di fora; e dimostra la metà dello edificio di dentro, come se fosse diviso per mezzo". (Raffaello Sanzio, Baldassarre Castiglione, 1519).

³ L'Architettura Civile, l'Euclides adauctus e Il modo di misurare le fabbriche. (Spallone R., 2012)

⁴ Denominate così dal suo inventore, l'architetto Gian Giacomo Plantery, sono volte che si

loro notevole complessità geometrica divennero una vera e propria moda nella società Barocca, possono essere descritte come la sperimentazione di nozioni geometriche e matematiche nate con Guarini e del suo discepolo Bernardo Antonio Vittone.

COMPOSIZIONE E COSTRUZIONE NELL'OTTOCENTO

Ai primi dell'Ottocento, durante la cosiddetta "Età dei lumi", Jean-Nicholas-Louis Durand, docente nell'Êcole Polytechnique, nel suo libro Précis des Leçons d'Architecture teorizza un nuovo metodo costruttivo e compositivo. Egli sostiene che la composizione architettonica dell'edificio debba fondarsi sullo studio degli "elementi", elementi architettonici che compongono il progetto di architettura (muri, aperture, solai ecc.) e che, combinati con le "parti" (portici, scale ecc.), danno vita agli edifici. I progetti saranno poi rappresentati mediante piante, alzati e sezioni, meticolosamente impaginati utilizzando le proiezioni ortogonali. "Questo procedimento è già un mezzo di standardizzazione: invita alla semplificazione del disegno" (Szambien W., 1986: 133). Inoltre, Durand nella sua "prima lezione" 5 delinea tre fasi progettuali: schizzo, schema grafico e disegno particolareggiato. Lo schizzo è il disegno a mano libera con cui sviluppare le prime idee di progetto. Lo schema grafico, invece, è il disegno che inquadra gli assi principali di progetto e i principali elementi dell'edificio. Per quanto riguarda il disegno particolareggiato, esso è il progetto finale, quello che oggi potremmo chiamare "progetto esecutivo". Questo modus operandi non si distacca molto da quello odierno, in cui però si utilizzano differenti tecnologie.

Un'altra importante figura di rilievo è Jean-Baptiste Rondelet, docente nell'Êcole Polytechnique. Nel suo *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, fissò nozioni su cui si basa ancora oggi la scienza moderna delle costruzioni. Tale trattato era un testo indispensabile per gli architetti, poiché forniva le nozioni specifiche sull'organizzazione dei cantieri, la quantità dei materiali impiegati ed esempi riguardanti l'organizzazione di fabbriche storiche.

Attraverso lo studio della Geometria descrittiva di Gaspar Monge, l'antica disciplina stereotomica venne migliorata, garantendo la rappresentabilità e la risoluzione dei problemi grafici e di costruzione e creando conci prefabbricati assemblabili successivamente in cantiere. Questa idea evolve ciò che preannunciava Alberti nel suo De statua quattrocento anni prima: possibilità ora rese potenziate dalla rivoluzione industriale.

Esemplare in questo senso fu ciò che avvenne a Londra nel 1851, in occasione della prima Esposizione Universale per le innovazioni industriali. L'esposizione viene infatti ospitata all'interno di un edificio in vetro, ferro e legno, progettato

sviluppano da una volta principale e voltine sugli assi secondari e angolari (Spallone R., 2012).

⁵ Insieme di lezioni raccolte in Prècis des leçons d'architecture (1802-1805).

da Joseph Paxton. La struttura, simile ad una serra, era stata progettata con componenti prefabbricati e risultava quasi completamente trasparente all'esterno, infatti, era nota per questo come Crystal Palace. Secondo la critica, questo padiglione "assunse una tecnologia standardizzata e le diede forma coerente" (Curtis W., 2006). Al suo interno vennero esposti e presentati i più incredibili oggetti d'artigianato e gli innovativi macchinari tecnologici d'avanguardia, creando così un disequilibrio tra innovazione tecnologica, in continuo sviluppo, e tradizione manifatturiera. La rivoluzione industriale portò sia enormi cambiamenti nell'ambito dell'oggettistica ad uso quotidiano, che eccezionali agevolazioni economiche da parte delle industrie. Il cambiamento non fu totalmente percepito da tutti come un miglioramento, in quanto se da una parte veniva introdotta la meccanizzazione dei processi produttivi, dall'altra veniva notevolmente danneggiata la produzione artigianale. In pochissimi anni, infatti, gli artigiani divennero operai e la tradizione perse progressivamente la propria importanza.

Pochi anni dopo anche Antoni Gaudí, peraltro, influenzato dalla sua esperienza lavorativa nella bottega di famiglia⁶, trovò interesse nelle rappresentazioni spaziali degli oggetti. Gaudí, approfondì le conoscenze geometriche, arrivando a comprendere forme complesse attraverso metodi costruttivi tradizionali. Gaudí non fu in grado di disegnare le guglie della sua Sagrada Familia senza studiare i principi di meccanica: egli simulò e studiò il progetto attraverso metodi per la ricerca della migliore forma strutturale per l'ottimizzazione della struttura (Crippa M., 2004).

Nelle pagine 38-39: "Modern Architecture: International Exhibition" mostra che si è tenuta nel 1932 al MoMA di New York City . Curata da Philip Johnson e Henry-Russell Hitchcock



Processo di morfogenesi della Struttura della Sagrada Familia di Gaudì

⁶ Il papà era un artigiano calderaio.



VERSO UNA PROGETTAZIONE **PARAMETRICA**

Negli anni che seguirono la Seconda guerra mondiale, gli architetti, grazie anche allo sviluppo di software per la progettazione architettonica e strutturale dell'edificio, elaborarono nuove tecniche di approccio progettuale. L'architetto danese Jørn Utzon, insieme alla società d'ingegneria Arup, lavora all'Opera House di Sydney. Dopo anni di sperimentazioni fallite e problematiche costruttive, Utzon, nel 1961, abbandonò il progetta della precedente copertura, per intraprendere il percorso della fattibilità delle volte, rinunciando alla progettazione di forme libere in favore di elementi geometrici prefabbricati. La soluzione di Utzon fu quella di modificare totalmente gli input del problema e di parametrizzare l'estrazione delle "vele" da una sfera virtuale creando un rigore geometrico delle forme. Ove Arup, Il grande strutturista che affiancava Utzon, dichiarò in un suo intervento:

> La soluzione è stata a lungo ibrida, ma nel corso degli ultimi sei mesi è diventata ideale sotto tutti gli aspetti: dal punto di vista tecnico, estetico e persino economico. Abbiamo abbandonato gli studi della precedente soluzione, che duravano da tre anni (Arup 0.,1961)

Nella seconda metà del XX secolo, Luigi Moretti e Sergio Musmeci, possono essere considerati pionieri nell'ambito delle Architetture Parametriche, , realizzando forme attraverso "rigorose relazioni geometriche tra parametri7 quantizzabili relativi alla visione ottimale" (Tedeschi A., 2014); ma anche poiché elaborarono progetti per stadi, ponti e infrastrutture che si discostavano completamente dai riferimenti tipologici usati dai loro predecessori, come per esempio il ponte sul Basento a Potenza nel 1969 progettato da Musmeci. Come dichiara Moretti stesso in uno dei suoi scritti:

> il codice, del nuovo linguaggio architettonico, la "struttura", nel senso originario e rigoroso del vocabolo, deficiente le forme che quelle funzioni esaudiscono. Alla determinazione dei "parametri" e loro interapporti, debbono chiamarsi a coadiuvare le tecniche e le strumentazioni del pensiero scientifico più attuali; particolarmente la

> I "parametri" e le loro interrelazioni divengono così l'espressione,

logica-matematica, la ricerca operativa e i computer, specie questi per la possibilità che danno di esprimere in serie cicliche autocorrettive le soluzioni probabili dei valori dei parametri e delle loro relazioni (Luigi Moretti opere e scritti, Electa, Milano, 2006, pp. 204-208).

Un ulteriore passo in avanti avviene quando le potenzialità della trasformazione delle forme in parametri, in modo ricorsivo, tornano a modificare le forme, magari persino a ispirare nuovi corsi formali. Nel momento in cui la forma dell'architettura venga "scomposta" in parametri, infatti, questi assumono una dimensione potenzialmente indipendente: nell'insieme morettiano, cioè, vince il tutto sulle parti, ma è possibile anche che vincano le parti sul tutto.

Questo è ciò che avviene quando alle potenzialità parametriche si sovrappone una idea di architettura che modifica radicalmente l'approccio alla forma. È ciò che accade ad esempio quando nasce il cosiddetto decostruttivismo architettonico, con gli architetti che importarono i concetti del filosofo Jacques Derrida nel mondo architettonico. L'esposizione del 1988 "Deconstructivist Architecture" 8 del Museum of Modern Art (MoMA) di New York, raccolse i progetti di sette esponenti di guesta nuova "corrente": Daniel Libeskind, Rem Koolhaas, Frank Gehry, Peter Eisenman, Zaha Hadid, Coop Himmelb(I)au e Bernard Tschumi. Il loro progettare aveva direzioni, scopi, ispirazioni differenti: ma tutte erano accomunate da un uso della tecnologia molto spinto. Tecnologie e software parametrici che permettevano la creazione di forme non convenzionali e di strutture sempre più complesse, lasciando tuttavia invariato il metodo di progettazione.

Patrick Schumacher alla biennale di Venezia del 2008 celebrava addirittura la nascita di un nuovo stile: il parametricismo, una corrente che segue il movimento moderno basato su principi applicabili al piccolo ed al grande manufatto architettonico (Jodidio P., 2016).

Alberti voleva velocizzare il processo di copia sperimentando sistemi alternativi alla stampa. Guarini e Gaudí cercavano di ottimizzare le strutture attraverso complesse nozioni geometriche, matematiche e strutturali, utilizzando sperimentazioni che grazie all'utilizzo di programmi parametrici potevano risultare decisamente più veloci ed efficienti; Durand fu capace di proporre un metodo innovativo di classificazione dell'architettura attraverso "elementi" che non si distacca molto da un'impostazione primitiva dei software BIM (building

⁷ In matematica, termine generico usato per lo più con il significato di variabile indipendente (http://www.treccani.it/vocabolario/parametro/).

⁸ La mostra venne curata da Philip Johnson e Mark Wigley.

information modeling). Ora finalmente, le tecnologie contemporanee potrebbero semplicemente cancellare il gap notazionale che per secoli ha tenuto separati design e costruzione. Grazie all'integrazione di software CAD e BIM, design e produzione si potrebbero fondere e sovrapporre divenendo un unico processo di fabbricazione per mezzo della macchina digitale. Grazie all'introduzione dei software avanzati si potrebbe aumentare notevolmente la collaborazione e l'interazione tra uomo e macchina in tutte le fasi del design e della produzione, facendo si che il risultato finale possa rievocare alcuni degli aspetti originali del fare artigianale. Si potrebbe quindi discutere, progettare e creare allo stesso tempo, proprio come facevano gli artigiani premoderni e i maestri costruttori pre-Albertiani (Carpo M., 2011).

42



L'esposizione del 1988 "Deconstructivist Architecture"

3.2 EVOLUZIONE VS RIVOLUZIONE

LE NUOVE FORME DELL'ARCHITETTURA

Il modo di progettare l'architettura si è evoluto attraverso l'utilizzo di software generativi, ma tale evoluzione non avrebbe potuto aver luogo senza il contributo di quegli che sono riusciti a gettare le fondamenta per un approccio del tutto nuovo, che oggi è noto come "parametrico".

Peter Eisenman⁹ fu uno degli architetti più coinvolti dalla filosofia poststrutturalista di Jacques Derrida, diventando un: "portavoce persuasivo dell'inconscio dell'architettura" (Ingraham, C., in *Aut Aut*, n°365). Nel 1985 Eisenman insieme a Bernard Tschumi, coinvolge Derrida nel progetto del Parc

9 Peter Eisenman è un architetto statunitense, nato nel 1932. È educatore riconosciuto a livello internazionale, di cui progetti di edilizia abitativa e di design urbano pluripremiati, strutture innovative per istituti scolastici e creative case private attestano una carriera di eccellenza nel design. È ritenuto appartenente alla corrente decostruttivista grazie alla sua vicinanza con il filosofo Jacques Derrida (https://eisenmanarchitects.com/Profile)

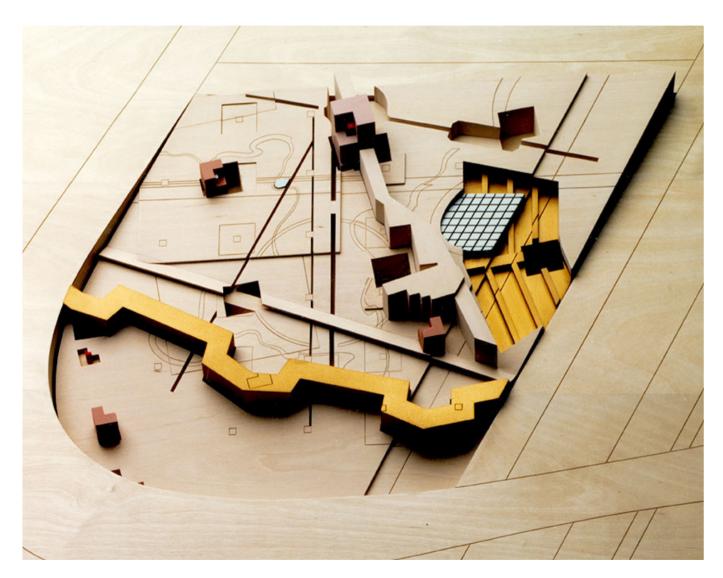
de la Villette a Parigi, creando l'occasione per un dialogo operativo tra architettura e filosofia. Dalle fonti emerge, tuttavia, che la collaborazione tra i due architetti ed il filosofo non durò a lungo, testimonianza ne è la lettera che scrisse Derrida a Eisenman nel 1986. I giardini progettati da Eisenman e Derrida all'interno del Parc de la Villette, come sappiamo, non sono mai stati realizzati, tuttavia questo "fallimento" può essere di certo considerato un importante esperimento per avvicinare l'architettura alla filosofia (Cantone, D., in *Aut Aut*, n°365). Quando Eisenman, venne a conoscenza delle teorie di Gilles Deleuze, ne rimase talmente impressionato da ipotizzare un'architettura basata sul concetto di movimento. Da qui derivano le pieghe congelate di Eisenman, che avevano proprio lo scopo di suggerire il movimento: questa era la posizione di Eisenman all'inizio della svolta digitale. *The Fold: Leibniz and the Baroque*¹⁰ si sofferma sui diversi aspetti della cultura barocca, approfondendo il concetto delle cosiddette "pieghe di Deleuze" e concentrandosi in particolare sulla teoria delle idee e la matematica di Leibniz di cui approfondisce il calcolo differenziale.

Un altro concetto dello scritto di Deleuze che colpì Eisenman è quello di "objectile", da qui derivò quello di "objectevent" (Carpo M., 2011). Per "objectevent"¹¹, Eisenman intendeva immagini dell'era digitale in continuo movimento capaci di "spezzare" gli assi Cartesiani della tradizione classica, introducendo forme architettoniche in grado di mutare costantemente con l'andare del tempo.

La realizzazione del pensiero decostruttivista seguito dagli architetti, che si costituiva di forme nuove e molto complesse, aveva bisogno di strumenti in grado di rendere possibile la trasformazione delle idee in oggetti materiali. I concetti filosofici vennero trasformati in forme e i pensieri in stili attraverso software digitali che divennero fondamentali per gli architetti. Quando gli strumenti di progettazione digitale entrarono in scena, furono subito riconosciuti come indispensabili, poiché erano in grado di realizzare minuziosamente determinati

¹⁰ Il concetto di piega è identificabile come un mezzo per cui si uniscono segmenti e piani, fondendosi attraverso linee e volumi continui, costituendo un segno rappresentativo dell'oggetto Deleuziano. In Deleuze il concetto di piega e quello di Barocco sono strettamente connessi, infatti, egli stesso sostiene che: "Il Barocco non smette mai di fare pieghe. Questo fenomeno non è una sua invenzione: ci sono tutte le pieghe provenienti dall'Oriente, le pieghe greche, romane, romaniche, gotiche, classiche (...) Ma il Barocco avvolge e riavvolge le pieghe, le spinge all'infinito, piega su piega, piega secondo piega. Il suo tratto distintivo è rappresentato dalla piega che si prolunga all'infinito." (Deleuze G., 2004)

^{11 &}quot;le immagini commoventi e morphing dell'era digitale rompono il cartesiano e le prospettiche griglie della tradizione classica, e invitano forme architettoniche capaci di continue variazioniforme che si muovono nel tempo" (Carpo M., 2011)



Progetto del Parc de la Villette di Peter Eisenman e Bernard Tschumi del 1985

aspetti progettuali che gli architetti precedentemente avevano difficoltà a sviluppare.

Ancora oltre si va con *Folding in Architecture* (Lynn. 1993), che esplora i temi che hanno influenzato e aiutato a comprendere la rivoluzione digitale, promuovendo l'utilizzo del computer e cercando di introdurlo nel mondo della progettazione architettonica. Greg Lynn sostiene che esiste una continuità attraverso cui sviluppare il progetto di architettura. Nella sua prefazione, Lynn annuncia "l'Era di forme circolari ed armoniose ma complesse superfici" (Lynn G., 2004, pp.9-11) che si sviluppano durante la seconda metà degli anni '90 e che oggi sono viste come l'espressione più evidente della resa digitale in architettura. Gli argomenti dei saggi e dei progetti presenti all'interno di *Folding in Architecture* trattano infatti l'architettura attraverso geometrie, angoli, pieghe e fratture. La seconda edizione del libro, pubblicata nel 2004, con un'introduzione di Mario Carpo che passa in rassegna le principali teorie architettoniche che vanno dagli inizi alla fine degli anni Novanta, pone ancor maggiore attenzione sulle variazioni dettate dai nuovi paradigmi tecnologici.

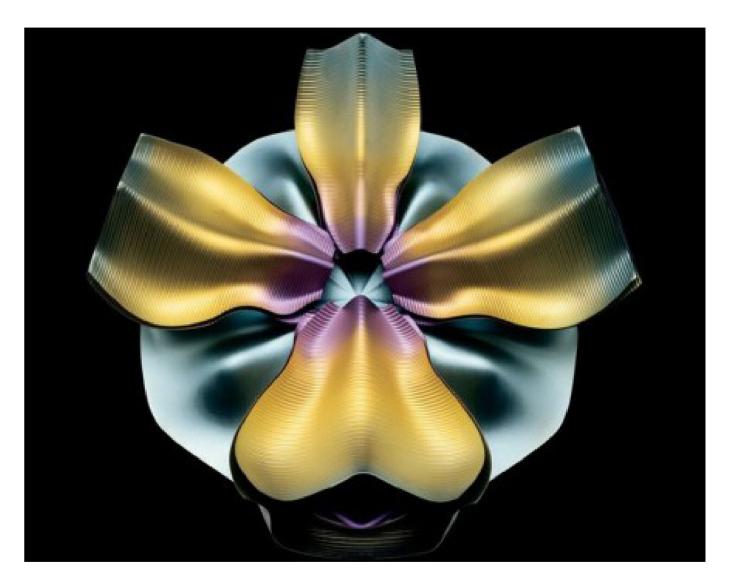
Negli ultimi anni, il digitale sta unendo le nozioni base di architettura all'utilizzo del computer per produrre e velocizzare alcune operazioni, offrendo così, per la prima volta, la possibilità di un reale controllo della sperimentazione di forme innovative attraverso tecniche di programmazione (scripting) controllabili direttamente dagli architetti: generando così possibilità inattese e del tutto imprevedibili. Le prime sperimentazioni contemporanee sui processi morfogenetici evolutivi risalgono a più o meno vent'anni fa. Nel 2004 aveva luogo la mostra "Non Standard" al Centre Pompidou di Parigi, che riuniva sperimentazioni su forme amorfe (free-form) e approcci sperimentali al progetto da parte di architetti come Greg Lynn e i suoi 'BLOB'¹² informi, Marcus Novak, NOX, Objectile. Tutti questi approcci vennero definiti "non-standard architecture". Il significato di una serie di approcci non-standard¹³ è che ogni oggetto ha delle caratteristiche in comune con tutti gli altri. In termini tecnici, le caratteristiche in comune non sono altro che algoritmi e macchine che si utilizzano per completare gli articoli. Gli architetti elencati in precedenza erano

¹² Il termine "BLOB" dell'architetto Greg Lynn, è stato inventato per la prima volta nel 1995 ed è l'espressione per identificare: oggetti binari di grandi dimensioni, o i cosiddetti BLOBs. Queste particolari forme vengono manipolati attraverso algoritmi. Le NURBS, sono alla base del progetto di queste forme (http://qlform.com/)

¹³ L'espressione 'Non standard' è nata nel 2003, quando un'esposizione dedicata alle recenti sperimentazioni architettoniche si sono svolte nel Centre Pompidou, a cura di Migayrou, basato sull'uso di tecnologie digitali. Un saggio importante dedicato a questo tipo di produzione può

pionieri di un processo che possiamo definire come "morfogenesi computazionale architettonica" che usa procedure di calcolo computazionale con il preciso fine di generare la forma, e non solo verificarla come, ad esempio, avviene normalmente in un calcolo di verifica strutturale. Ad esempio Greg Lynn sviluppò la serie "Teiere Ninetine" per il produttore italiano Alessi, che mise in relazione il paradosso di scala dell'architettura ed il design utilizzando il dibattito contemporaneo per la realizzazione di oggetti casalinghi. Bernard Cache, del gruppo Objectile, progettò la serie "Projective Tables", presentando tavoli dal design diverso ma simili tra loro all'interno della stessa serie. I progettisti utilizzano piattaforme tecnologiche e software di progettazione differenti, ma entrambi si basano su variabili e limiti autoimposti: Lynn adopera software basati sul calcolo differenziale, ottenendo come risultato levigatezza e superfici continue; mentre Cache utilizza e sviluppa software che hanno un'interfaccia basata sulla geometria proiettiva, generando intersezioni angolari di piani in tre dimensioni (Pugnale, A., 2012).

Oggi, l'utilizzo di strumenti computazionali mira a soddisfare molti altri requisiti di prestazione oltre alla mera forma, come quelli relativi al comportamento strutturale o acustico degli elementi architettonici. Il "Computational Design" è proprio quel metodo progettuale che integra questi strumenti come supporto per la generazione e rappresentazione di geometrie particolarmente complesse da elaborare attraverso algoritmi.



La "Teiere Ninetine" di Greg Lynn per il produttore Alessi

essere direttamente trovato nel catalogo della mostra: BEAUCÉ P., CACHE B., 'Vers un mode de production non-standard', in Architectures non standard, Migayrou F. (Ed.), Paris: Centre Pompidou, 2003.

I SOFTWARE PARAMETRICI

Abbiamo visto che, nella prima rivoluzione digitale, viene fatto un passo in avanti con Moretti e Musmeci per l'utilizzo e la trasformazione delle forme architettoniche attraverso la loro scomposizione in parametri. Il compito del software era quello di tentare di simulare le attività che il progettista svolgeva a mano libera, attraverso l'uso del computer. La definizione della forma e del progetto da parte del progettista è quindi identificabile con la simulazione del metodo di progetto tradizionale, utilizzando software come il Computer-Aided Design (CAD), che trasforma da manuale a virtuale il disegno tecnico (una pratica detta drafting), accelerando solo alcune funzioni - ad esempio permettendo una retinatura e una coloritura più rapida, ancor di più una correzione potenzialmente infinita che nel disegno a mano comporterebbe il rifare interamente il disegno. Il CAD non altera le fasi concettuali del progetto, ma cerca di facilitare e velocizzare il flusso di lavoro. Negli anni 80', il CAD si arricchisce di nuovi elementi e impostazioni, finendo di essere solamente strumenti per il disegno tecnico, unificando varie fasi della progettazione, come per esempio: il rilievo, il disegno, la realizzazione di modelli tridimensionali e il calcolo (Carpo M., 2011).

All'alba del XXI secolo, i campi di applicazione di tali tecnologie si sviluppano in maniera esponenziale, andando dalla rappresentazione al processo di generazione della forma, e arrivando fino alla morfogenesi dell'edificio. La complessità delle forme pensate dagli architetti richiedeva una gestione delle curve più precisa e controllata, che superava il concetto precedente di semplice intuizione. Le freeforms come quelle definite ad esempio nei progetti di Greg Lynn, non potevano essere descritte attraverso geometrie semplici: era necessario quindi adottare strumenti più potenti e basati su geometrie complesse. Questo divenne possibile quando si diffusero software in grado di controllare le cosiddette NURBS, acronimo di *Non Uniform Rational Basis-Splines*. Le superfici generabili mediante NURBS sono definite da un poliedro i cui vertici sono chiamati punti di controllo. Inoltre, ci sono altri parametri che influenzano la forma della superficie finale e la sua definizione matematica, come il grado e la matrice del nodo. Questo metodo di descrizione matematico delle forme consente un eccellente controllo locale e globale delle geometrie a forma libera. (Pugnale, A., Sassone, M., 2007)

L'uso delle NURBS ha influenzato la morfogenesi in vario modo: possiamo categorizzare almeno 5 usi diversi di questo strumento nella progettazione

50

architettonica. Le superfici "Skinned" sono il primo tipo di superfici e sono generate a partire da un insieme di curve che si trovano su piani di sezione trasversali, diversi e paralleli; sono queste le superfici utilizzate ad esempio dai NOX. Il secondo tipo di superfici è chiamato "Proportional" e vengono generate da un insieme di curve generative che convergono sempre in un singolo punto. Tali curve originariamente nacquero con lo scopo di progettare scafi di navi ed erano comunemente usate da Zaha Hadid per definire le sue forme ispirate a flussi dinamici. Il terzo gruppo è composto da superfici "Spine", che vengono generate come superfici prive di rivestimenti, non aventi alcun vincolo sulle direzioni spaziali dei piani di riferimento delle curve di sezione trasversale. Il quarto tipo di superfici è chiamato "Swept" e raggruppa NURBS generate seguendo le regole di traduzione. Un esempio molto famoso di superfici "Swept" potrebbe essere individuato nella cosiddetta immagine "scatola o blob", che rappresenta una superficie a forma libera, con una sezione trasversale quadrata iniziale e una sezione trasversale di quadrifoglio finale. Infine, il quinto tipo di NURBS raggruppa tutte le possibili superfici generate mediante un processo di interpolazione bidirezionale (Pugnale, A., 2012).

Per eseguire una progettazione parametrica, si deve partire dal presupposto che i disegni di costruzione non siano gli stessi realizzati per mezzo di Computer Aided Design, che simulano lo stesso procedimento per la digitalizzazione di disegni fatti a mano. La progettazione parametrica ha come scopo quello di migliorare il disegno virtuale, grazie all'archiviazione di un grande insieme di dati gestiti direttamente dall'architetto durante il processo di progettazione. CATIA, fu uno dei primi software parametrici di questo tipo, ed era originariamente usato nel campo dell'ingegneria aerospaziale e meccanica prima di essere applicato anche in architettura. Dopo alcuni anni, sono stati sviluppati altri software per l'utilizzo nel campo dell'architettura: ArchiCAD, Digital Project, Revit Building e Revit Structure sono solo degli esempi di software parametrici architettonici in grado di gestire, sulla base di modelli tridimensionali, non solo le proprietà geometriche degli edifici, ma anche altre proprietà differenti, come materiali, fabbricazione, costi e dati strutturali. Per distinguere questi software dalle tradizionali applicazioni CAD e CADD, che sono principalmente focalizzati sulla produzione di disegni, i programmi parametrici con le caratteristiche sopra citate vengono riconosciuti come BIM, acronimo di Building Information Modeling o Building Information Model. (Holst, M, K., Kirkegaart, P, H., Pugnale, A., 2010).

Analizzando meglio i software BIM, si comprende che sono definiti attraverso quattro classi di parametri. La prima è identificabile con la geometria e la fisicità dell'oggetto, come le dimensioni, i materiali e le componenti dell'oggetto; la seconda è la rappresentazione del manufatto attraverso le viste bidimensionali e tridimensionali a livelli di dettaglio e diversi stili di visualizzazione; la terza comprende parametri inerenti al costo, al produttore, ed altri dati che possono essere selezionati direttamente dal progettista; l'ultima classe di parametri comprende le caratteristiche fisico-tecniche e prestazionali dell'edificio, come la trasmissione del calore, l'acustica ecc.. La presenza dei software BIM aggiunge un valore riconducibile alla possibilità di organizzare e diffondere dati normalmente gestiti da applicativi differenti, spesso tra loro scollegati. Si obbliga di fatto a prendere quelle decisioni che, per mancanza di tempo o per uno scarso dialogo tra i progettisti, risulterebbero molto lunghe e costose in termini progettuali (Lo Turco, M., 2015).

Un'altra tecnica progettuale per svolgere la progettazione architettonica, sono gli strumenti che prendono il nome di scripting, o tooling, e si definiscono come il linguaggio di programmazione formato da una seguenza d'istruzioni specifiche. Gli script possono eseguire operazioni matematiche, valutare condizioni variabili, rispondere al loro ambiente e comunicare con l'utente. A differenza dei programmi, non è necessario che siano compilati prima della sua esecuzione: se dovessimo per esempio dividere una superficie irregolare in parti uguali, potremmo avere la necessità di ottimizzarla, in modo da semplificare il processo di produzione delle parti che la comporranno. Fino a poco tempo fa lo scripting era l'unico modo per operare a questi tipi di problemi, richiedendo un notevole impegno da parte dei progettisti che dovevano lavorare direttamente su linguaggi in codice che richiedevano forti competenze informatiche. Per questo, negli ultimi anni, in risposta alle richieste dei progettisti di semplificare le interfacce di progettazione, le case costruttrici di software hanno semplificato l'accesso ai programmi basandoli sui linguaggi interpretati come Visual Basic o Python, dando ampio e nuovo accesso ai software parametrici attraverso un'interfaccia prettamente visiva e grafica. Come i linguaggi conversazionali, i linguaggi di programmazione si raggruppano in cluster. Python è un linguaggio di alto livello progettato per essere facile da comprendere ai progettisti. Altri linguaggi come C o C ++ offrono livelli di astrazione sopra il codice macchina. Python è un sistema di linguaggio più evoluto dei precedenti, il che significa che è molto più facile da leggere (utilizza la lingua inglese) e non ha bisogno di gestire le funzionalità come

52

l'allocazione della memoria o la dichiarazione delle variabili. I nuovi software parametrici organizzano i parametri in base alla logica progettuale e sono in grado di modificarli in fase di progetto. Nel tempo Rhinoceros è diventato il programma più utilizzato per sviluppare script in architettura (Pugnale, A., 2012), perché abbina la semplicità d'uso alla capacità di controllare curve complesse (NURBS), essenziali per progettare e soprattutto gestire forme libere, come quelle di Gehry e i Blob di Lynn. È quindi ideale per disegnare e gestire forme libere, e se combinato con RhinoScript si trasforma in un ambiente di programmazione semplice ma completo, basato sul linguaggio Visual Basic. Grazie ad un plugin di Rhinoceros, Grasshopper, Rhinoscript è stato reso accessibile attraverso una grafica intuitiva e da script di base e di routine già compilate, consentendo di modellare e manipolare le relazioni parametriche attraverso diagrammi. Con Grasshopper, la forma non si ottiene tramite la logica dei CAD o della modellazione in 3D, ma è generata attraverso una sequenza ordinata di istruzioni che viene chiamata "algoritmo". (Pugnale, A., 2012)

L'algoritmo è un procedimento (indipendente dall'uso del computer) che consente di calcolare un risultato desiderato a partire da dati in input attraverso una sequenza finita e logica di istruzioni elementari (Tedeschi, A., 2014).

Gli algoritmi genetici (GA) sono algoritmi che permettono di valutare diverse soluzioni di partenza e che ricombinate ed aggiungendo al loro interno nuovi elementi, producono nuove soluzioni che vengono valutate al fine di scegliere quelle "migliori". I GA Forniscono uno strumento efficiente e flessibile per risolvere problemi complessi: come la programmazione del traffico aereo, le previsioni meteorologiche, il bilancio dei portafogli azionari e la progettazione di circuiti elettronici, dove non esistono ancora metodi analitici per svolgere la stessa funzione.

IL PROGETTO PARAMETRICO

La difficoltà del *tooling* sta nel saper comprendere e risolvere in modo corretto un problema, sviluppandolo attraverso il metodo parametrico. Il processo è controllato dall'architetto che si concentra sulle 'variabili' del progetto, cioè i punti fondamentali attraverso cui il progettista getta le basi per il manufatto che realizzerà, modificandone e definendone i parametri dell'evoluzione. Le variabili del progetto costituiscono il progetto parametrico, e i diversi tipi di approcci come la progettazione di tipo strutturale o l'utilizzo del form-finding ne sono un possibile esempio.

Un esempio di progetto parametrico in campo architettonico è il Crematorio di Kakamigahara, progettato da Toyo Ito, in Giappone. Questo progetto è un esempio di quanto sia importante determinare le variabili di progettazione, tramite un'applicazione di morfogenesi e l'ottimizzazione strutturale delle freeforms. Tale progetto è composto semplicemente da una copertura in calcestruzzo sostenuta da appoggi puntuali a terra. La forma del tetto, che fonde perfettamente architettura e struttura, è stata prima progettata dall'architetto e poi ottimizzata, dal punto di vista strutturale. La scelta di un dominio appropriato per le variabili di progettazione, cioè, la definizione di un intervallo tra tutti i valori possibili in un insieme di numeri compreso tra un limite inferiore (A) e un limite superiore (B), è sicuramente uno dei compiti principali del progettista e per il funzionamento del processo morfogenetico. La forma finale sarà una versione migliorata delle prime soluzioni sperimentali, con un comportamento ottimizzato ma principalmente definito, nella sua configurazione spaziale, dai limiti del dominio che l'architetto ha deciso d'impostare. Pertanto, la definizione del dominio diventa fondamentale. Ad esempio nel progetto di Ito, l'altezza massima del tetto che corrisponde alla massima estensione della variabile di progetto, è stata ottenuta in relazione alle sue dimensioni di proiezione in pianta, in un rapporto di 1/5 della lunghezza del bordo minore. Questo valore è stato scelto principalmente per ragioni estetiche, legate alle proporzioni architettoniche dell'edificio, considerando i limiti imposti da parte dell'architetto per la forma, la quale, non avrebbe dovuto mai superare l'altezza dei pilastri di sostegno, o dello spazio libero coperto (Pugnale, A., Sassone, M., 2007). In base alle esigenze del progettista, inoltre, si sceglierà se accettare o rifiutare i risultati della morfogenesi del progetto. I risultati "migliori", cioè quelli che vanno nella direzione definitiva, vengono a loro volta riesaminati fino ad arrivare alla ipotesi finale, il quale ottimizza la forma. Questo processo

54

viene definito: non lineare, ed è molto simile a quello della natura. I sistemi lineari sono molto semplici da interpretare, poiché il loro comportamento è "prevedibile": sono quindi composti da leggi semplici. Al contrario, i sistemi non lineari sono composti da più variabili e, molto spesso, è impossibile trovare una soluzione univoca.

In un sistema lineare l'effetto di un insieme di elementi è la somma degli effetti considerati separatamente. Nell'insieme non appaiono nuove proprietà che non siano già presenti nei singoli elementi. In un sistema non lineare invece l'intero può essere maggiore della somma delle sue parti, poiché sono le connessioni tra i diversi elementi a determinare la struttura e l'organizzazione del sistema. Emergono delle proprietà collettive non prevedibili a priori, come risultato delle molteplici interazioni fra i diversi agenti che costituiscono il sistema. Queste dinamiche scompaiono nel momento in cui il sistema viene sezionato, materialmente e teoricamente, in elementi isolati (Rossi, M., Burrati, G., 2017).

In molti progetti contemporanei, l'architetto definisce la forma architettonica a partire dalle prime fasi di progettazione, senza tener conto dei requisiti strutturali o prestazionali che servono per delineare concepire le prime configurazioni spaziali del progetto. Questo approccio, caratterizzato da un alto grado di libertà durante la cosiddetta "fase creativa", spesso conduce i risultati del progetto verso la definizione di geometrie complesse, richiedendo un intenso lavoro strutturale, durante le fasi di progettazione. Un altro esempio di approccio parametrico che dimostra l'evoluzione del progetto di architettura prima che qualsiasi strumento di ricerca di forma gli venga applicato, è il Centro Comunitario di Kitagata, in Giappone, progettato da Arata Isozaki. Isozaki si è ispirato all'idea di un tappeto fluttuante per la progettazione del tetto dell'edificio, abbozzandone la forma, collaborando con Mutsuro Sasaki, un esperto strutturale, al fine di migliorarne il suo comportamento meccanico. Questo metodo di progettazione sembra escludere la ricerca della forma come strumento di progettazione creativa, e anzi, potrebbe esser visto come una progettazione che ha lo scopo di risolvere solamente problemi tecnici; d'altro canto, estende però il suo potenziale utilizzo a qualsiasi tipo di valutazione e ottimizzazione delle prestazioni. Esaminando il processo di ottimizzazione del tetto del centro comunitario di Kitaga, si può notare che Sasaki non utilizza l'ottimizzazione per risultati tecnici, ma progetta

la struttura come un elemento architettonico, seguendo il concetto iniziale di Isozaki volto ad ottenere una forma leggera e fluttuante. L'ottimizzazione è stata perciò eseguita attraverso un algoritmo che attraverso l'analisi strutturale aveva lo scopo di migliorare la forma dell'edificio concepita in modo tutto sommato tradizionale (Pugnale, A., Sassone, M., 2007).

Un altro interessante esempio è il padiglione "Shipwreck", realizzato in legno compensato sulle sabbie del Black Rock Desert dall'architetto Arthur Mamou-Mani e dal team studentesco di Diploma Studio 5 dell'Università di Westminster per il festival Burning Man. "Shipwreck" è un padiglione architettonico per eventi, pensato per essere utilizzato su due livelli. Visivamente, la struttura principale è composta da due forme concave: la grotta (terra) e l'amaca (cielo), ciascuna con uno scopo diverso. Le due curve NURBS principali, quella superiore e quella inferiore, sono state prodotte attraverso il software Rhinoceros. Il programma parametrico Grasshopper è stato utilizzato per modificare e trovare la miglior soluzione per la realizzazione del padiglione. La struttura principale è composta da più strisce di legno compensato piegate, ciascuna forata con un modello predeterminato di fori circolari che compongono una formazione ad onda. Le pinne, che scorrono lungo la struttura, sono state progettate anch'esse tramite programmi parametrici attraverso l'utilizzo di parametri imposti dal progettista che ne determinano le variazioni di forma. Le perforazioni permettono che i modelli vengano proiettati sul pavimento della playa, sia durante il giorno che durante la notte quando la struttura è illuminata. La vela in tessuto fornisce ombra in grado di proteggere le persone dai venti dominanti dell'area.

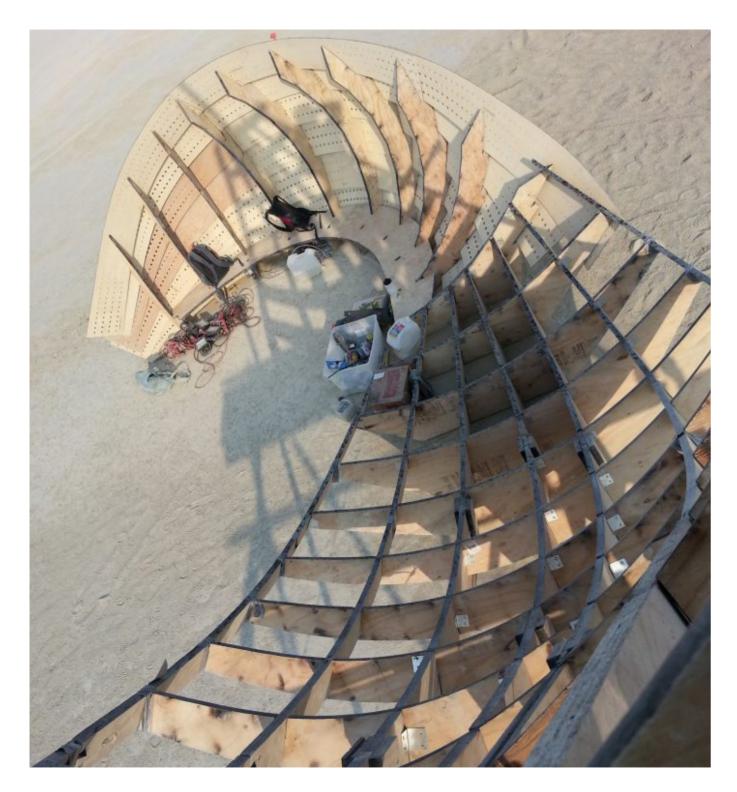
Un ulteriore esempio è "Fractal Cult", la seconda installazione dell'architetto Mamou-Mani con il team DS10 al festival Burning Man. La geometria dell'installazione si basa sul lavoro del matematico svedese Niels Fabian Helge von Koch e in particolare sulla sua invenzione del Koch Snowflake, una delle prime curve frattali che verranno descritte nel progetto. Nello specifico, le strutture sono un adattamento dei principi di Koch Snowflake in un ambiente tridimensionale che inizia essenzialmente con un tetraedro regolare che genera ricorsivamente nuovi tetraedri su ciascuna delle sue facce. L'installazione è costituita da 4 casse frattali in legno che simmetricamente circondano una struttura simile ad un telaio spaziale di natura frattale e con reti da arrampicata che rivestono i volti della forma geometrica che viene realizzata. Attraverso il software parametrico Grasshopper, le strutture sono state progettate seguendo i vincoli del progettista, al fine di realizzare la forma finale desiderata (Tedeschi, A., 2014).

Nelle pagine 58-59: il Crematorio di Kakamigahara, progettato da Toyo Ito, in Giappone



Centro Comunitario di Kitagata, in Giappone, progettato da Arata Isozaki





"Shipwreck", realizzato in legno compensato dall'architetto Arthur Mamou-Mani



"Fractal Cult" realizzato dall'architetto Arthur Mamou-Mani

RIVOLUZIONE O EVOLUZIONE?

I software sviluppati dalle case produttrici hanno agito come mediatori per liberare il progettista dai vincoli imposti dagli strumenti tradizionali, creando uno "step" successivo alla progettazione architettonica e a tutte le discipline che la compongono. Questi mezzi digitali ci permettono non solo di elaborare diversi metodi di progettazione, ma anche di sviluppare tecniche nella rappresentazione, nel progetto e nella fabbricazione del manufatto. Ma questo non significa che i metodi tradizionali siano da abbandonare: essi non solo continuano infatti ad essere applicati all'inizio del percorso progettuale, come abbiamo visto, ma costituiscono anche il nesso che rende possibile nell'utilizzo di programmi differenti. Citando Zaha Hadid, infatti:

Il computer ha stimolato analisi che hanno reso possibile la creazione di edifici complessi ma, fondamentalmente, il metodo non è cambiato (Hadid, Z., 2010).

Un approccio parametrico è lo sviluppo della forma architettonica scomposta in parametri, che ne definiscono qualitativamente e quantitativamente il progetto. Se guardiamo all'evoluzione tecnologica di questi anni, possiamo dire che mentre le tecnologie come il CAD non hanno modificato il modo di progettare, bensì ne hanno accelerato il processo, nel caso dei programmi parametrici lo hanno potenziato. Successivamente, i parametri vengono impostati attraverso l'uso di algoritmi, che determineranno le soluzioni del progetto. Sarà infine il progettista a scegliere la "migliore" soluzione del progetto, tenendo conto dei vincoli progettuali imposti. L'evoluzione di software per la modellazione è quindi un potenziamento, una evoluzione degli strumenti tradizionali di progettazione, che consente di sviluppare il progetto verso direzioni altrimenti impossibili da ottenere.

3.3 USO / ABUSO?

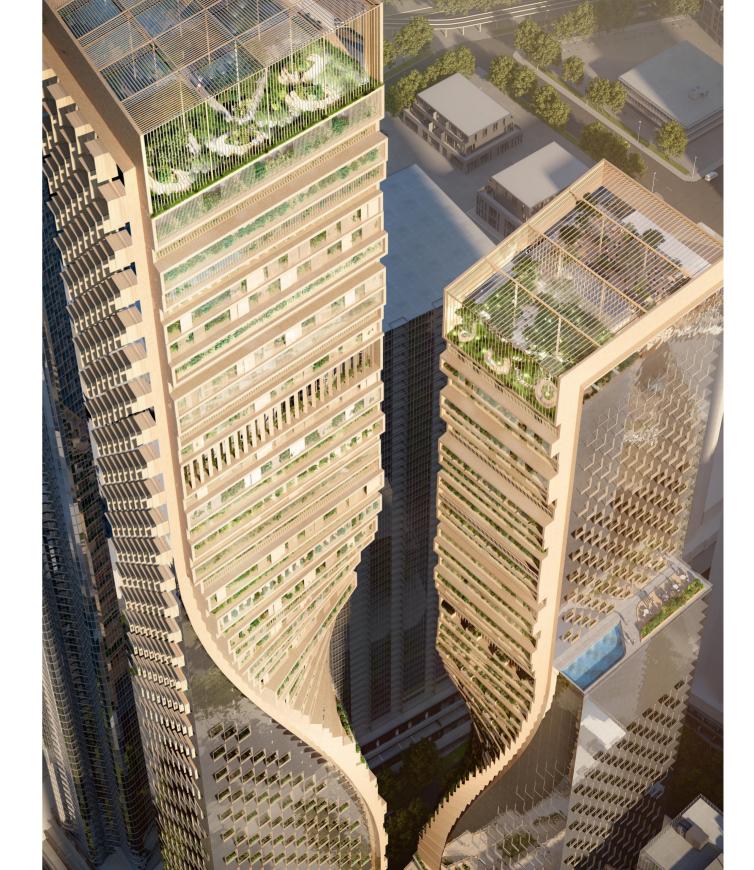
La "rivoluzione digitale" ha sortito effetti sia positivi che negativi, rivoluzionando qualsiasi attività in ogni ambito. Per quanto riguarda l'ambito architettonico, la rivoluzione digitale ha visto l'introduzione del parametricismo, un nuovo metodo progettuale che, servendosi di software di ultima generazione, semplifica operazioni e ottimizzazioni che prima erano molto complesse da svolgere senza l'aiuto di strumenti avanzati, divenendo anche uno stile vero e proprio.

L'avvento di nuove tecnologie ha portato con sé numerosi cambiamenti. Tuttavia, il cambiamento non è mai semplice. Sebbene la tecnologia giochi un ruolo fondamentale nell'ambito dell'architettura, i progettisti devono tenere a mente di non oltrepassare quella linea sottile che vi è tra "uso" ed "abuso". L'architetto è, contemporaneamente, regista del processo creativo

e costruttivo, ed è responsabile di come si interpretano le esigenze, tangibili e intangibili della contemporaneità. L'architetto, inoltre, è responsabile della qualità del suo operato e delle ripercussioni che quest'ultimo avrà sulla collettività.

Potremmo vedere il Parametricismo come una rivoluzione assoluta, e guindi, un nuovo modo di intendere il progetto di architettura attraverso il metodo parametrico e le sue enormi potenzialità, sfruttando il processo di morfogenesi ed ottenendo soluzioni che rispecchiano le idee del progettista; idee che talvolta trascendono nell'abuso poiché il progettista tende a prestare più attenzione all'aspetto estetico dell'edificio, tralasciando invece aspetti fondamentali, come ad esempio la funzionalità, l'economicità e la sostenibilità dello stesso. La bravura dell'architetto in questi casi, sta nel controllare il processo e non lasciarsi controllare dallo stesso. Tornando al metodo parametrico, a mio parere, sarebbe meglio considerarlo come un potenziamento al quello tradizionale: un'evoluzione per ricercare la miglior soluzione del progetto, attraverso parametri, ovvero In particolare il progetto variabili che a seconda delle scelte del progettista, influenzano il risultato finale. Il progettista controlla il processo di ottimizzazione e domina il programma con cui lo effettua. Il progetto nascerà con affinamenti di diverso tipo come per esempio quello tradizionale, dove la ricerca dell'idea è concretizzabile attraverso schizzi e disegni, caratterizzati da un'ottimizzazione strutturale, acustica, illuminotecnica ecc, che porterà il progetto stesso a trovare la soluzione migliore ai problemi che il progettista cercherà di affrontare, utilizzando gli strumenti digitali a sua disposizione. Il progettista sceglie e ipotizza le variabili del progetto, interrompendo il processo morfogenetico a soluzione trovata. Il processo morfogenetico può essere eseguito sia da algoritmi parametrici, che attraverso proiezioni geometriche. La differenza sostanziale nel processo di deformazione e risoluzione è individuabile nella quantità di variabili che si ottengono a fine processo (Carpo, M., 2011).

Nella pagina successiva: Progetto di UNStudio, per la realizzazione del nuovo grattacielo di Melbourne concorso Southbank by Beulah. Cosa è dayvero Uso e cosa Abuso? capirne il limite è sempre più difficile, e le intenzioni dell'architetto spesso possono influenzarci nella classificazione di un edificio che Utilizza in modo sapiente o Abusa delle tencologie parametriche. di UNStudio tiene conto non solo della componente estetica del progetto, ma anche di tutti gli altri aspetti fondamentali che lo compongono, come per esempio, il rispetto del paesaggio circostante e la sostenibilità dell'edificio.



FORMA & CAMPI DI VALIDITÀ

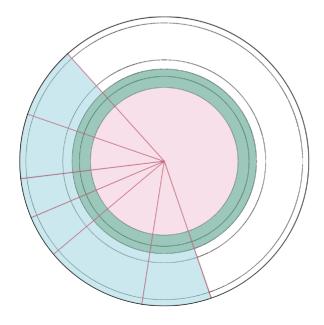
4.1 FORMA ARCHITETTONICA

COMPOSIZIONE E VINCOLI ARCHITETTONICI

Per la fase progettuale dell'ottimizzazione e della definizione dei relativi parametri, il progetto si compone di elementi fissi e di elementi variabili. Gli elementi definiti fissi sono parti dell'edificio che non possono essere modificate nelle successive fasi di simulazione acustica, poiché importanti per la composizione architettonica e strutturale dell'edificio. Gli elementi variabili, invece, sono parti dell'edificio che possono essere modificate attraverso l'impostazione di parametri, ovvero, valori minimi e massimi, secondo cui è possibile alterare l'elemento architettonico. Per la parte di ottimizzazione dei campi di validità, la platea può essere considerata la parte architettonica della struttura più soggetta alla definizione di parametri, al fine di poter ottenere un miglior comfort acustico. Le pareti rocciose che circondano la platea sono state completamente progettate attraverso parametri, tenendo conto dell'apparato architettonico del progetto di base. Le pareti rocciose,

sono quindi composte da parametri di movimento che possiedono dei massimi e dei minimi a seconda della loro posizione all'interno della platea e sono stati modificati attraverso punti di controllo che ne compongono le loro superfici per 3 punti. L'intera definizione dei parametri e dei relativi massimi e minimi è stata impostata attraverso un'attenta simulazione preliminare, basata su studi acustici manuali, che hanno permesso di effettuare delle prime simulazioni e capirne le maggiori problematiche acustiche.

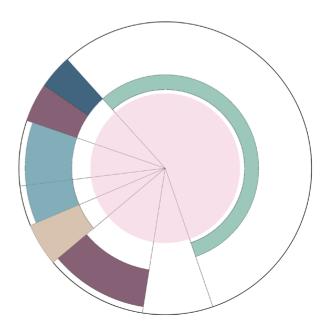
L'intero progetto si basa sul cerchio, una forma geometrica pura che, oltre a richiamare i teatri di epoca classica, rievoca la scogliera e le sue forme curve. La scelta è ricaduta sulla forma circolare proprio per riprendere il rapporto che vi è tra acqua e pietra: la potenza dell'acqua leviga la pietra nel tempo, facendo assumere alle pareti rocciose una forma circolare. Il progetto, quindi, si basa proprio sulla costruzione di più cerchi, aventi stesso punto di origine con raggi differenti che delineano gli spazi principali del teatro all'aperto. Gli edifici sono collegati da una struttura a sbalzo radiale che, per buona parte, circonda l'edificio e permette una visuale sul mare e il paesaggio circostante, facendo si che il progetto dialogasse con il sito, opponendo forme geometriche e pure, antropizzate e ideali, a forme irregolari. La prima circonferenza delimita l'area della platea che rappresenta il fulcro del progetto ed è in grado di ospitare dai 150 ai 200 spettatori. Tale circonferenza ha un raggio di 8 metri e può essere considerata fondamentale poiché su di essa sono stati impostati i parametri variabili che permettono le modifiche delle superfici rocciose laterali e retrostanti il palco.



Di fianco: schema per la rappresentazione della costruzione preliminare degli spazi relativi alla platea, alla rampa e all'edificio per servizi.

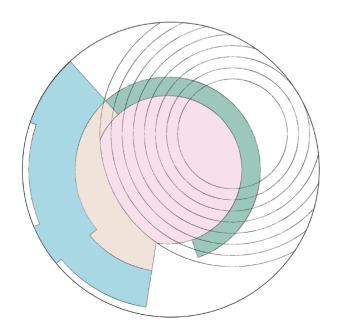
Il secondo cerchio, di raggio 10 metri, traccia sia la larghezza della rampa, sia la parete dell'edificio per i servizi. I punti finali ed iniziali della rampa sono considerati fondamentali ai fini del progetto, poiché non consentono di variare la spazialità della struttura. La rampa è l'unica via di accesso sia per entrare che per uscire dall'impianto, ed avvolge il teatro delimitandone lo spazio. Quest'ultima è larga 2 metri e mette in collegamento il dislivello di 2 metri che vi è tra l'ingresso al teatro e l'accesso all'edificio per servizi. La rampa, inoltre, rispetta le norme per l'accesso a chi ha delle disabilità motorie, ed è racchiusa dalle superfici rocciose che permettono l'ottimizzazione all'interno della platea.

I successivi tre cerchi stabiliscono gli avanzamenti della facciata interna ed esterna dell'edificio. Per il dimensionamento dei locali all'interno dell'edificio, sono state ideate delle linee radiali che partono dal punto di origine delle circonferenze, al fine di suddividere degli spazi adibiti a servizi che vi saranno all'interno del teatro. L'edificio per servizi ha due principali affacci, uno che si rivolge verso la platea e uno, invece, situato a sbalzo che si affaccia sul mare. Entrambe le facciate sono vetrate e composte da vari movimenti di facciata, che seguono l'impostazione a cerchio dell'intero progetto. L'edificio è alto 3.20 metri ed è in calcestruzzo, esso è inoltre formato da casseformi modulari in legno, di cui i fori a vista sono necessari per il passaggio dei tiranti e regolano la modularità della parete seguendo un ragionato disegno architettonico.



Di fianco: schema per la rappresentazione della suddivisione degli spazi all'interno dell'edificio per servizi e dei relativi movimenti di facciata.

Per quanto riguarda la platea, essa è stata progettata impostando un punto di origine all'interno della prima circonferenza e successivamente altri 8 raggi: il primo avente raggio 5.92 metri ed i successivi con offset di 1.2 metri per permettere sia la seduta che il passaggio del pubblico. Le gradinate sono composte in calcestruzzo, ogni gradino è alto 33 cm per offrire un ottimo comfort visivo, e le sedute sono state progettate in legno per non trascurare l'acustica all'interno della platea. Il palco, situato alla fine delle gradinata, si trova a 4.64 metri dal piano d'ingresso e fa parte degli elementi variabili del progetto, poiché è considerato un parametro di notevole importanza al fine di raggiungere una buona acustica all'interno del teatro. L'intera platea è circondata da roccia, architettonicamente studiata al fine di migliorare l'acustica all'interno del teatro. Le pareti rocciose che circondano la platea sono state progettate attraverso punti di controllo che definiscono le superfici formate da triangoli. I Punti di controllo hanno la possibilità di modificarsi attraverso il processo di morfogenesi e di muoversi in direzioni differenti a seconda della posizione all'interno della platea. Tutte le superfici sono composte da parametri fissi che definiscono la dimensione del pannello e la sua altezza.



Di fianco: schema per la rappresentazione della costruzione di cerchi al fine di progettare le gradinate che compongono la platea del teatro.

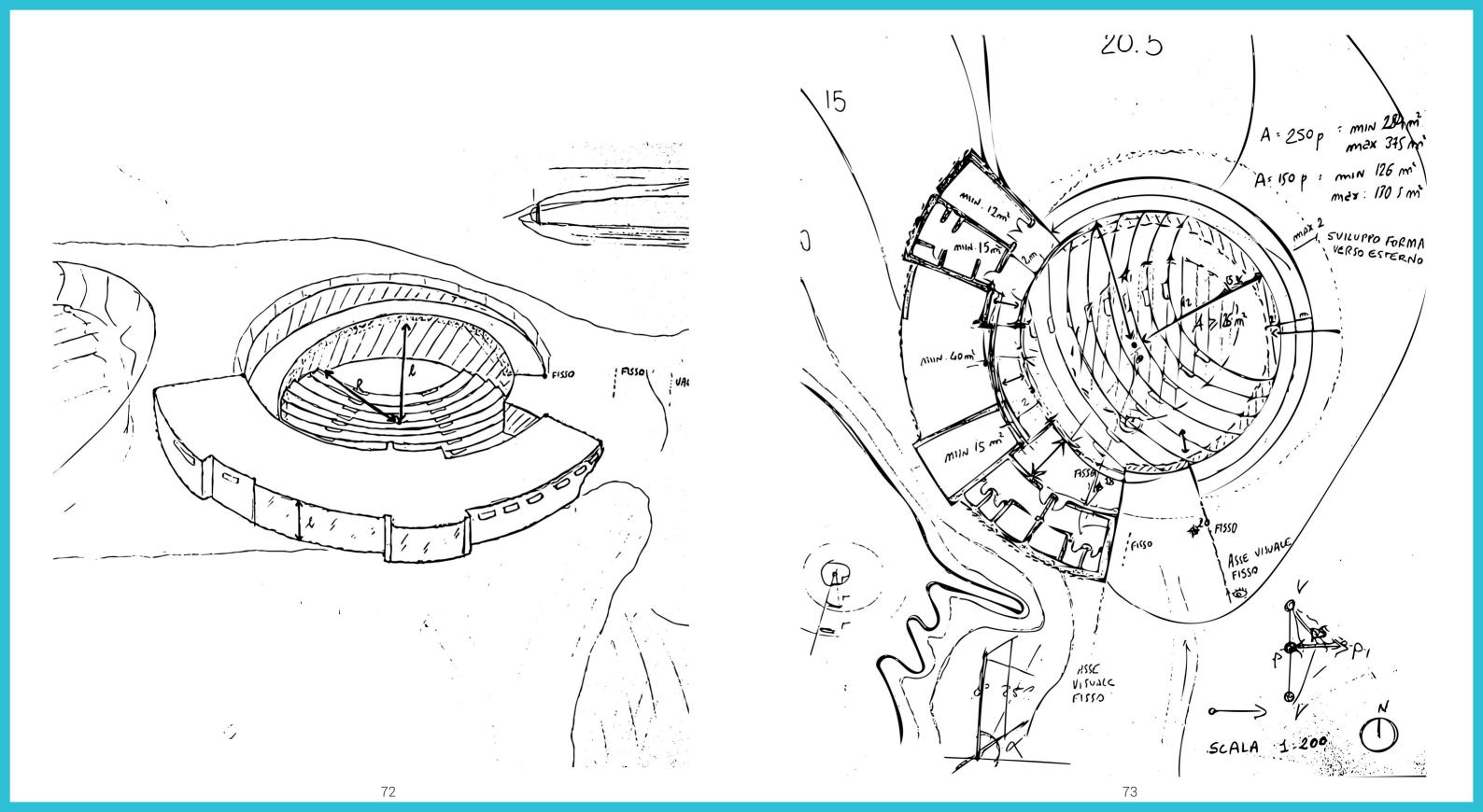
CAMPI DI VALIDITÀ ARCHITETTONICI

I fattori che compongono i "campi di validità" si categorizzano in elementi fissi ed elementi variabili. Gli elementi fissi sono caratterizzati dalle dimensioni minime che il progetto deve avere per far sì che funzioni adeguatamente e rispetti i vincoli di progetto. La larghezza della rampa deve essere di 2 metri al fine di facilitare il passaggio dell'utenza, mentre, i suoi punti d'ingresso, devono essere situati a quota 20 e 18 metri rispetto al promontorio, per rispettare la pendenza della rampa che deve essere pari al 6%. Le gradinate della platea sono composte da un'alzata di 33 cm per poter seguire le regole architettoniche del comfort visivo, ed hanno una pedata di 1.2 metri per permettere il passaggio dell'utenza anche dietro la seduta. Le facciate esterne e i punti di ancoraggio devono rimanere fisse al fine di non compromettere la solidità strutturale dell'edificio. Per quanto concerne invece i locali all'interno dell'edificio per servizi, essi devono rispettare le indicazioni del bando di concorso che ne definisce i mq minimi. Ne consegue che l'orientamento della struttura non può variare.

Gli elementi variabili della struttura, invece, sono identificabile con le componenti modificabili del progetto che conducono e dominano il processo di morfogenesi. La circonferenza della rampa può essere modificata fino ad un massimo di 2 metri per permettere il passaggio dell'utenza, mentre, la circonferenza principale dell'impianto può avere una dimensione minima di 7 metri e una massima di 8. Per quanto riguarda la facciata interna dell'edificio, è possibile variarla fino ad un massimo di 25° seguendo l'asse verticale, mentre, seguendo l'asse orizzontale, si può modificare partendo da una dimensione minima di 45°, fino ad una massima di 80°. L'altezza dell'edificio può variare da un minimo di 3.15 metri, fino ad un massimo di 3.5 metri. L'area della platea deve avere una dimensione minima di 126 mq per poter ospitare le 150 persone al suo interno: se vi si volesse, invece, ospitare un totale di 250 persone, dovrebbe possedere un'area minima di 284 mq; il passaggio tra la facciata dell'edificio e la platea può variare da un minimo di 2 metri, fino ad un massimo di 4.6 metri.

I punti di controllo delle superfici laterali che circondano la platea, possono essere considerati un campo di validità, poiché sono stati inseriti per migliorare la qualità acustica del teatro e impostate seguendo l'asse delle circonferenze delle gradinate; il loro movimento è compreso tra una dimensione minima di 0 metri fino ad un massimo di 1.5 metri a partire dal punto di ancoraggio.

Nelle pagine 72-73: schizzi di progetto che rappresentano i campi di validità del teatro all'aperto attraverso una vista prospettica ed una pianta totale della struttura.



4.2 FORMA ACUSTICA

LO SCOPO DELL'ACUSTICA ALL'INTERNO DEI TEATRI

È una grande sfida sia per gli acustici che per gli architetti ottenere una buona acustica nelle grandi sale da concerto e nonostante i grandi progressi effettuati in questo ambito, permangono aree di incertezza. La musica e il parlato condividono diverse caratteristiche ma entrambe consistono in raffiche di suoni separati dalla quiete ed occupano intervalli di frequenza simili. Queste somiglianze tra la musica e il parlato, esplicitano il fatto che il comportamento fisico del suono in una stanza è praticamente lo stesso per entrambi. Le differenze si verificano nel modo in cui le nostre orecchie interpretano le onde sonore fisiche: nel caso della musica, tonalità e armonia sono aspetti fondamentali, mentre, con il parlato, il tono è usato solo per scopi di riconoscimento e fraseggio. La tonalità ha poca influenza sul design poiché la frequenza non è influenzata dalla riflessione, ed il modo in cui le nostre orecchie interpretano il complesso schema temporale delle riflessioni

dovrebbe essere tema di un attento studio. Nel caso del parlato, l'intelligibilità è fondamentale, ed è nota per essere associata con la prima proporzione di energia che arriva attraverso sia il suono diretto che nelle prime riflessioni. La qualità corrispondente per la musica è la chiarezza o la definizione, che può essere correlata a una proporzione di energia simile. Ma molte altre qualità sono importanti anche per l'ascolto delle sale da concerto.

Ci sono voluti diversi anni per sviluppare una metodologia per risolvere il problema della sala da concerto. Beranek (1962) fu uno dei primi ad elencare una serie di 18 importanti attributi soggettivi: qualità come calore, vivacità, intimità, brillantezza. Ma in che modo questi parametri acustici sono valutati per fornire un giudizio generale sulla qualità acustica?. Vi sono diversi casi in cui i criteri di progettazione possono essere specificati sulla base di semplici effetti soggettivi. Un esempio ovvio sono le cupole concave che causano forti echi. Ma il lento sviluppo dell'acustica per migliorare le sale da concerto, testimonia le difficoltà di questa strategia. In molti casi non è possibile passare direttamente dalla progettazione all'effetto sonoro soggettivo, e si richiede un approccio più scientifico, richiedendo anche parametri oggettivi.

I parametri acustici principali sono: la chiarezza dovrebbe essere adeguata per consentire di apprezzare i dettagli musicali; la risposta riverberante della stanza dovrebbe essere adeguata alla tipologia di suono che vi si sente al suo interno; il suono dovrebbe fornire all'ascoltatore la spazialità necessaria; l'ascoltatore dovrebbe percepire l'intimità corretta. Questi parametri acustici non sono gli unici essenziali ed esistenti per progettare una sala da concerto. Tuttavia, le qualità fondamentali come: chiarezza, riverberazione, impressione spaziale, intimità e volume forniscono un utile punto di partenza per approfondire la qualità acustica all'interno delle sale da concerto (Barron, M., 2009).

PARAMETRI ACUSTICI

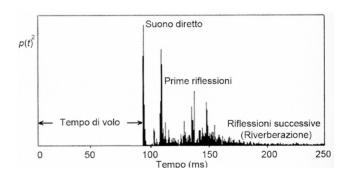
ISO 3382 15/06/2009

ISO (International Organization for Standardization) è una federazione mondiale di organismi di normazione nazionali (organismi membri ISO). Il lavoro di preparazione degli standard internazionali viene normalmente svolto tramite i comitati tecnici ISO. La ISO 3382 stabilisce un metodo per ottenere i tempi di riverberazione dalle risposte all'impulso e dal rumore interrotto. Gli allegati della norma, introducono i concetti e i dettagli delle procedure di misurazione per alcuni dei parametri acustici utilizzati per le sale da concerto. L'intenzione è quella di confrontare le misure del tempo di riverberazione con maggiore certezza e di promuovere l'uso e il consenso nella misurazione delle nuove misure. L'allegato A presenta misure basate sulle risposte all'impulso al quadrato: un'ulteriore misura del riverbero (tempo di decadimento precoce) e misure dei relativi livelli sonori, frazioni energetiche precoci / tardive e frazioni energetiche laterali negli auditori. All'interno di queste categorie, c'è ancora lavoro da fare per determinare quali misure sono le più adatte alla standardizzare; tuttavia, poiché sono tutti derivati dalle risposte all'impulso, è opportuno introdurre la risposta all'impulso come base per le misurazioni standard. L'allegato B introduce misurazioni biauriche necessarie per effettuare misurazioni negli auditori. L'allegato C introduce misure di sostegno che sono state ritenute utili per valutare le condizioni acustiche dal punto di vista dei musicisti.

Il tempo di riverbero di una sala da concerto, veniva e viene considerato come l'indicatore predominante delle proprietà acustiche, e vi è ragionevole accordo sul fatto che altri tipi di parametri acustici, come i livelli di pressione sonora, i rapporti di energia iniziale / tardiva, le frazioni energetiche laterali e i livelli di rumore di fondo, sono necessario per una valutazione più completa della qualità acustica delle sale da concerto.

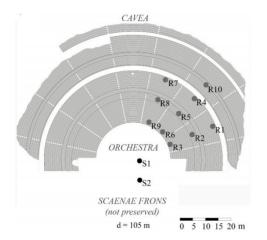
LA RISPOSTA ALL'IMPULSO

Uno dei parametri più importanti per la valutazione della qualità del suono è la risposta all'impulso, ottenibile attraverso una sorgente e un punto ricettivo. Il suono prodotto dalla sorgente crea una perturbazione d'aria nello spazio, traducibile come un suono secco e breve, esempi concreti potrebbero essere un battito di mano, uno sparo o un boato. la registrazione di guesto suono non è altro che la risposta sonora instantanea p(t), in funzione del tempo t nel punto in cui è situato il punto ricettivo. La propagazione dell'onda acustica che, partendo dalla sorgente, si diffonde alla velocità del suono nell'aria, interagisce con i confini solidi secondo i principi dell'acustica geometrica. Il suono che per primo raggiunge l'ascoltatore, nel caso in cui provenga da una sorgente, viene definito suono diretto, e non interagisce con i confini delle superfici che definiscono la sala o l'ambiente chiuso. Successivamente, le onde sonore, con un ritardo maggiore a seconda del cammino che percorrono, arrivano al ricevitore (ascoltatore) sviluppando iterazioni con le superfici dello spazio. Queste onde sonore che subiscono le iterazioni con le pareti che racchiudono il punto ricevitore, vengono chiamate riflessioni. Il tempo che impiega il suono ad arrivare all'ascoltatore o al punto di ricezione viene chiamato tempo di volo, e in quel momento il tempo viene calcolato come t=0.



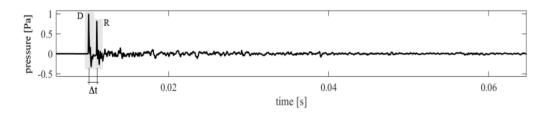
Di fianco: Ecogramma energetico della risposta all'impulso (Spagnolo., R., 2015)

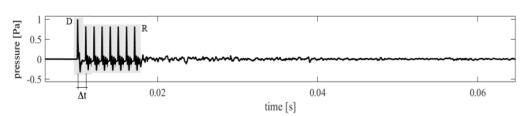
Nel grafico sopra, anche detto ecogramma energetico, è possibile riconoscere il suono diretto, un gruppo di riflessioni fitte, ed altre che lentamente decrescono nel tempo. Quindi si può dire che il suono diretto normalmente agisce nei primi 80-100 ms a partire dall'istante in cui la sorgente emette il primo suono, successivamente si sviluppano le riverberazioni seguenti (Spagnolo, R.,2015).



Di fianco: Pianta del teatro di Siracusa preso come esempio per la diffusione sonora del suono diretto e delle prime riflessioni. (Bo, E., 2018)

E' importante precisare che, a differenza dei teatri di epoca antica e classica dove il suono diretto e le prime riflessioni del pavimento sono le uniche onde sonore utili per l'acustica all'interno del teatro, nel progetto non si tiene conto del suono diretto, ma solamente delle prime riflessioni provenienti dalle superfici laterali, dal retro palco e da inizio platea, ossia la "finestra". Nelle figure sottostanti è possibile notare la differenza tra cosa ci si aspetta dal comportamento sonoro relativo ad un teatro antico e, invece, cosa ci si dovrebbe aspettare nel teatro all'aperto da me progettato

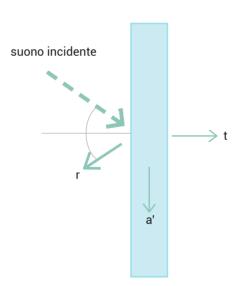




Di fianco: Differenza tra l'analisi sonora del teatro di Siracusa, e cosa ci si dovrebbe aspettare dal progetto del teatro all'aperto del progetto di tesi. (Bo, E., 2018)

ASSORBIMENTO, DIFFUSIONE E SCATTERING

Quando un'onda sonora incontra una superficie, avvengono tre fenomeni nell'interfaccia tra l'aria e la superficie: una parte di energia viene assorbita dal materiale (α '), una parte viene riflessa nell'aria (r) e la parte rimanente viene trasmessa attraverso il materiale oltrepassandolo (t). I riflessi sonori possono avvenire in modo speculare o diffuso: nel primo caso si riflette l'onda sonora secondo la legge della riflessione geometrica, nel secondo caso il suono si manifesta in modo diffuso, con varie direzioni e oltre un intervallo di tempo più lungo. La misura in cui questi tre fenomeni si verificano, dipendono dalle proprietà acustiche della superficie del materiale (Cavanaugh,1999). Secondo la legge di conservazione dell'energia, la somma dei tre coefficienti che esprimono il tasso di energia sonora incidente che viene riflessa (r), trasmessa (r) e assorbita (r) equivale a 1: r0 e assorbita (r1) equivale a 1: r1 e 1

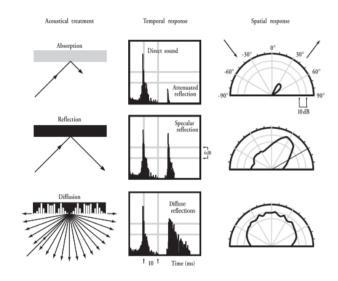


Di fianco: Schema della conservazione dell'energia acustica

I fattori che influenzano questo fenomeno sono le proprietà della superficie del materiale, la sua trama e la relazione tra la dimensione del pattern di superficie e la lunghezza d'onda del suono.

Sebbene tutti i materiali, quando vengono rilevati da un'onda sonora, assorbono, trasmettono e riflettono l'energia sonora, sono comunemente classificati in base al fenomeno predominante che si verifica quando assorbono, riflettono, disperdono o trasmettono materiali. La forma della superficie influenza anche i fenomeni che

si verificano nell'interfaccia: una superficie complessa riflette le onde sonore in modo più uniforme di una superficie monolitica - che riflette specularmente; una superficie parabolica concava genera la messa a fuoco del suono, mentre una forma convessa sparge il suono in molte direzioni. L'interazione dell'onda sonora con un determinato oggetto dipende anche dalla somiglianza o dalla diversità delle dimensioni tra l'ostacolo e la lunghezza d'onda. Se l'oggetto è molto più piccolo della lunghezza d'onda, non è in grado di interferire con il suono, che si propagherà come se non fosse lì; viceversa quando l'ostacolo è molto più grande, il suono rifletterà in modo speculare; infine, se le dimensioni delle lunghezze d'onda sono paragonabili a quelle dell'ostacolo o della rugosità della superficie, si verifica un fenomeno complesso di riflessione, noto come scattering (Long, 2006).



Di fianco: Caratteristiche temporali spaziali dell'assorbimento, riflessione e diffusione acustica (Cox & D'Antonio., 2004)

I parametri comunemente usati per descrivere l'effetto di una determinata superficie su un'onda sonora incidente sono: ammettenza, impedenza, fattore di riflessione e coefficiente di assorbimento. Il fattore di riflessione, per tutti gli angoli di incidenza e frequenza, esprime l'ampiezza e il cambiamento di fase che si verifica per il rapporto tra l'incidente e la pressione riflessa; l'impedenza di superficie (z), descrive la resistenza caratteristica del sistema contro l'eccitazione di pressione e dipende dalla densità media e dalla velocità del suono in esso; l'ammissione è il reciproco dell'impedenza (Cox & D'Antonio, 2004).

L'assorbimento e la diffusione, sono in grado di eliminare problemi acustici, come distorsioni sonore prodotte da onde sonore riflesse, ma, a differenza degli assorbitori, mantengono l'energia sonora nello spazio. Spargendo le onde sonore incidenti, i diffusori possono ridurre la quantità di suono riflesso in una data posizione, eliminando così gli echi o altri effetti indesiderati prodotti dalle onde sonore riflesse. In base alla funzione primaria e alle proprietà dello spazio di progettazione, è possibile preferire la diffusione o l'assorbimento per garantire la qualità acustica. Quando l'energia sonora svolge un ruolo critico, come all'interno delle sale da concerto, i diffusori funzionano meglio in quanto preservano l'energia sonora prodotta dagli strumenti. Diversamente, ogni qualvolta l'intelligibilità del parlato è critica, gli assorbitori sono impiegati per ridurre il tempo di riverberazione e l'SPL, mentre i diffusori possono essere applicati anche per garantire che le prime riflessioni possano supportare il parlato senza creare distorsioni (Cox & D'Antonio, 2004).

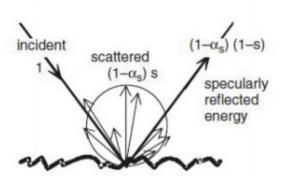
Tuttavia, sia l'assorbimento che la diffusione giocano un ruolo significativo nella progettazione acustica degli spazi per ridurre la distorsione del suono. Ad esempio, negli spazi interni, gli assorbitori sono in grado di ridurre l'energia sonora, controllando il tempo di riverbero e diminuendo l'SPL, mentre i diffusori sono utilizzati per risolvere alcuni problemi acustici, come echi e colorazioni, senza ridurre l'energia sonora nello spazio. Questa proprietà rende i diffusori la scelta migliore ogni volta che l'energia sonora deve essere preservata; mentre gli assorbitori devono essere utilizzati ovunque sia richiesto il controllo del riverbero (Cox & D'Antonio, 2004).

Il suono che percepiamo attraverso la nostra esperienza quotidiana, è costituito dalla combinazione del suono diretto, quello che si propaga direttamente dalla sorgente, e il suono riflesso, quello che viene riflesso alle nostre orecchie dalle superfici circostanti colpite dalle onde sonore. Questa combinazione di onde sonore consente all'ascoltatore di generare percezioni diverse in base alle caratteristiche dell'ambiente in cui si trovano l'ascoltatore e la sorgente.

Normalmente, i test acustici vengono eseguiti in apposite camere che massimizzano l'assorbimento o la diffusione. Una camera riverberante è una stanza di prova caratterizzata da un alto tasso di riflessioni dovuto alle superfici riflettenti installate nella stanza, che fa sì che il tempo di riverbero sia massimizzato; al contrario, una camera anecoica ha lo scopo di riprodurre il più vicino possibile la condizione del campo libero, e le sue superfici sono fatte di

materiali assorbenti. I materiali assorbenti sono testati in una stanza riverberante per determinare il coefficiente di assorbimento casuale dell'incidente, mentre il coefficiente di dispersione casuale dell'incidenza viene normalmente misurato in una camera riverberante. Per ottenere misurazioni accurate, i campioni devono essere installati nella stanza di prova il più vicino possibile agli elementi costruiti e l'effetto di bordo deve essere evitato (Cox & D'Antonio, 2004).

Il fenomeno della diffusione del suono avviene quando: la lunghezza d'onda dell'onda sonora incidente è paragonabile alle dimensioni dell'elemento colpito o alla rugosità della superficie tracciata. In questi casi, l'onda sonora viene riflessa in modo diffuso, sia spazialmente che temporalmente. Diversamente, nel caso in cui la lunghezza d'onda sia molto più grande della rugosità superficiale, si verifica una riflessione speculare, in quanto non interferiscono con il fenomeno. Nel caso in cui le irregolarità siano maggiori della lunghezza d'onda, ciascuna di esse possono essere considerate come superfici curve o piane su cui il suono viene riflesso specularmente. Quando una superficie irregolare viene colpita da un'onda sonora incidente, una parte significativa dell'onda sonora incidente viene dispersa in tutte le direzioni.



Di fianco: Tipi di riflessioni del suono (Vorländer, M., 2008)

In generale, l'energia del suono riflesso può essere divisa in due componenti: una parte viene riflessa in modo speculare, la parte rimanente viene riflessa in modo diffuso. Per una superficie totalmente diffusiva, la distribuzione spaziale dell'onda sonora diffusa non dipende dall'angolo del suono incidente: sebbene non sia ottenuta nell'acustica della stanza, è comunque una buona approssimazione delle pareti reali, specialmente nella camera di riverbero dove molte riflessioni successive si verificano. La riflessione diffusa totale è descritta dalla legge del coseno di Lambert, che definisce l'intensità del suono riflesso in un dato punto, indipendentemente dall'angolo di incidenza (Cox & D'Antonio, 2004).

I metodi di simulazione numerica sono estremanente utili per la progettazione acustica delle sale e, grazie all'avvento delle nuove tencologie digitali, ne viene semplificato estremamente l'utilizzo. Attraverso l'inserimento di un modello digitale all'interno di software per la progettazione acustica, è possibile calcolare le caratteristiche di assorbimento sonoro, delle sorgenti e delle riflessioni del luogo sotto esame (Spagnolo, R.,2015).

Il metodo delle sorgenti virtuali è caratterizzato dai principi dell'ottica geometrica, che possono essere estesi all'acustica:

Una qualsiasi onda sonora riflessa da una superficie si può pensare come proveniente dall'immagine virtuale, posta "dietro le superfici", della sorgente reale e quindi, in definitiva, essere considerata a sua volta come un'onda diretta, originata da una sorgente fittizia (Spagnolo, R., 2015)

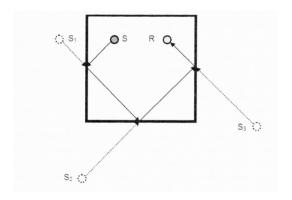
Ogni raggio produce riflessioni multiple fin quando la sua energia non si esaurice o trova nel suo cammino una superficie assorbente. Il raggio può essere individuato utilizzando sorgenti immagine con ordine superiore al primo. La tecnica su cui si basa questo metodo è detta delle "sorgenti virtuali" (Mirror Image Sources Method) e per essere verificata, devono verificarsi le seguenti assunzioni:

- 1. validità dell'ipotesi dell'acustica geometrica;
- 2. riflessioni speculari sulle pareti;
- 3. ad ogni riflessione speculare si associa una sorgente immagine;
- 4. ogni sorgente emette fronti d'onda sferici;
- 5. la propagazione dei fronti d'onda è rappresentata da raggi;
- 6. l'intensità sonora ricevuta è uguale a quella emessa dalla sorgente ridotta per effetto a- della divergenza geometrica, b- dell'assorbimento delle pareti α, c- dell'attenuazione in aria m.

Nel Ray Tracing, lo svolgimento dell'analisi suppone che la sorgente sonora emetta delle particelle, ognuna di esse si muove all'interno dello spazio con una traiettoria rettilinea alla velocità del suono fino a quando non si intercetta con la

prima parete. Il primo punto della riflessione si ottiene calcolando l'intersezione tra la traiettoria e i piani più vicini che contengono le pareti. Dopo la prima riflessione, la particella continua secondo la sua nuova traiettoria fino alla parete successiva. Le assunzioni sono le seguenti:

- 1. validità dell'ipotesi dell'acustica geometrica;
- 2. riflessioni speculari sulle pareti;
- 3. l'energia viene "quantizzata" in un numero finito di particelle sonore;
- 4. i raggi sonori emessi dalla sorgente si propagano secondo le leggi dell'acustica geometrica e hanno idealmente sezione infinitesima e costante;
- 5. la divergenza dell'energia sonora corrisponde alla divergenza dei raggi;
- 6. i raggi perdono energia per effetto b- dell'assorbimento delle pareti α c-dell'attenuazione in aria m;
- 7. in ricezione si sommano i "quanti" di energia sonora.



Di fianco: Esempio del metodo delle sorgenti virtuali; S: sorgente; R:ricevitore; (Spagnolo., R., 2015)

La differenza sostanziale del metodo delle sorgenti virtuali è il test di visibilità, che si deve ripetere ogni volta che si hanno delle potenziali sorgenti immagine. D'altro canto, il problema principale del ray tracing è quello di non possedere una regola precisa che porti alla scelta del numero di raggi e della dimensione del ricevitore. Proprio tale fattore, origina tre errori critici:

- 1. Captazione multipla: il numero di raggi captati e del loro contributo energetico, dipendono dalla posizione reciproca di sorgente e ricevitore;
- 2. Captazione variabile: un piccolo spostamento e le dimensioni del ricevitore causano una notevole variazione dell'energia ricevuta;
- 3. Captazione geometricamente non valida. Fondamentali fattori da tener conto per il confronto tra sorgenti virtuali e ray

tracing sono: il tempo di calcolo CT e precisione raggiungibile attraverso i calcoli. Questi fattori sono espressi in funzione del numero massimo di riflessioni L0. La conclusione è che le sorgenti virtuali si mostrano molto più veloci quando le riflessioni non raggiungono un numero elevato e la precisione che si richiede è molto bassa (±2 dB). Quando, invece, le pareti e riflessioni sono molteplici, è consigliato l'uso del ray tracing, che può soddisfare il risultato finale tramite soddisfacenti tempi di calcolo e precisione (Spagnolo, R., 2015).

CASI STUDIO

Computational Morphogenesis and Fabrication of an Acoustic Shell for Outdoor Chamber Music

Gabriele MIRRA, Eduardo PIGNATELLI, Sergio PONE

Il metodo presentato in questo esempio, utilizza parametri di progetto di una sala da concerto allo scopo di migliorare la qualità acustica di questa struttura all'aperto per concerti. La propagazione del suono è generalmente modellata come condizione di campo riverberante, dove viene preservata la maggior parte dell'energia emessa e il contributo del suono riflesso prevale sul suono diretto. Pertanto, viene definito un campo in cui la qualità acustica non dipende dalla posizione dell'ascoltatore. Per quanto riguarda il processo morfogenetico, il livello di pressione sonora (SPL), è l'unico valore che viene considerato, a causa della priorità in condizioni di aria aperta, rispetto ad altri parametri acustici. Lo sviluppo dell'algoritmo ha seguito tre fasi principali: Descrizione di uno spazio topologico; Analisi acustica attraverso un algoritmo di Image-Source su misura; Estrazione dei dati e definizione della forma fisica.

In questo esempio viene dimostrato un metodo morfogenetico computazionale per progettare conchiglie acustiche per concerti di musica all'aperto. Il metodo combina Aeolus, un insieme flessibile di strumenti per le previsioni acustiche basato su un algoritmo di Image Source codificato e su misura, con l'algoritmo evolutivo SPEA-2 per l'ottimizzazione.

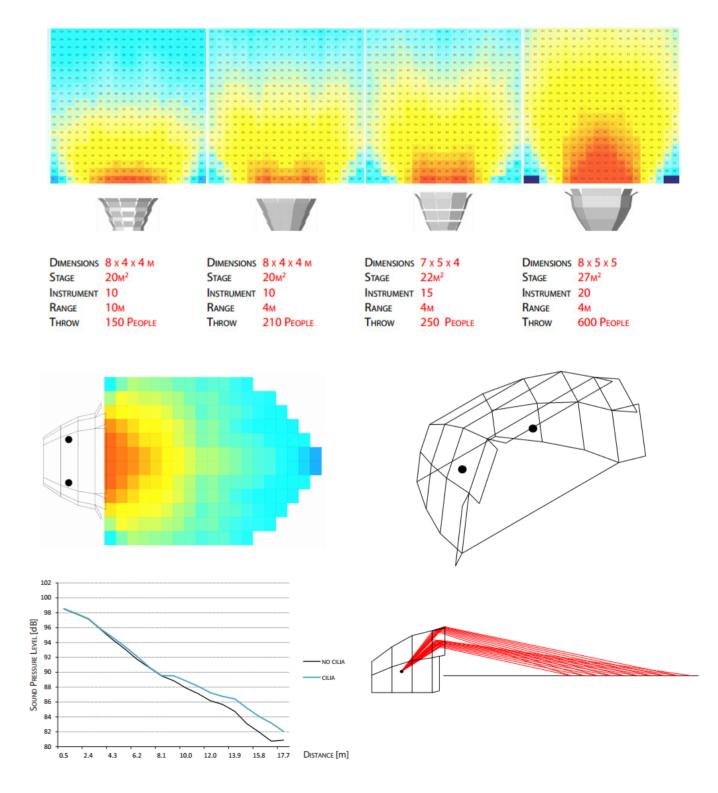
Dimensioni: 8 x 5 x 5 m

Stage: 27 mq Area: 262 mq N° persone: 600

Parametri acustici: SPL

Metodo geometrico: Image-Source Method

Funzione fitness: SPL
Ottimizzazione: SPEA-2
Simulatore acustico: Aeolus



Architectural Acoustic and Structural Form

Tomas Ignacio MÈNDEZ ECHENAGUCIA, Arianna ASTOLFI, Maarten JANSEN, Mario SASSONE

Questo esempio mostra l'applicazione di un processo di morfogenesi computazionale per la progettazione e l'ottimizzazione del tetto di una grande music hall. Il concetto architettonico si basa sulla progettazione della lastra piegata. Partendo dal concetto geometrico del tetto, è stato sviluppato un processo di ottimizzazione e ricerca della forma, al fine di ottenere le migliori prestazioni acustiche. Le superfici del tetto sono state progettate matematicamente, utilizzando una rappresentazione NURBS,

e decidendo i punti di controllo che sono stati assunti come variabili di progetto. Attraverso il Ray-Tracing Method avviene la distribuzione dei raggi sulla superficie di ricezione, che corrisponde all'area dei sedili pubblici della sala. Possiamo stabilire l'uniformità di livello della distribuzione del suono nell'area degli ascoltatori confrontando la quantità di energia che raggiunge ogni singolo ascoltatore. Questo confronto è fatto con la deviazione standard. La deviazione standard è una misura statistica in grado di confrontare diverse funzioni e determinarne la somiglianza in un intervallo specifico. Quindi questo confronto tra la standard deviation e la risposta acustica di ogni superficie e quella ideale, diventerà il valore numerico che rappresenta il livello di uniformità nella distribuzione dell'energia sonora, e verrà utilizzato successivamente per l'algoritmo di ricerca del modulo.

Il compito da svolgere per il secondo script è quello di sviluppare un algoritmo evolutivo in grado di creare variazioni su una superficie di base (proposta dall'utente), migliorando la variazione acustica, al fine di trovare forme acusticamente efficienti. È definito da 24 punti geometrici. Questi punti definiscono i 15 segmenti della superficie. Le variabili in gioco saranno le coordinate X, Y e Z di ciascuno dei 24 punti. Ciò significa che ogni punto sarà libero di muoversi in 3D durante il processo di ricerca del modulo.

N° persone: 900

Parametri acustici: SPL

Metodo geometrico: Ray-Tracing Method **Funzione Fitness**: Standard Deviation

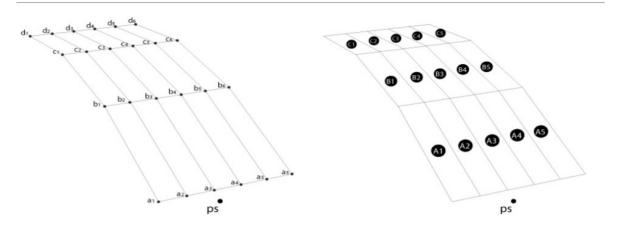
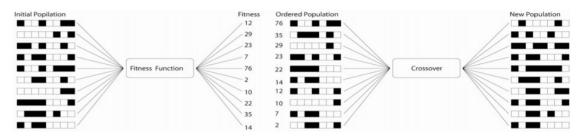
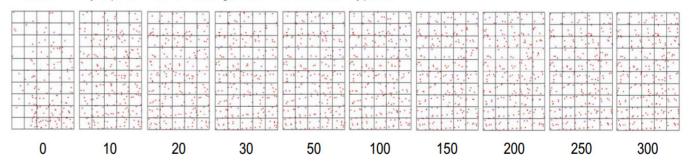


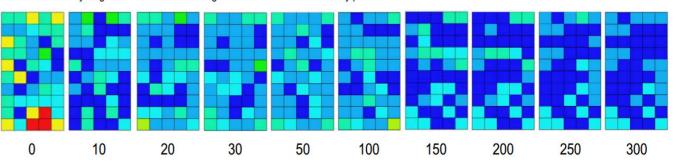
Figure 5. Base surface Characteristics



Acoustic uniformity response - Best individual at generation 'n' of the evolutionary process



Acoustic uniformity diagrams – Best individual at generation 'n' of the evolutionary process



Integration Form, Structure and Acoustics: A Computational Reinterpretation of Frei Otto's Design Method and Vision

Alberto PUGNALE

In questo caso studio si prendono in esame le due tensostrutture progettate da Frey Otto: The Dance Pavilion del 1957 e i grandi ombrelloni del 1969/1971, entrambi situati al Federal Garden Exhibition a Colonia. Queste due strutture sono state ri-progettate, con lo scopo di esplorare le relazioni tra la forma strutturale e l'acustica, utilizando nel primo caso le funzioni di Standard Deviation e livello di pressione sonora (SPL), mentre nel secondo caso, il livello di pressione sonora totale (SPLSum).

Sono state prese in considerazione due possibili scenari per quanto riguarda il Dance Pavilion. La prima è stata quella di ipotizzare una sorgente omnidirezionale, generando una condizione geometrica di riflessione simmetrica; la seconda, invece, tenendo conto di sei sorgenti che simulano gli autoparlanti, situati in corrispondenza degli assi della struttura, creando una geometria simmetrica di rotazione. In entrambi i casi le persone sedute prese in considerazione, sono poste fuori dal perimetro della piscina che circonda la struttura. Le variabili del progetto variano a seconda delle fasi delle ottimizzazioni, infatti, nella prima fase il padiglione può variare i suoi punti alti in altezza, e può traslare rispetto gli assi principali. Nella seconda fase, i punti alti possono variare in altezza e in posizione rispetto al centro della struttura e dei suoi assi.

Le variabili degli ombrelloni sono state definite tramite l'altezza, infatti, può variare tra i 6 e i 12 m, e si possono muovere secondo le coordinate u e v.

Entrambe le simulazioni delle due strutture prese in esame, sono state studiate attraverso l'ottimizzazione matematica, utilizzando la risorsa aperta MOGA, l'acronimo di Multi-Objective Genetic Algorithm, mentre il metodo delle sorgenti virtuali, è stato usato per risolvere il problema acustico.

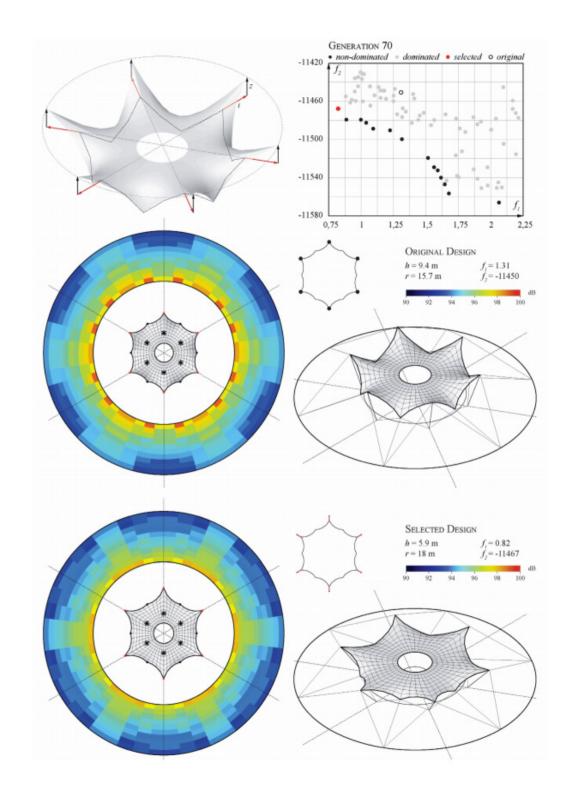
The Dance Pavilion

Dimensioni: d: 31.5 m, h: 10 m **Metodo Geometrico:** Image-Source Method

Area: 684 mg **Funzione Fitness:** Standard Deviation

N° persone: 200

Parametri acustici: SPL Ottimizzazione: MOGA



91

Sound-Strength Driven Parametric Design of an Acoustic Shell in a Free Field Environment

Marco PALMA, Maddalena SAROTTO, Tomas Ignacio MÈNDEZ ECHENAGUCIA, Mario SASSONE, Arianna ASTOLFI

Questo esempio si concentra sulle questioni della propagazione del suono in una condizione di campo libero e sul concetto di energia sonora uniforme in un ambiente esterno. La ricerca mira a sviluppare un processo computerizzato per la generazione di superfici riflettenti acustiche da utilizzare come conchiglie per concerti, uno strumento di progettazione computazionale per la ricerca acustica della forma. Il progetto è finalizzato in ultima analisi a studiare il potenziale acustico di superfici complesse e doppiamente curvate attraverso l'analisi del parametro Livello / intensità del suono relativo totale (G), con riferimento ai valori proposti da M.Barron, in base alla distanza sorgente-ricevitore e i successivi giudizi soggettivi sul volume.

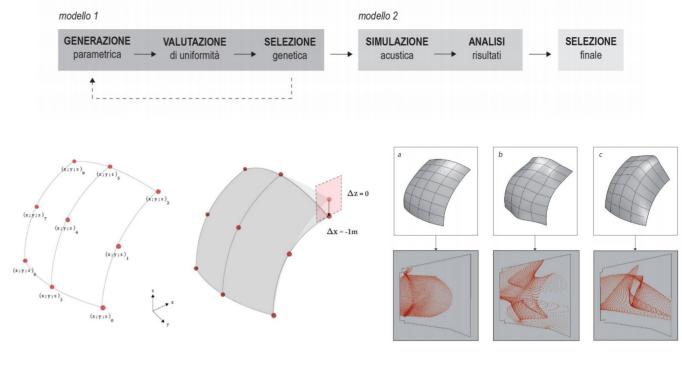
Un algoritmo di simulazione acustica di ray-tracing semplificato e veloce è stato sviluppato in combinazione con variazioni di forma parametrica delle superfici riflettenti. Per impostare lo spazio di ricerca locale dei punti, ciascun punto di superficie compone il centro geometrico di un quadrato virtuale appartenente al piano XZ, con una lunghezza del bordo uguale a un valore d definito dall'utente, il che significa che ogni punto è libero di muoversi lungo gli assi X e Z.

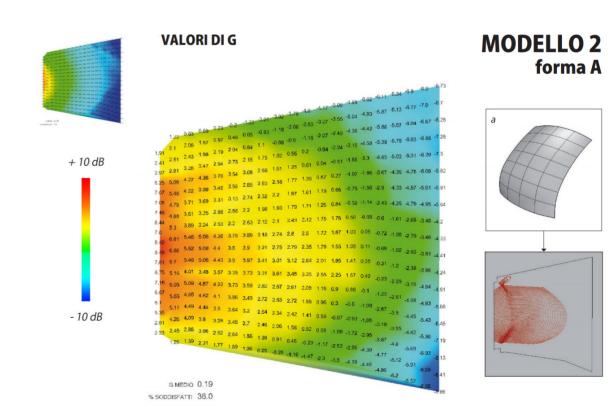
La funzione di valutazione dell'uniformità dell'energia sonora considerando le componenti del suono diretto e riflesso, è stata scritta per definire e valutare il tasso di uniformità di distribuzione dell'energia sonora su un pubblico. Questa funzione di valutazione è stata utilizzata in un algoritmo genetico che ha permesso di esplorare un'ampia serie di morfologie superficiali e di isolare il più adatto, attraverso gli specifici requisiti di uniformità. Alla fine della ricerca genetica, un plug-in di simulazione acustica chiamato Pachyderm è stato impiegato sia con NURBS che con simulazioni acustiche basate su mesh per convalidare le superfici geneticamente selezionate con riferimento specifico ai valori G.

Parametri acustici: G

Metodo geometrico: Ray-tracing Method

Simulatore acustico: Pachyderm





Acoustic Environments: Applying evolutionary algorithms for sound based morphogenesis

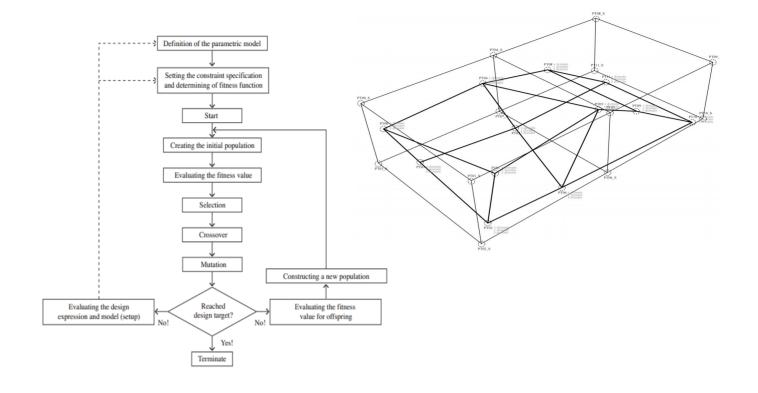
Isak Worre FOGED, Anke PASOLD, Mads Brath JENSEN, Esben SKOUBOEPOULSEN

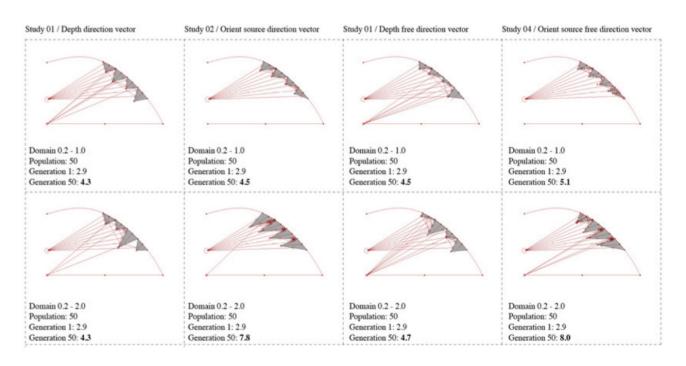
Il lavoro mira sia a studi empirici eseguiti attraverso la ricerca algoritmica evolutiva verso criteri di riferimento stabiliti, ma anche a quelli che implicano parametri di accessibilità, dimensioni e processi produttivi. Il metodo di progettazione passa attraverso una serie di passaggi performativi: 1. Determinazione del volume, utilizzando GA, 2. Riflettori di deflessione, usando GA, 3. Ottimizzare i riflettori per la produzione, utilizzando algoritmi di razionalizzazione. L'ottimizzazione degli aspetti acustici all'interno del processo di progettazione richiede una funzione di fitness, che ricerca un'intenzione specifica del progetto che può essere descritta come un numero e obiettivo dell'algoritmo: l'equazione più utilizzata per la valutazione acustica, che determina il tempo di riverbero, è l'equazione di Sabine RT60. Per determinare il volume della struttura, quindi, è stata utilizzata come funzine di fitness il tempo di riverberazione, al fine di trovare la forma con il minor valore. L'intenzione dei riflettori è, oltre alla loro ovvia funzione di migliorare l'acustica, di renderli l'espressione architettonica identificabile. La riflessione del suono è finalizzata a: creare il massimo numero di riflessioni tra i riflettori senza inviare i raggi indietro nello spazio di ascolto o quello di dirigere i raggi sonori lontano dal padiglione. Entrambe le strategie mirano a un tempo di riverbero chiaro e basso per la musica elettronica. Le variabili dominanti che influenzano le prestazioni dell'algoritmo genetico sono la "dimensione della popolazione" (la quantità di genomi che possono essere selezionati e riprodotti), la tecnica crossover (come le informazioni di ciascun genoma sono accoppiate per diventare la generazione successiva) e il tasso di mutazione (la percentuale di quanto spesso si verifica un'alterazione casuale di un genoma).

Parametri acustici: RT60 Ottimizzazione: Galapagos

Metodo geometrico: Ray-Tracing Method

Funzione fitness: RT60





Evolution of an Instrumental Architecture

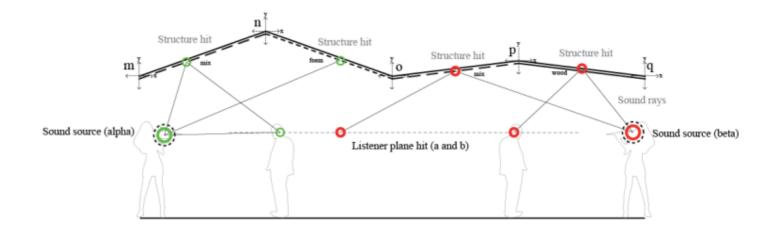
Isak Worre FOGED, Anke PASOLD, Mads Brath JENSEN

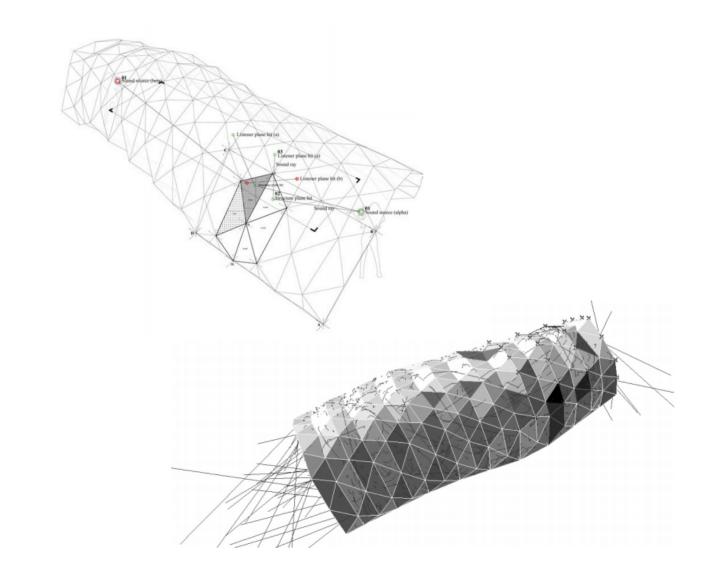
Gli studi per la realizzazione del progetto preso in esempio si basano sulla combinazione di tre metodi e modelli computazionali: modellazione parametrica, simulazione ambientale e calcolo evolutivo. La combinazione di guesti metodi costituisce la configurazione strumentale che consente le indagini di ricerca progettuale. La struttura spaziale utilizzata si basa su una struttura piegata a origami che è modificabile a due livelli all'interno della struttura: la forma pieghevole e l'integrità strutturale. I punti di controllo hanno libertà di movimento nell'asse x, y, z, ma senza la possibilità di sovrapporre e comprimere la geometria. Importante per l'equazione acustica è stata l'equazione di Millington-Sette, che ha permesso di separare le diverse parti del materiale dalla loro geometria, lavorando con materiali eterogenei e assiemi geometrici. L'equazione di Millington-Sette non integra specifiche proprietà acustiche in un punto specifico all'interno di un determinato spazio, a cui abbiamo integrato una funzionalità di ray-tracing che consente la valutazione del suono percepito sul piano dell'ascoltatore. Il tempo di riverbero e il livello di pressione sonora servono come simulazione acustica dello spazio di progetto previsto. La funzione fitness descrive cosa cercare, senza di esso, l'algoritmo vagherebbe senza trovare nulla.. Per sottolineare la capacità del metodo, è stato scelto di creare due proprietà acustiche architettoniche "opposte" all'interno dello stesso spazio: una posizione "Beta" in un'estremità del "tunnel" che cerca un breve tempo di riverbero, circa 0,9 secondi (buono per la voce) e una posizione "Alfa" nell'altra estremità del tunnel che cerca una lunga riverberazione tempo, circa 1,4 secondi, (buono per la musica classica). L'acustica viene valutata dal metodo di simulazione sopra descritto in entrambe le posizioni e sono state inserite nell'equazione. Il modello generativo viene eseguito in due modi diversi: una ricerca con tutte le variabili attivate e invece una ricerca con variabili attivate successivamente. Le modalità di ricerca sono state elaborate su hardware laptop computazionale standard.

Parametri acustici: RT60, SPL Ottimizzazione: Galapagos

Metodo geometrico: Ray-Tracing Method

Funzione fitness: RT60





CAMPI DI VALIDITÀ ACUSTICI

Quando parliamo di "campi di validità" non ci riferiamo solo alla forma architettonica dell'edificio, ma anche agli elementi che migliorano l'acustica all'interno del teatro. A tal proposito, definire i punti di controllo che compongono le superfici formate per tre punti all'interno della platea si è rivelato uno step fondamentale al fine di migliorare l'omogeneità sonora all'interno del teatro. Il livello di dettaglio minimo per modellare le superfici riflettenti all'interno di software geometrici è di 70 cm. Nel nostro caso, la dimensione delle superfici che permettono le riflessioni all'interno della platea è di 80 cm al fine di massimizzare il coefficiente di scattering in un range di frequenze ampio (F0= c/ 2A). Dovendo utilizzare dei software basati sull'acustica geometrica, il livello di dettaglio della modellazione per avere dei tempi di calcolo ridotti e garantire una percezione acustica più plausibile è di 70 cm (Shtrepi, L., 2017). Le superfici riflettenti sono suddivise su 8 livelli di punti di controllo che partono dall'altezza di -4.64 metri, fino all'altezza di 2.30 metri.

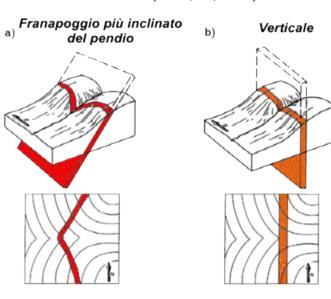
Il parametro acustico che definisce la funzione di fitness nel processo di morfogenesi è identificabile con quello dell'omogeneità sonora, ovvero, l'uniformità di distribuzione sonora dei raggi sonori all'interno della platea. Tale parametro sonoro è quantificato tramite la *Standard Deviation*, un valore che determina la soluzione ottimale tra quelle emerse dal processo di morfogenesi, ovvero, un numero che definisce l'andamento della funzione stessa. Questo valore viene valutato in base al suo minor risultato: più il valore è basso, migliore è la soluzione. Per questo motivo, il range che ho scelto per convalidare l'intero processo di morfogenesi è compreso tra lo 0 e il 15. Bisogna inoltre precisare che la *Standard Deviation* è un valore che non tiene conto della soluzione sonora, ma, bensì, di una media che viene ricavata dalle intersezioni che vi sono tra i raggi sonori e la superficie della platea. Al fine di avere sia una buona omogeneità sonora e un valore di *Standard Deviation* che rientrasse all'interno del range di accettazione, ho eseguito e controllato il processo di morfogenesi in modo tale da raggiungere i risultati stabiliti.

4.3 FORMA STRUTTURALE

STRUTTURA ROCCIOSA E SISTEMA DI SCAVO

Il promontorio su cui è stato progettato l'edificio per spettacoli è formato da roccia sedimentaria calcarea nota anche come "roccia carbonatica impura". Questa, nello specifico, è poco fragile e facilmente lavorabile ed è inoltre classificabile come roccia Dolomia, in quanto si tratta di un tipo di roccia più porosa rispetto ai calcari, con un volume superiore del 12/13%. La permeabilità di questo tipo di rocce è bassa e la loro porosità talvolta è superiore al 25%. La dissoluzione di CaCO₃ mediante l'acqua con CO₂ favorito in soluzione disciolta facilita la formazione di canali che ne aumentano la permeabilità. Attraverso uno studio della mappa geologica portoghese è stato possibile risalire alla composizione della pietra e alle sue proprietà. Individuare la tipologia di pietra di cui è composta la scogliera è stato fondamentale sia per stabilire la fattibilità dello scavo su cui progettare l'edificio, che per capire se il materiale roccioso fosse adeguato in relazione all'acustica della platea.

Trattandosi di un'area ad elevato rischio di frane, trovare il giusto orientamento del teatro all'aperto è risultato essere fondamentale, sia al fine di cercare di individuare quale punto fosse strutturalmente più adequato, sia al fine di sfruttare al meglio le caratteristiche della scogliera. Alla fine si è optato per orientare il teatro verso Nord - Est per sfruttare al meglio le caratteristiche della scogliera. Questo elemento è stato fondamentale per la soluzione strutturale dell'edificio ed è un parametro importante all'interno del processo di morfogenesi. Attraverso un rilievo fotografico, che ci ha permesso di individuare le caratteristiche principali del pendio e di eseguire un rilevamento geologico dell'area ci si è resi conto che la scogliera fosse caratterizzata da un sistema a "franapoggio", in cui gli strati che lo compongono sono orientati tutti nello stesso verso del pendio, e ciò permette una migliore resa per la progettazione sulla parete rocciosa. Il promontorio risulta essere suddiviso in unità contraddistinte di roccia, che prendono il nome di "discontinuità". La faglia è una discontinuità principale che viene riconosciuta anche a qualche centinaio di metri. Come accennato, il promontorio si presenta quindi con un sistema di discontinuità, cioè, una famiglia di discontinuità che hanno stesse proprietà e si ripetono in tutto l'ammasso roccioso. Ogni famiglia di discontinuità possiede determinate caratteristiche, tra queste vi è "l'apertura". Per apertura si intende la distanza media che esiste tra i due lembi di roccia e può essere: chiusa, aperta o con un riempimento al suo interno. Nel caso della scogliera su cui è progettato il teatro all'aperto, si presentano discontinuità aperte e con riempimento che hanno distanze tra i due lembi che variano dai 10 ai 50 centimetri con un'inclinazione di 45° (Barla, M., 2009)



Di fianco: schema per la spiegazione del sistema a franapoggio

Dopo aver effettuato il rilievo geologico, ci si è concentrati sull'individuazione di un metodo di scavo ottimale, al fine di individuare quali strumenti fossero opportuni per ideare la struttura ad ipogeo e le relative superfici per l'ottimizzazione del teatro all'aperto. Dopo aver passato al vaglio i vari attrezzi di scavo, si è scelto di utilizzare il martellone idraulico, in quanto risulta essere la scelta più economica ed adeguata. Per il funzionamento del demolitore idraulico, si utilizza l'energia che viene fornita da un fluido incomprimibile, solitamente olio, che circola all'interno di un circuito oleodinamico azionato da pompe idrauliche. Le pompe idrauliche utilizzano l'energia motrice che viene ricevuta da un motore diesel che, inoltre, consente il movimento del mezzo cingolato o gommato che trasporta il sistema del demolitore. Il demolitore idraulico, infatti, viene utilizzato su un escavatore, che consente tutti i movimenti necessari per garantire flessibilità nelle operazioni di demolizione delle strutture di scavo.

Per la soluzione strutturale è stato scelto di utilizzare il metodo dell'equilibrio limite, che tende ad indagare su situazioni geometriche semplici per analizzare la stabilità dei blocchi rocciosi a tetto o a parete e ad eseguire delle valutazioni sulla tipologia di sostegni da utilizzare. L'applicazione di questo metodo consente, attraverso considerazioni statiche, di calcolare i valori sia delle azioni che agiscono, che di quelle che resistono i carichi di cui la struttura deve essere supportata. Infine, tale metodo permette di intuire come intervenire attraverso il dimensionamento dei sostegni. Il calcolo ed il numero di sostegni necessari per l'intervento, viene fatto secondo la relazione N= W/B, dove (W) è il peso del blocco e (B) è la capacità portante di un singolo bullone. Altri parametri importanti risultano essere quelli degli angoli e delle caratteristiche di resistenza del materiale (Barla, M., 2009).

CAMPI DI VALIDITÀ STRUTTURALI

I "campi di validità" strutturali, anche se minori rispetto alle precedenti forme architettoniche e acustiche, sono comunque un aspetto molto rilevante, poiché grazie ad essi ho stabilito i canoni di realizzazione del progetto di tesi e di fattibilità dell'opera. Essi sono stati inseriti nella mappa e all'interno del software *Grasshopper*.

Un campo di validità di cui ho tenuto particolarmente conto è identificabile con quello dell'orientamento della struttura, che mi ha permesso di sviluppare il progetto in una posizione favorevole rispetto alla composizione rocciosa del promontorio. Altro importante campo di validità è quello del dimensionamento dell'utensile del martellone pneumatico, utilizzato al fine di tagliare le superfici rocciose per le riflessioni acustiche all'interno della platea. Per l'esecuzione dello scavo ho scelto un utensile avente diametro che varia da un minimo di 145 mm ad un massimo di 250 mm, con lunghezza di 555 mm. Tali dimensioni sono state scelte, sia a causa del taglio della roccia della scogliera, sia per il taglio delle superfici rocciose progettate attraverso strumenti parametrici. Queste dimensioni sono, inoltre, risultate fondamentali al fine di impostare i parametri per la costruzione delle superfici acustiche e per la fattibilità dell'opera.



Discontinuità con riempimento al loro interno



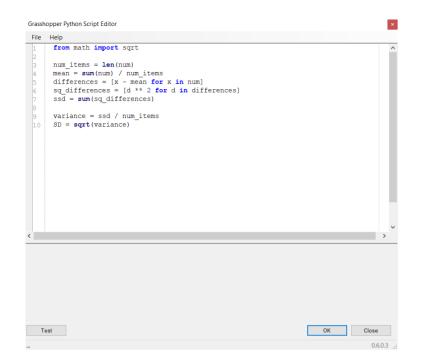
Sistema roccioso a Franapoggio con evidenti discontinuità aperte



MORFOGENESI & PROGETTO

5.1 SISTEMA DEI CAMPI DI VALIDITÀ, MORFOGENESI E ALGORITMI

Questo capitolo analizza e delinea il processo di morfogenesi relativo al miglioramento del suono all'interno del teatro all'aperto. Il punto di partenza di questo progetto riguarda sia l'ideazione che l'applicazione di un processo per l'ottimizzazione della forma delle superfici laterali, al fine di raggiungere condizioni acustiche ottimali nel teatro all'aperto. Le superfici laterali, ricavate dalla roccia, sono state parametrizzate utilizzando diversi punti di controllo per generare triangoli in grado di massimizzare e distribuire uniformemente le prime riflessioni sull'area del pubblico attraverso una funzione di fitness, nota come Standard deviation, ovvero, un numero che definisce l'andamento della funzione stessa. Inoltre, la Standard Deviation, è stata definita attraverso il linguaggio di programmazione denominato Python, che interpreta un linguaggio sintatticamente corretto e lo eseguisce.



Di fianco: screen che rappresenta l'algoritmo, scritto attraverso *Python*, per elaborare la funzione di fitness della *Standard Deviation*

Per questa prima fase è stato sviluppato un algoritmo di simulazione acustica geometrica basato su *Image Source Method* insieme alle variazioni delle forme parametriche delle superfici riflettenti laterali.

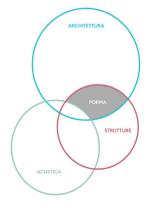
I campi di validità esposti all'interno dei capitoli 4.1, 4.2 e 4.3, sono stati inseriti e parametrizzati all'interno del software *Grasshopper* e sono stati connessi all'ottimizzatore *Galapagos*, un algoritmo che ne permette il "calcolo evolutivo" con lo scopo di risolvere problemi specifici del progettista.

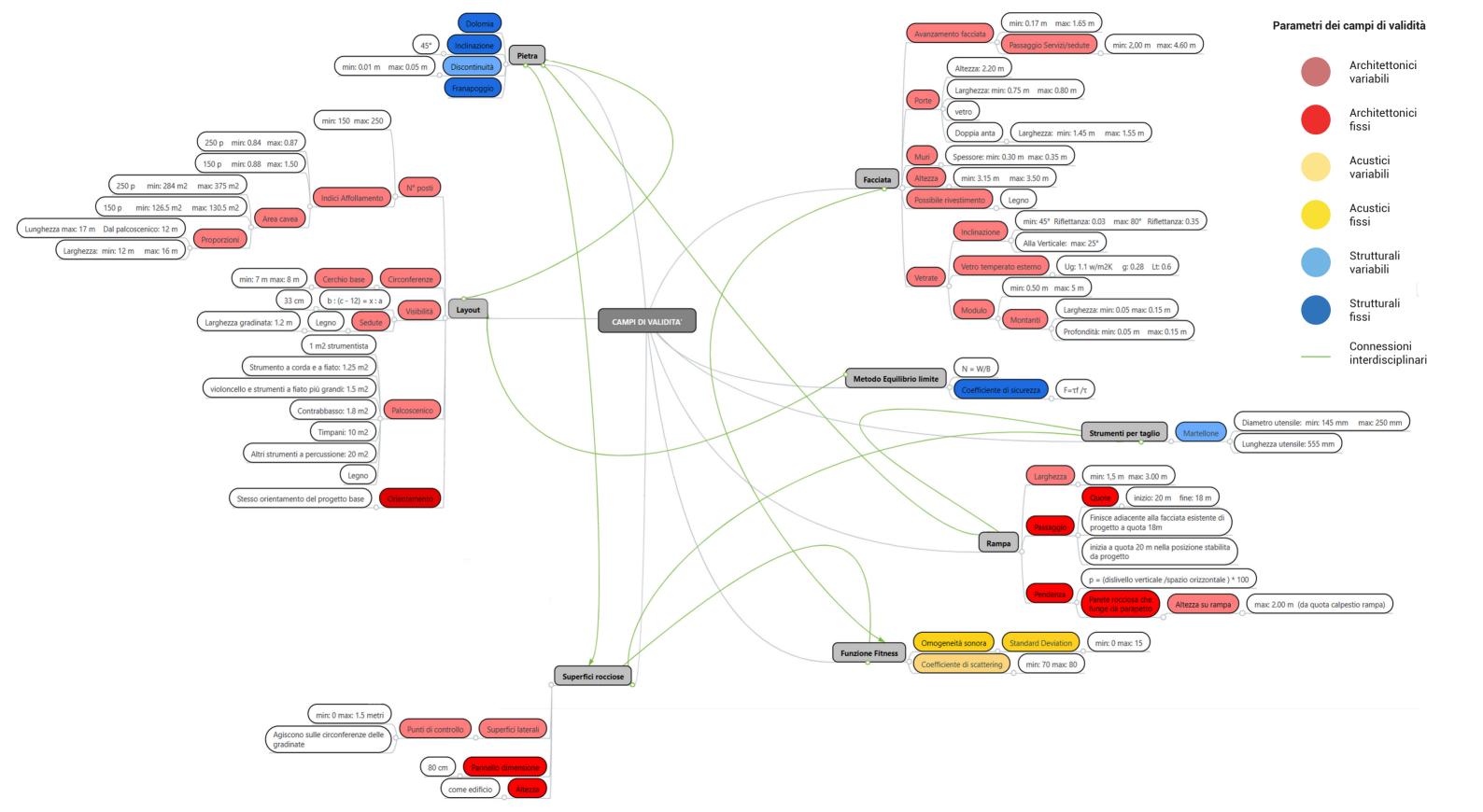
Galapagos è stato utilizzato al fine di connettere i parametri dei punti di controllo delle superfici laterali all'algoritmo della *Standard Deviation*, in modo da ottenere un basso valore della stessa. L'algoritmo di acustica per funzionare correttamente ha bisogno: di una o più sorgenti sonore, delle superfici riflettenti di progetto e di uno *slider* che indichi il numero di raggi sonori emessi dalla sorgente che raggiungono le superfici di progetto per poi riflettere sulla platea. Per quanto concerne la platea, essa è stata raffigurata sotto forma di superficie, in modo da avere la possibilità di valutare i progressi ottenuti attraverso la graduazione di colori che simulano i risultati: il colore blu indica il basso numero di raggi che colpiscono i settori della platea, il rosso, invece, rappresenta un alto numero di raggi sonori che incide sulla superficie della stessa.

5.2 MAPPA DEI VALORI DEL PROGETTO

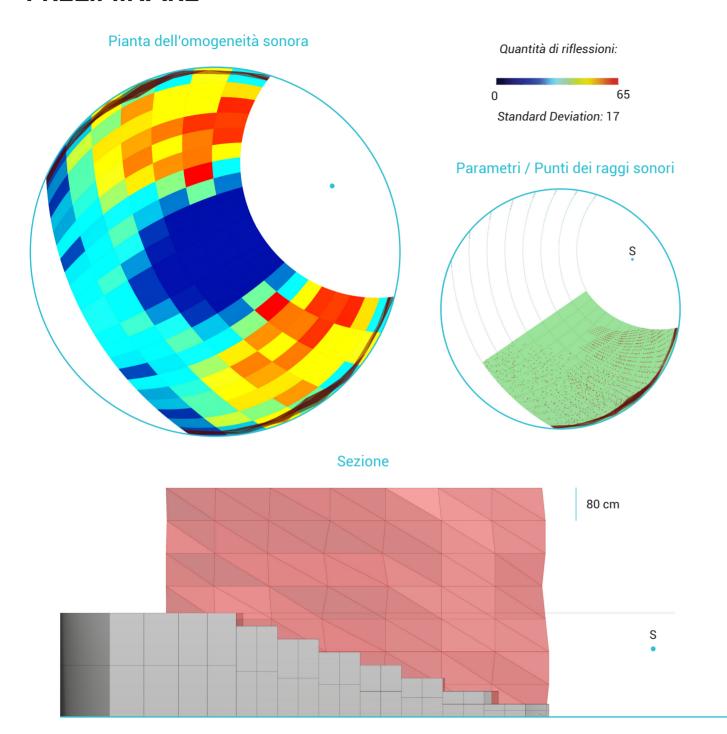
La mappa dei valori indica i "campi di validità" utilizzati e parametrizzati all'interno del software di *Grasshopper*, al fine di utilizzarli per il processo di morfogenesi della struttura. Tale mappa indica i campi di validità riguardanti la forma architettonica, acustica e strutturale, che sono stati associati rispettivamente ai colori rosso, giallo e azzurro. Ogni campo di validità è stato parametrizzato per ottenere parametri variabili o fissi. Si può notare che i campi di validià acustici e strutturali sono decisamente in minor quantità rispetto a quelli architettonici ma, al contrario, risultano fondamentali per il processo di morfogenesi e la convalida dei risultati finali. I parametri architettonici influenzano maggiormente il processo di morfogenesi poichè grazie ad essi è stato possibile creare dei punti di controllo che dominassero la forma finale delle pareti laterali e che rispettassero i vincoli architettonici per la progettazione di un'edificio per spettacoli all'aperto.

Sotto: la forma ottenuta sta nei due cerchi che rappresentano la forma architettonica e strutturale, ma non in quella "acustica"



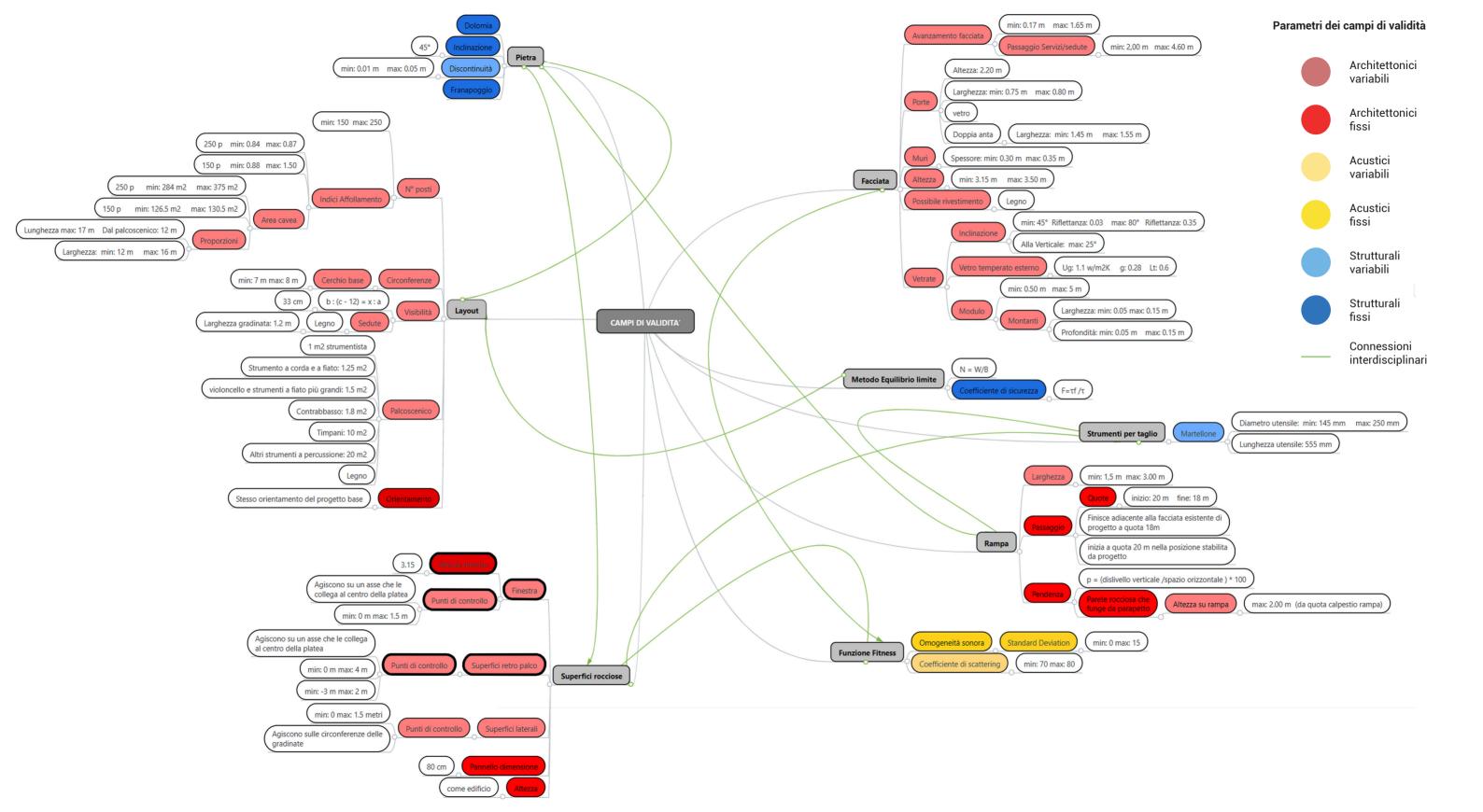


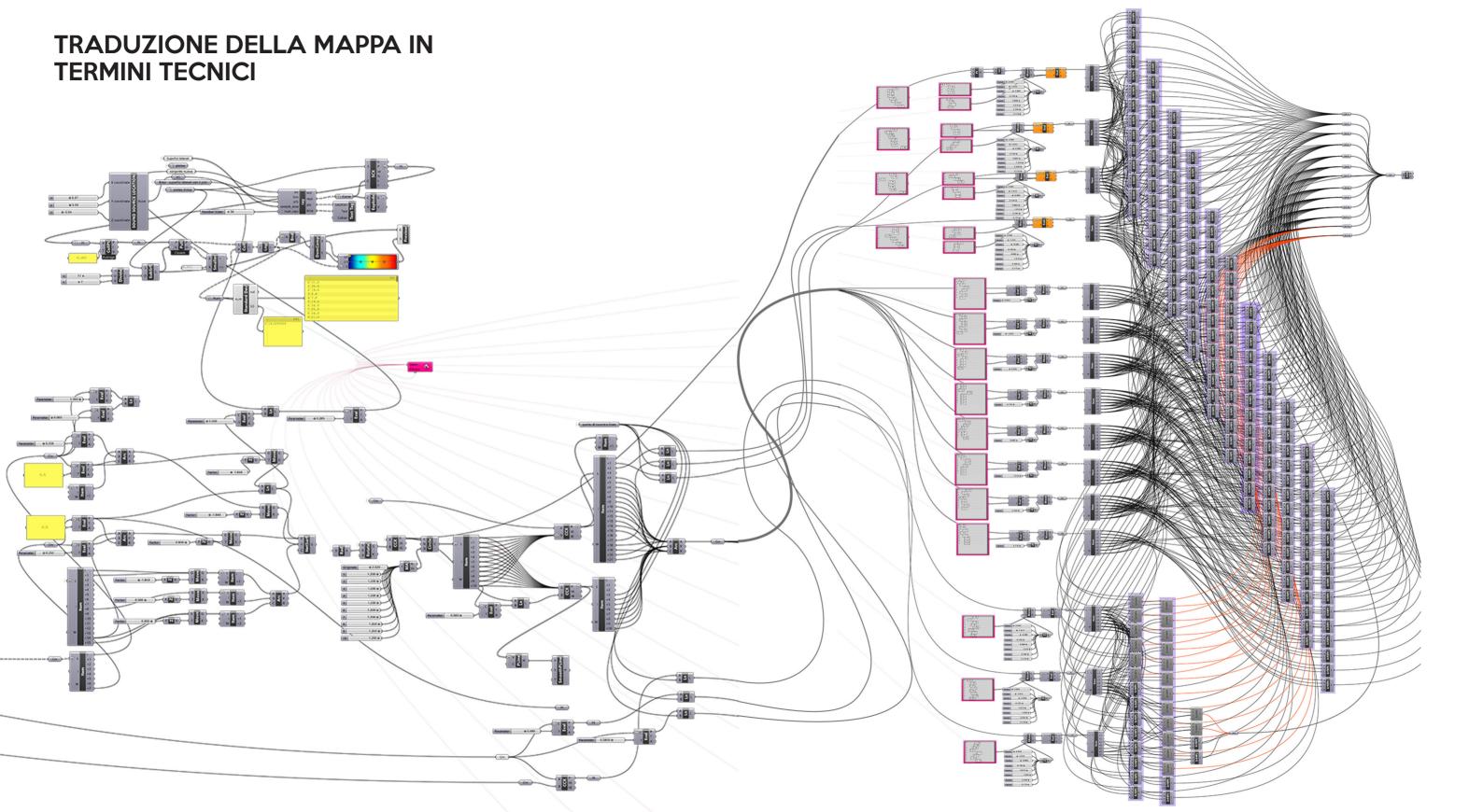
PROCESSO DI MORFOGENESI PRELIMINARE



5.3 EVOLUZIONE DEL PROGETTO: COSTRUZIONE ED EQUILIBRI ALTERNATIVI

Il primo processo evolutivo ha portato a una forma che rispettava perfettamente i campi di validità di architettura e struttura, ma non perfettamente quello di acustica: ciò significa che non esiste una forma capace di conciliare davvero tutti i campi di validità imposti ad origine. Ciò mi ha portato a cercare di migliorare il mio approccio ed a sviluppare quindi campi di validità differenti dai precedenti, in modo da ottenere soluzioni alternative per migliorare l'omogeneità sonora all'interno della platea. E' fondamentale sottolineare che la modifica dei campi di validità comporta un cambio completo delle condizioni: una revisione delle condizioni che porta non semplicemente ad "allargare" i campi di validità (il che implicherebbe solo di essere meno stringenti nei parametri, cioè abbassarne la qualità attesa), ma di ripensarli in un nuovo equilibrio formale: modificando tratti essenziali del progetto e aprendolo verso nuovi campi di validità.





Per prima cosa ho inserito nuovi parametri che mi aiutassero a colmare i difetti sonori del teatro ed ho scelto di aggiungere ulteriori punti di controllo che formassero superfici al fine di incrementare le riflessioni sonore. I punti di controllo che formano le superfici retrostanti il palco seguono un differente asse per muoversi rispetto alle superfici laterali parametrizzate in precedenza, ossia, seguono la linea immaginaria che collega la parte retrostante il palco al centro della stessa. Tali punti di controllo possono variare in due modi a seconda dell'altezza della rampa e, quindi, in base all'intersezione che vi è tra le superfici e l'incontro con la rampa. I primi 4 punti di controllo possiedono una dimensione minima di -3 metri fino ad una massima di 2 metri, ciò è stato pensato al fine di evitare che le superfici ostacolassero il passaggio dell'utenza sulla rampa che, come abbiamo osservato nel capitolo precedente, non deve essere inferiore a 2 metri. I successivi 4 punti di controllo hanno libertà maggiore: possono muoversi anche con una dimensione minima di 0 metri, dove troviamo il punto di ancoraggio, fino ad un massimo di 4 metri.

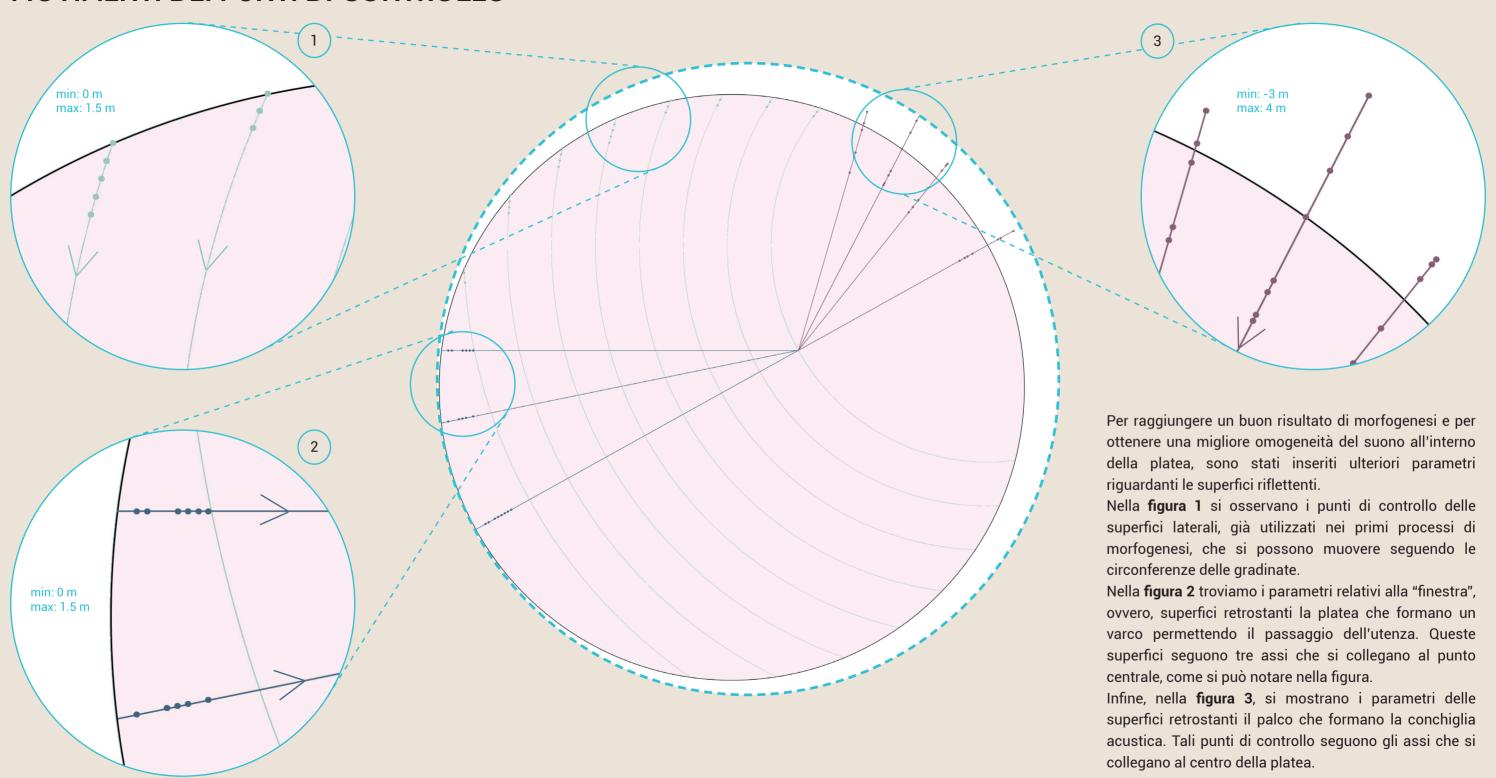
Dopo una prima fase di ottimizzazione manuale, le soluzioni ottimali sono state testate e convalidate attraverso l'ottimizzatore Galapagos, che mi ha permesso di individuare la migliore soluzione per la morfogenesi delle superfici. Il nuovo processo ha rilevato miglioramenti rispetto alle precedenti simulazioni di morfogenesi, tuttavia non considerabili ancora soddisfacenti al fine di rientrare nel range di Standard Deviation e omogeneità sonora prefissatomi. Per queste ragioni, oltre ad aver parametrizzato le pareti rocciose retrostanti il palco che hanno formato una conchiglia acustica, ho deciso di parametrizzare ulteriori punti di controllo che andassero a creare una "finestra" all'ingresso della scala che dà accesso alla platea. La "finestra", progettata ad inizio platea, permette un ulteriore miglioramento acustico ed è stata progettata per seguire, attraverso parametri variabili, la circonferenza principale della platea. Essa possiede la stessa altezza dell'edificio per servizi; essa segue inoltre la stessa logica compositiva dell'intero progetto, richiamando le strutture dei teatri antichi e donando eleganza al complesso per spettacoli. La "finestra" segue lo stesso asse delle superfici retrostanti il palco e le sue dimensioni di massimo e minimo sono comprese tra 0 e 1.5 metri.

Una volta parametrizzati tutti i nuovi campi di validità, attraverso un lungo processo di *tuning* manuale, in cui le superfici e i relativi punti di controllo sono stati mossi senza l'uso del processo di ottimizzazione solamente attraverso lo

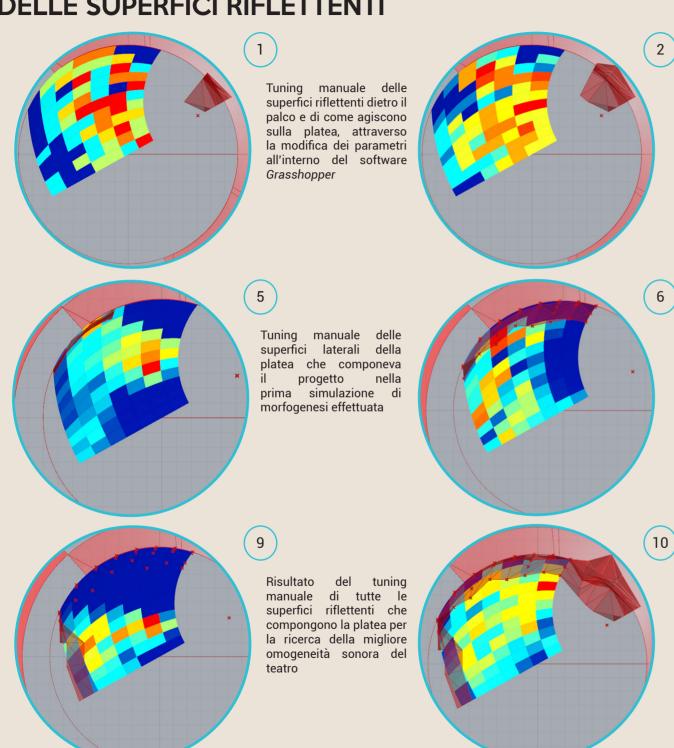
spostamento manuale dei parametri, ho controllato il processo di morfogenesi attraverso il software *Grasshopper*, inglobando al suo interno i parametri relativi a 3 campi di forma differenti: architettonico, acustico e strutturale.

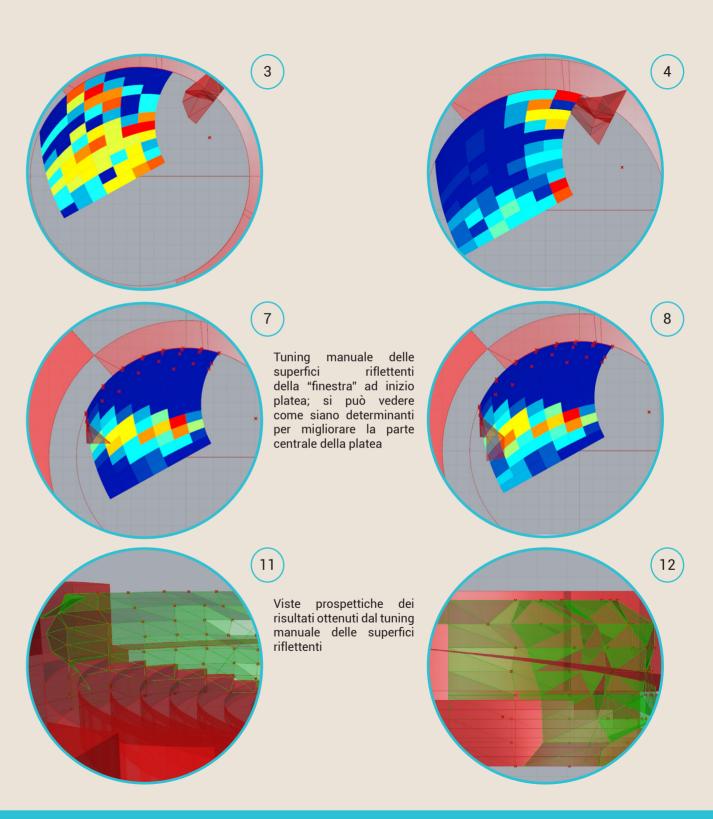
Una volta ottenuti i risultati del processo di morfogenesi, attraverso la funzione di *fitness*, ovvero, la *Standard Deviation*, si è valutata l'omogeneità dei raggi sonori all'interno della platea e il risultato finale è stato soddisfacente ai fini della ricerca ottenendo un valore di 14.13.

MOVIMENTI DEI PUNTI DI CONTROLLO



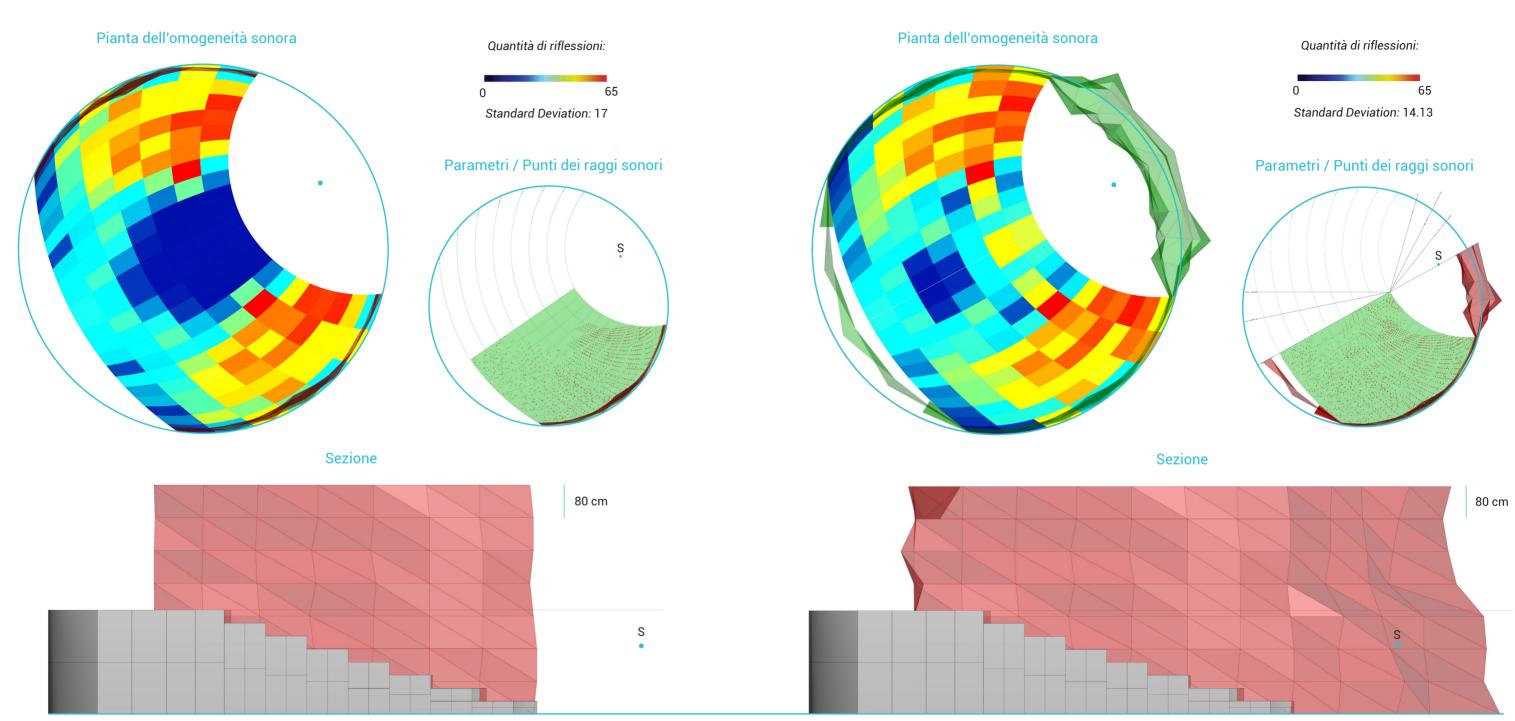
PROCESSO DI TUNING MANUALE DELLE SUPERFICI RIFLETTENTI



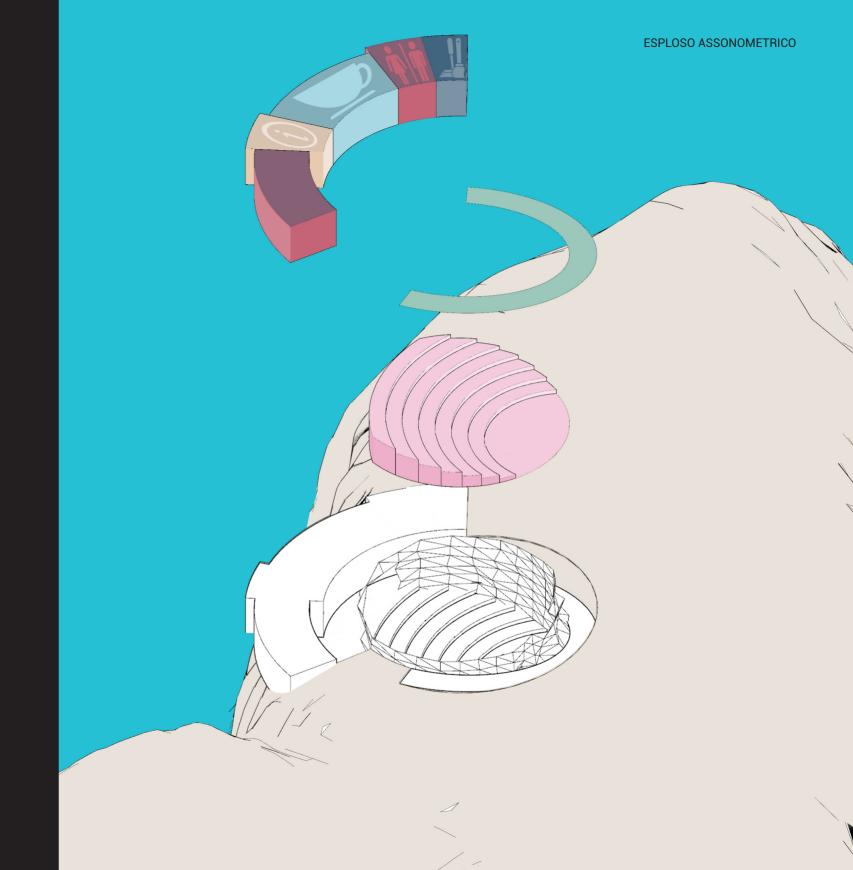


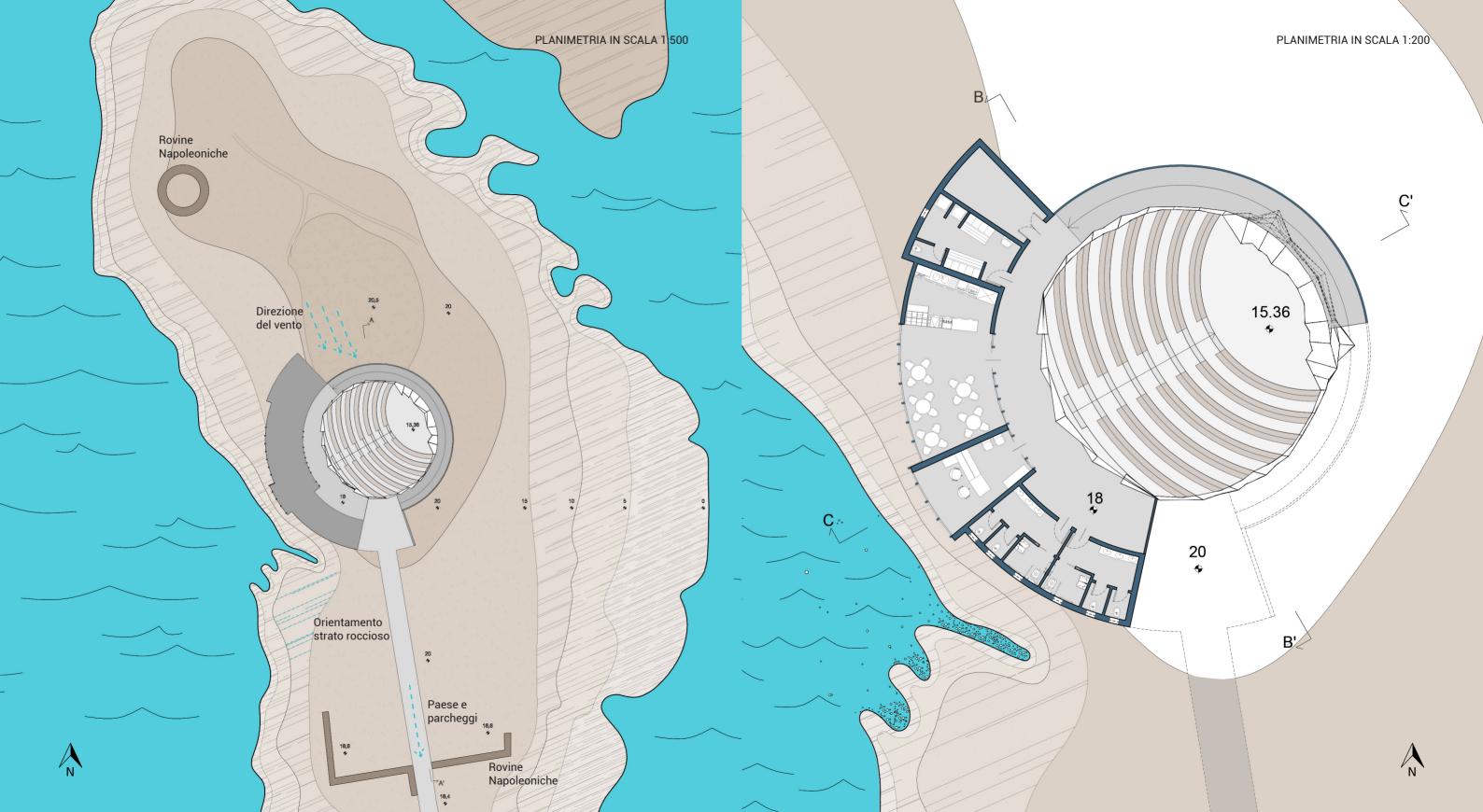
PROCESSO DI MORFOGENESI PRELIMINARE

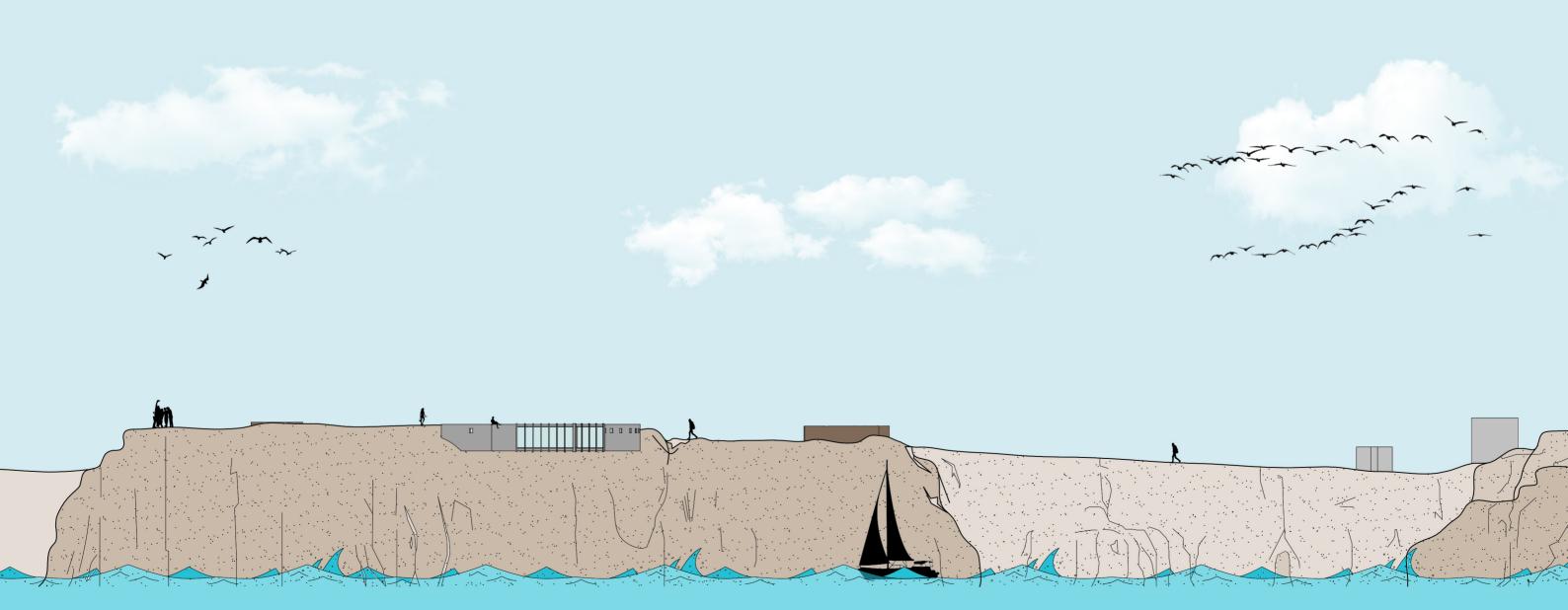
EVOLUZIONE DEL PROCESSO DI MORFOGENESI

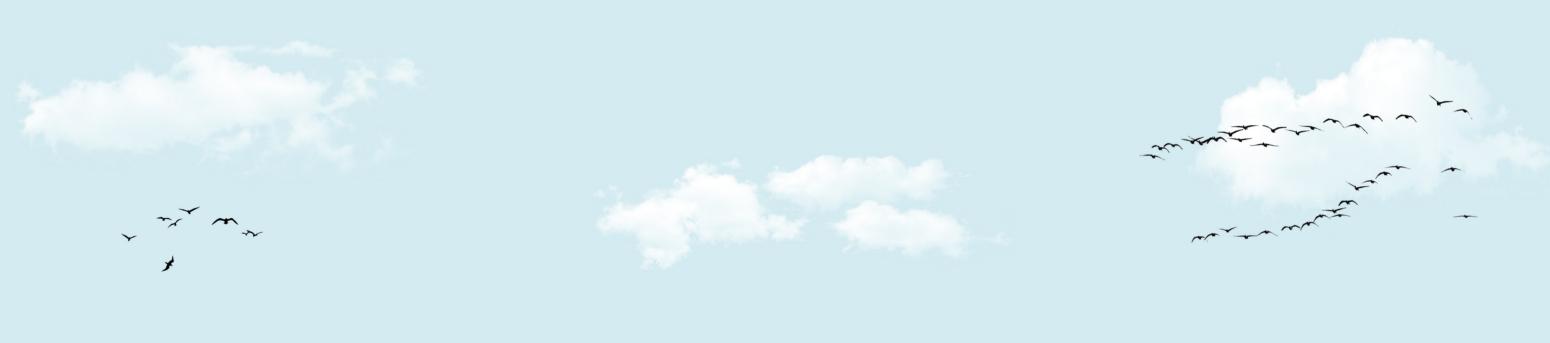


ELABORATI









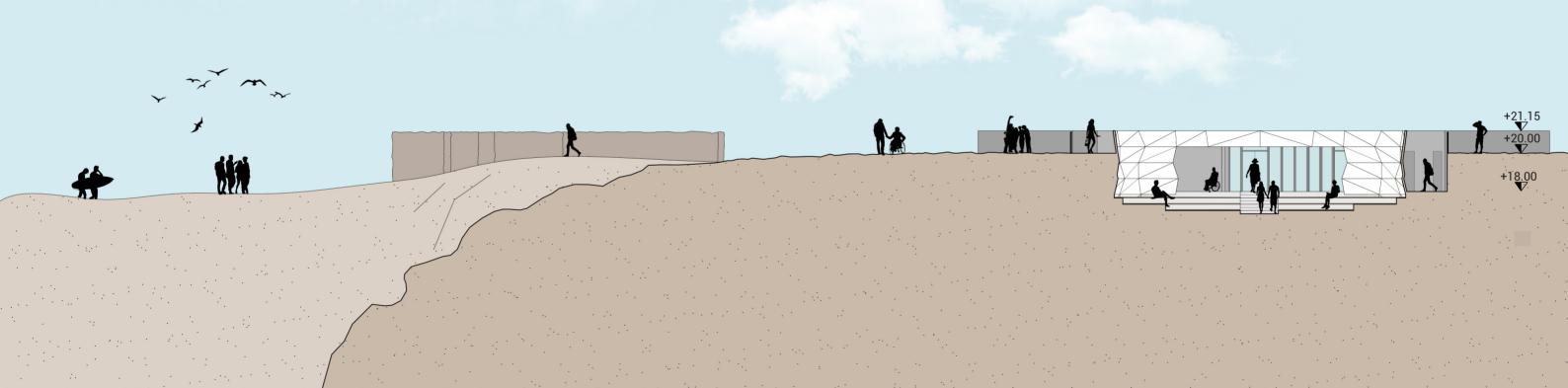
+ 20.00 ▼

+ 15.00 ▼

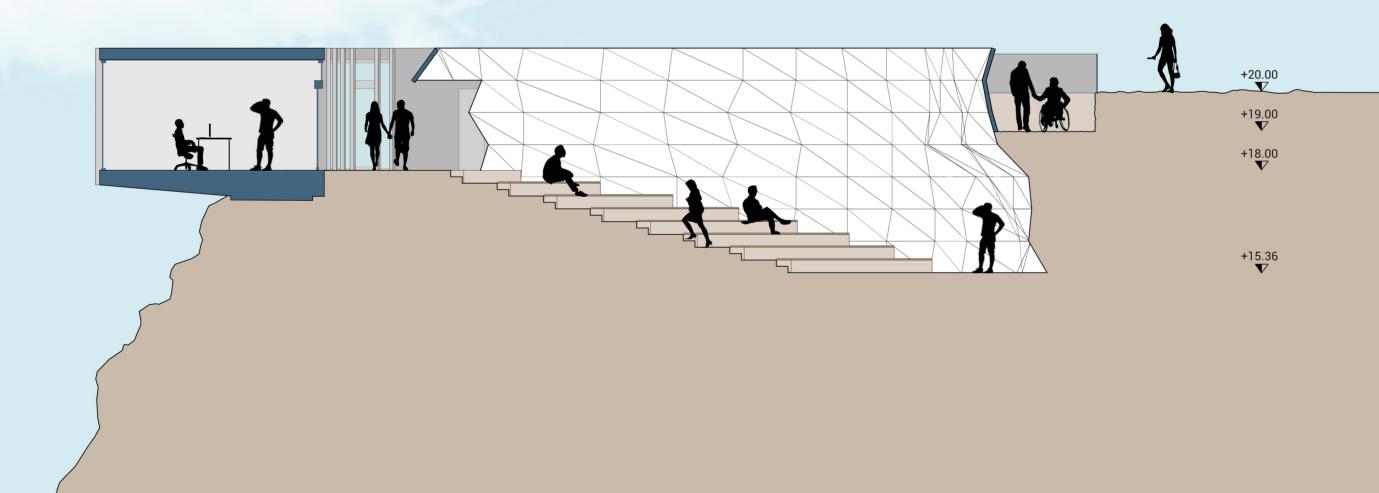
+ 10.00 ▼

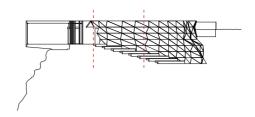
+ 5.00 ▼

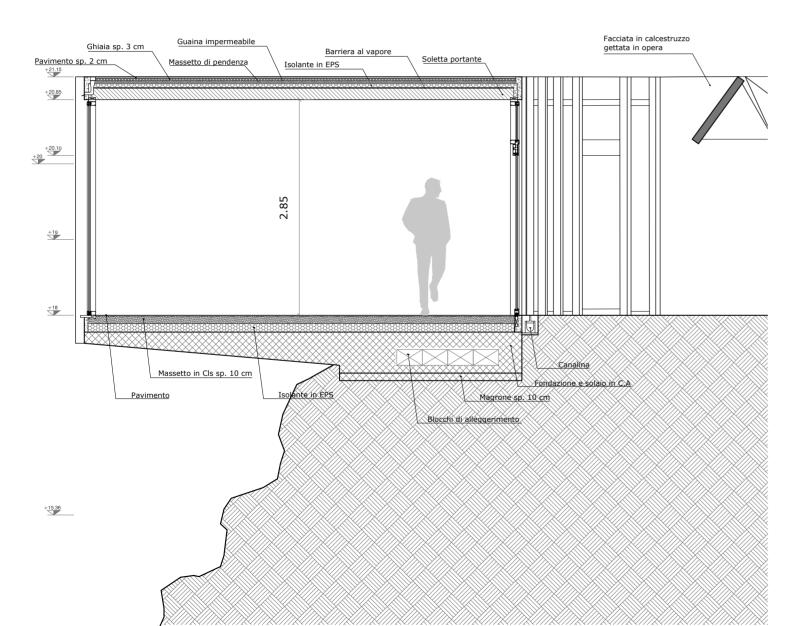


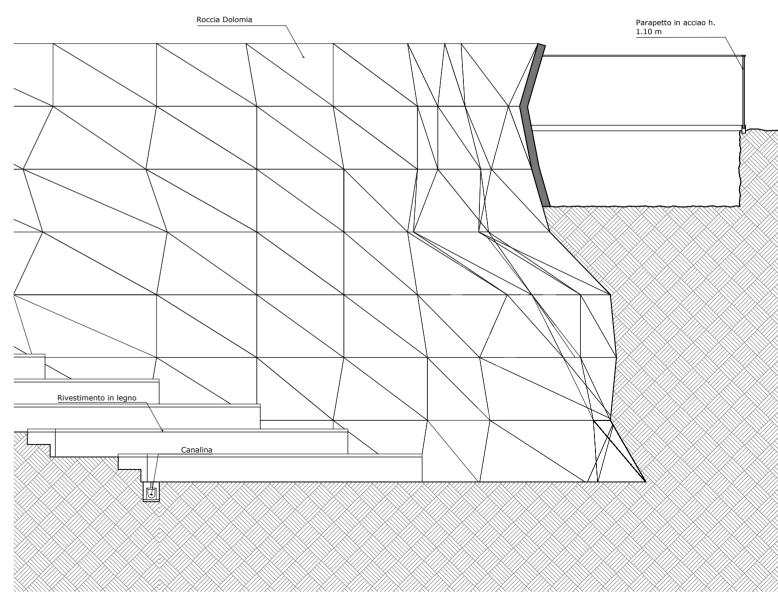














CONCLUSIONI

Questo progetto di tesi aveva come scopo principale la progettazione di un teatro all'aperto che sfruttasse a pieno le risorse del territorio tutelandole al contempo. L'edificio per spettacoli si erge lungo il promontorio a picco sul mare sito a Baleal – Portogallo, per cui è stato necessario tener conto di un fattore determinante, ossia il mare e le rocce. A tal proposito, ho ritenuto indispensabile condurre uno studio riguardo la tipologia di roccia, individuandone le caratteristiche principali relative alla permeabilità. Per questo motivo al fine di evitare il pericolo di frane, si è deciso di orientare il teatro verso Nord- Est, sfruttando così al meglio le caratteristiche della scogliera.

Progettare un teatro all'aperto non è stato un processo che definirei semplice, poiché, oltre alla complessità nell'apprendimento di Grasshopper, un software parametrico a me sconosciuto fino a pochi mesi fa, fin da subito mi sono reso conto della necessità di coinvolgere nel quadro generale della progettazione tre discipline fondamentali: forma architettonica, acustica e strutturale. Tali discipline, seppur eterogenee tra loro, risultano complementari, ciò significa che fin dagli antipodi vi è stata la necessità di combinarle, in quanto il progetto non avrebbe potuto essere realizzato senza tener conto di queste. Per quanto concerne la forma architettonica, si è tenuto conto di elementi fissi ed elementi variabili, progettando le pareti rocciose attraverso parametri di movimento che possiedono dei massimi e dei minimi a seconda della loro posizione all'interno della platea. Muovendoci verso la forma acustica, invece, i parametri presi in considerazione sono identificabili con quelli dell'omogeneità sonora e della Standard Deviation. Per quanto riguarda, invece, la forma strutturale, il teatro è stato progettato seguendo il metodo di soluzione strutturale dell'equilibrio limite, che si basa principalmente sull'indagine di situazioni geometriche semplici.

Il risultato del processo di morfogenesi ha soddisfatto le premesse e i vincoli espressi attraverso i parametri, arrivando a una forma capace di rispettare tutti i campi di validità imposti nel corso del processo progettuale. Nel dialogo morfogenetico tra le tre discipline, ha assunto una enorme importanza l'interfaccia, cioè il modo per farle convergere sull'unico aspetto che davvero è il punto di incontro: la forma stessa. Questo dimostra il grande potenziale del parametric design non solo, e non tanto, per generare forme, quanto per controllare le diverse istanze del progetto, rispetto a un approccio tradizionale necessariamente legato a una contrattazione più approssimata tra le parti. La tesi propone un primo studio su questo uso dell'interfaccia: un uso che potrebbe essere potenziato sia nel coinvolgere più discipline - e quindi più campi di validità - sia nel capire come controllare i campi di validità in modo più performante, a seconda del progetto.

BIBLIOGRAFIA

ASTOLFI, A., JANSEN, M., MÈNDEZ, T., SASSONE, M.

- "Architectural Acoustic and Structural Form", in *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, Dicembre 2008, vol.49, pp. 181-186.

ASTOLFI, A., MÈNDEZ, T., PALMA, M., SAROTTO, M., SASSONE, M.

- "Sound-Strength Driven Parametric Design of an Acoustic Shell in a Free Field Environment", in *Journal Of Building Acoustics*, 2014, vol. 21, pp. 30 - 41.

BARLA, M.

- Elementi di meccanica e ingegneria delle rocce, Celid, 2009.

BARRON, M.

- "The Search for Excellence in Auditorium Acoustics", in *Acoustics Australia*, Aprile 2015, vol.43, pp. 25-31.
- Auditorium Acoustics and Architectural Design, New York, Spon Press, 2009

BERANEK, L.,

- Concert and Opera Halls: How They Sound, Woodbury, New York, American Institute of Physics, 1996.

BO, E., SHTREPI, L., GARCIA, P, D., ALETTA, F., ASTOLFI, A.

- "The Accuracy of Predicted Acoustical Parameters in Ancient Open-Air Theatres: A Case Study in Syracusae", in *Applied science*, Agosto 2018.

BOJANIC', P., CANTONE, D.

- "Un matrimonio sfortunato: Derrida e l'architettura", in *Aut Aut*, ottobre - dicembre 2015, n.365.

BURRATI, G., ROSSI, M.

- "Disegno e complessità verso nuovi scenari di progetto", in *Codice e progetto*, a cura di Nebuloni A., Rossi A., Mimesis edizioni, Milano – Udine, 2017, pp. 83-92.

CACHE, B.

- Projectiles, AA Publications, London, 2011.

CARPO, M.

- The alphabet and the algorithm, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2011.

COX. T.

- Pianeta acustico: Viaggio fra le meraviglie sonore del mondo, Dedalo, 2015

COX, T., D'ANTONIO, P.

- Acoustic Absorbers and Diffursers: theory, Design and Application, Spon Press , London, 2004

CRIPPA. M.

- Antoni Gaudí, Taschen, Köln, 2015.

CURTIS, W.

- L'architettura moderna dal 1900, Phaidon Press Limited, Londra, 2006.

DELEUZE, G.

- La piega. Leibniz e il Barocco, Einaudi, Torino, 2004, Il ed., p. 5 (ed. or. Le pli. Leibniz et le Baroque, Paris, Minuit, 1988).

DEREGIBUS, C.

- Intenzione e Responsabilità: La consistenza etica dell'architettura contemporanea, IPOC, Milano, 2014.
- "La modestia oltre la saggezza: Progettare l'ordinario architettonico", in *Architettura e ordinarietà*, a cura di Piccardo, C., Servente, D., Genova University Press, Vol. 2, Ottobre 2015, pp. 42 52.

DEREGIBUS, C., GIUSTINIANO, A.

- "TURNS: Dialoghi tra architettura e filosofia", in *Philosophy kitchen*, gennaio 2018, n.2, vol 5.

DIMASI, T.

- Investigation of Open-air theatre design through Geometrical Acoustic Modelling, University of Salford, Manchester, 2017.

FROMONIT, F.

- Jørn Utzon architetto della Sydeny Opera House, Electa, Milano, 1998.

HOLST, M,K., KIRKEGAARD, P, H., PUGNALE, A.

- "New conceptual design tools: towards designers as software customizers", in *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)*, Novembre 2010.

JODIDIO, P.

- Zaha Hadid, Taschen, Köln, 2016.

LO TURCO, M.

- Il BIM e la rappresentazione infografica nel processo edilizio: Dieci anni di ricerche e applicazioni, ARACNE editrice S.r.l, Ariccia, 2015.

LONG, M.

- Architectural Acoustics, Elsevier, Amsterdam, 2016

LU, S.

- "Improving auditorium designs with rapid feedback by integrating parametric models and acoustic simulation", in *Building Simulation*, 2016, vol.9, pp. 235-250.

LYNN, G.

- Folding in architecture, Wiley-Academy, Chichester, 2004.

MÈNDEZ, T., PUGNALE A., SASSONE M.,

- On the interaction between architecture and engineering: the acoustic optimization of a reinforced concrete shell, IASS-IACM, 2008.

MIRRA, G., PIGNATELLI, E., PONE, P.

- "Computational morphogenesis and construction of an acoustic shell for outdoor chamber music", in *International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)*, Settembre 2016.

PUGNALE, A.

- "Integration Form, Structure and Acoustics: A Computational Reinterpre-

tation of Frei Otto's Design Method and Vision", in *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, Marzo 2018, vol.59, pp. 75-86.

- "Engineering architecture: Come il virtuale si fa reale", in *Bloom*, luglio/agosto/ settembre 2012, vol 14, pp. 17-24.

PUGNALE, A., SASSONE, M.

- "Incontro con Mutsuro Sasaki. Algoritmi di progetto: La personalizzazione del software nel lavoro dello strutturista giapponese", in *Il giornale dell'architettura*, Dicembre 2007, n.57, pp. 13.
- -"Morphogenesis and Structural Optimization of Shell Structures with the Aid of a Genetic Algorithms", in *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, Dicembre 2007, vol.48, pp. 161-166.

SHTREPI, L., ASTOLFI, A., PUGLISI, E,G., MASOERO, C, M.

- "Effects of the Distance from a Diffusive Surface on the Objective and Perceptual Evaluation of the SoundField in a Small Simulated Variable-Acoustics Hall", in *Applied science*, Febbraio 2017.

SPAETH, A.

- "Acoustics as design driver", in *Architectural Science Review*, 2016, Vol.59, pp.148-158.

SPAGNOLO, R.

- Acustica: Fondamenti e Applicazioni, UTET Università, 2015.

SPALLONE, R.

- Rappresentazione e progetto: La formalizzazione delle convenzioni del disegno architettonico, Edizioni dell'orso s.r.l, Alessandria, 2012.

TEDESCHI, A.

- AAD_Algorithms - Aided Design, Le Penseur Publisher, Brienza, 2014.

VORLÄNDER, M.

- Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and

Acoustic Virtual Reality, Springer Science+Business Media LLC, 2008

WORRE FOGED, I., PASOLD, A., JENSEN, M., POULSEN, E.

- "Acoustic Environments: Applying evolutionary algorithms for sound based morphogenesis", in *eCAADe*, 2012, Vol.30, pp.347-354.

WORRE FOGED, I., PASOLD, A., JENSEN, M.

- "Evolution of an Instrumental Architecture", in *eCAADe*, 2014, Vol.32, pp.365-372.

RINGRAZIAMENTI

La tesi presentata, rappresenta la conclusione di un percorso durato più di cinque anni, che mi ha permesso di imparare e conoscere professori, colleghi ed amici di cui i ricordi saranno per sempre parte di questo lungo, faticoso e bellissimo traguardo. La tesi svolta mi ha permesso di studiare per tre fantastici mesi a Melbourne e di vivere un'esperienza davvero unica. Ringrazio tutte le persone che mi hanno creduto in me in questi anni e mi hanno aiutato nei momenti più difficili al fine di raggiungere la fine del percorso della laurea magistrale.

Ringrazio il mio relatore Carlo Deregibus, che mi ha seguito in maniera approfondita e sempre con molta disponibilità durante questi anni, dandomi la possibilità di viaggiare e sviluppare un tema molto difficile e innovativo all'interno del mio percorso di studi. Un ringraziamento va anche ai miei co-relatori Arianna Astolfi e Louena Shtrepi che mi hanno aiutato nel percorso finale all'interno del *Politecnico di Torino*, dandomi la possibilità di sfruttare al meglio le strutture universitarie e la loro professionalità nelle materie scientifiche di appartenenza. Ringrazio infi ne Alberto Pugnale, che non solo mi ha fornito ed insegnato conoscenze tecniche e di software al fine di svolgere la tesi, ma è stato molto disponibile nel mio periodo di studio all'*Università di Melbourne*.

Il ringraziamento più grande va alla mia famiglia, che mi ha sempre sostenuto in questi anni e riposto sempre fiducia nelle mie scelte. Ringrazio i miei nonni che da lassù sapranno che finalmente li ho resi orgogliosi. Non basterebbe una pagina per ringraziare Giulia, che più di ogni altro in questi ultimi due anni mi è stato vicino, aiutandomi (materialmente) e sostenendomi in tutto il mio percorso. Grazie ai miei compagni di università più stretti che, negli anni, sono felice di chiamare amici come: Fra, Enri, Martiz, Silviz, Laura, Giulia, Ale e a tutti gli altri che mi hanno conosciuto non solo all'università, ma anche davanti a una birra (chissà quale). Come non ringraziare i miei amici di sempre come: Pino, Oli, Mimmo, Marco, Flo e tutta la banda, che mi hanno sempre ricordato dei miei mesi a fare la "tesina" e che, però, sono sempre riusciti a farmi sorridere anche in momenti un pò complessi.

Infine volevo solo dire grazie a tutti quelli che leggeranno i ringraziamenti, e se mi sono dimenticato di voi, sappiate mi sono salvato in *corner*.

Simone



