



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

Dipartimento di Ingegneria Civile

Dottorato di Ricerca in

Ingegneria Civile e Industriale

Con il contributo di (Ente finanziatore)

POR Calabria 2014-2020

CICLO

XXXV

ARCHITETTURA E APPROCCIO PARAMETRICO

Visioni, invarianti, identità e codici per il progetto

Settore Scientifico Disciplinare: ICAR/14 - Composizione Architettonica e Urbana

Coordinatore: Ch.mo Prof. Enrico Conte

Firma

Supervisore/Tutor: Ch.ma Prof.ssa Roberta Lucente

Firma

Dottorando: Dott. Giuseppe Canestrino

Firma

*La borsa di dottorato è stata cofinanziata con risorse del Programma Operativo Regionale
Calabria FSE/FESR 2014 – 2020 (CCI 2014IT16M2OP006)*

SINTESI STRUTTURALE DELLA RICERCA

:: Dominio

Lo studio si inquadra nel settore scientifico disciplinare "ICAR/14 – Composizione Architettonica e Urbana" ed è incentrato sull'"approccio parametrico" al progetto di architettura. Con tale dizione, questa ricerca individua un ampio ed eterogeneo campo di posizioni culturali e metodologiche per il progetto di architettura volti a proporre, con modalità talvolta divergenti: un suo possibile avvicinamento alla prassi scientifica; l'esplicitazione delle sue espressioni in termini algoritmici; l'adozione, nel suo esercizio, di precisi strumenti digitali.

:: Tema

Lo studio identifica nell'approccio parametrico, e nella cultura digitale e analogica ad esso sottesa, un originale materiale del progetto, capace di reificare la forma architettonica attraverso differenti e particolari meccanismi di interazione con il patrimonio tecnico di cui essa si può servire. Tale materiale è perciò indagato in questa ricerca rispetto alle implicazioni metodologiche che esso può apportare nei confronti del progetto di architettura. I risultati di questa indagine sono presentati per mezzo di alcune categorie conoscitive, ipotizzate e discusse, a cui si propone di guardare per l'interpretazione dei fenomeni connessi all'approccio parametrico e per la costruzione informata di una personale narrativa progettuale da parte di chi ne adotta i metodi, gli strumenti e gli orizzonti culturali.

:: Stato dell'arte

Le posizioni che inquadrano il contributo fornito dall'approccio parametrico alla cultura progettuale sono molteplici. Tale contributo è considerato per lo più come un cambio di paradigma, figlio di una repentina rivoluzione, ma anche come una inevitabile e graduale

transizione in una prospettiva di lunga durata. Il presente studio, quindi, si confronta con posizioni di ricerca e progetto nelle quali questo contributo è, alternativamente, relegato a una ancillare dimensione tecnica, oppure assunto come un luogo operativo prediletto, oppure ancora considerato come una condizione orizzontale che il progetto ha ormai acquisito e assorbito.

:: Questioni

- *Quali sono le principali concezioni del significato del termine “parametrico” quando questo è associato al progetto di architettura?*
- *È possibile individuare dei tratti invarianti nelle applicazioni dell’approccio parametrico al progetto di architettura?*
- *Quali sono le diverse esperienze progettuali e culturali che hanno contribuito alla costruzione di una identità riconoscibile e condivisibile per l’approccio parametrico in relazione al progetto di architettura?*
- *Qual è l’impatto della tecnica propria dell’approccio parametrico rispetto alla prassi del progetto di architettura?*
- *Quali sono le categorie conoscitive intorno alle quali è possibile organizzare la conoscenza sul tema dell’approccio parametrico?*
- *Nella prassi progettuale contemporanea l’approccio parametrico si attua esclusivamente attraverso l’impiego di metodologie rigide o può anche prestarsi alla costruzione di personali narrative progettuali?*
- *Quali sono le implicazioni metodologiche che possono derivare dalla manipolazione della forma architettonica attraverso approcci parametrici?*

- *È possibile individuare all'interno della concezione parametrica una visione "plurale ed eterogenea" del progetto di architettura?*

:: Obiettivi

- *Ricostruire lo stato dell'arte delle ricerche interessate agli aspetti teorici, storico-ricostruttivi, metodologici e formali dell'interazione tra il progettista e la strumentazione parametrica.*
- *Restituire la complessità culturale e la dimensione plurale sottesa alla concezione parametrica.*
- *Proporre un sistema conoscitivo per l'approccio parametrico da usare come strumento operativo nella progettazione e come strumento interpretativo nella lettura del progetto.*
- *Proporre possibili organizzazioni dei materiali del progetto propri dell'approccio parametrico intorno al tema della sostenibilità ambientale.*

:: Metodo

La capacità di reificare (intesa come la capacità di rendere concreto qualcosa di astratto) la forma architettonica è assunta come principale metro di valutazione dell'interesse, ai fini di questo studio, delle diramazioni epistemologiche, tecniche e culturali dell'approccio parametrico in architettura.

Questo studio intende configurarsi come uno strumento conoscitivo e operativo aperto, utilizzabile dai progettisti anche a supporto della costruzione di possibili personali narrative progettuali in relazione all'adozione dell'approccio parametrico e, più in generale, in relazione alle manifestazioni più specialistiche della cultura digitale in architettura.

La ricerca è condotta attraverso i seguenti metodi:

- *Acquisizione dello stato dell'arte del contesto scientifico di riferimento a partire dalle differenti definizioni offerte dalla letteratura relativamente alla concezione parametrica in architettura.*
- *Acquisizione di competenze pratico-operative nell'uso di diversi strumenti parametrici nel progetto di architettura.*
- *Individuazione di caratteristiche ricorrenti nell'ambito delle esistenti posizioni teoriche e operative per diverse possibili declinazioni dell'approccio parametrico.*
- *Individuazione di esperienze progettuali e culturali che hanno anticipato le caratteristiche ricorrenti dell'approccio parametrico.*
- *Individuazione delle contemporanee possibilità metodologiche offerte dalla concezione parametrica a partire da strumentazioni tecniche a cui è già associabile una prassi progettuale.*
- *Verifica del sistema di conoscenze proposto attraverso la costruzione di tre diverse "narrative parametriche" in altrettante applicazioni sperimentali interessate a indagare diversi possibili rapporti tra sostenibilità ambientale e tecniche parametriche.*

:: Fonti

Questo studio utilizza alcune fonti che possono essere definite come primarie quali: la ricerca archivistica; il materiale iconografico di progetti a cui è stata riconosciuta una dimensione parametrica; l'archeologia del software applicata alla strumentazione digitale del progetto; la manualistica della strumentazione parametrica; le prospettive offerte da strumenti tecnici di recente sviluppo, non ancora introdotti nel progetto di architettura, ma già portatori dei futuri risvolti della cultura digitale.

A ciò sono associate fonti definibili come secondarie, che offrono un panorama delle applicazioni e delle possibilità della concezione parametrica. Esse comprendono: monografie di autori chiave sui temi della cultura digitale; tesi di dottorato; collane e special issues; index di società scientifiche in ambito CAAD; output di gruppi di ricerca e progettazione.

Il processo di selezione delle fonti di questo studio – che solo in parte sono legate alla dimensione digitale - denota la volontà di tracciare un sistema di conoscenze permeabile e reattivo rispetto all'inevitabile evoluzione della concezione dell'approccio parametrico nel progetto di architettura.

STRUCTURAL SYNTHESIS OF THE RESEARCH

:: Domain

The study is framed within the academic discipline “ICAR/14 - Architectural and urban design” and is interested in the “parametric approach” to architectural design. With this term, the present research refers to a broad and heterogeneous field of possible cultural and methodological horizons of architectural design characterised by, in different ways, an alignment with scientific practices, the expression of design solutions in algorithmic terms, and the adoption of precise digital tools.

:: Theme

The study identifies in the parametric approach, and the digital and analogue culture underlying it, an original design material capable of reifying the architectural form through different and distinctive mechanisms of interaction with the technical assets it offers. This material is therefore investigated in this research in relation to the methodological implications it brings to architectural design. The results of this investigation are presented through the hypothesis and discussion of some cognitive categories to look at for the interpretation of the phenomena of the parametric approach and the informed construction of one's own design narrative.

:: State of the art

Many positions frame the contribution of the parametric approach to design culture. This contribution is considered as a paradigm shift, the product of a sudden revolution, but also as an inevitable and gradual transition in a long-term perspective. The study, therefore, is dealing with research and design positions in which this contribution is confined to an ancillary technical dimension, in which it is assumed as a design

horizon to be pursued and in which it is considered as a condition that the project has already acquired and absorbed.

:: Questions

- *What are the main conceptions of the meaning of parametric in architectural design?*
- *Is it possible to identify invariant features in the applications of the parametric approach in architectural design?*
- *What are the different design and cultural experiences that have aided the construction of a shared and recognisable identity for the parametric approach?*
- *What is the impact of the parametric approach on architectural design praxis?*
- *What are the cognitive categories around which to organise the knowledge on the parametric approach?*
- *In contemporary design practice, is the parametric approach implemented exclusively through the use of rigid methodologies or also through the construction of a personal narrative?*
- *What are the methodological implications of handling architectural form through parametric approaches?*
- *Is it correct to identify within the parametric concept a “plural and heterogeneous” vision of architectural design?*

:: Objectives

- *Reconstruct the state of the art of research concerned with the theoretical, historical, methodological and formal aspects of the interaction between the designer and parametric tools.*

- *Trace the cultural complexity and plural dimension underlying the parametric conception of architectural design.*
- *Propose a knowledge system for the parametric approach to be used as an operative tool in design and as an interpretative tool in project analysis.*
- *Propose possible narratives of the parametric approach around the theme of environmental sustainability.*

:: Methods

The ability to reify (in the sense of making something abstract concrete) architectural form is assumed as the main criterion of interest in the epistemological, technical and cultural ramifications of the parametric approach in architecture.

This study is intended as an open cognitive and operative tool that can be used by a designer to construct a personal design narrative regarding the adoption of the parametric approach and, more generally, regarding the most disruptive expressions of digital culture in architecture.

The research is conducted through the following methods:

- *Acquisition of the state of the art of the different definitions given to the parametric conception in architectural design.*
- *Acquisition of practical skills in the use of different parametric tools.*
- *Identification of recurring characteristics regarding the theoretical and operative aspects for different declinations of the parametric approach.*
- *Identification of design and cultural experiences that anticipated the recurring characteristics of the parametric approach.*

- *Identification of the contemporary methodological possibilities of the parametric approach starting from the study of those technical instruments with which a design praxis could already be associated.*
- *Verification of the proposed knowledge system through the construction of three different 'parametric narratives' in as many experimental applications interested in investigating different possible relationships between environmental sustainability and parametric praxis.*

:: Sources

This study is based on sources that can be defined as primary, such as archival research, the iconographic material of projects that have been associated with the parametric concept, the archaeology of software applied to the architectural design's digital tools, the manuals of parametric tools, and the perspectives offered by technical tools that have not yet been introduced into architectural praxis but already bear the future implications of digital culture.

Associated with this are sources that can be defined as secondary, which offer an overview of the applications and possibilities of parametric approaches. These sources include key authors' monographs on digital culture issues, doctoral theses, journal special issues, outputs of research and design groups, indexes of scientific societies in CAAD.

The selection process of the sources of this study, which are only partly related to the digital dimension, reveals a desire to map out a knowledge system that is permeable and responsive to the inevitable evolution of the conception of the parametric approach in architectural design.

ARCHITETTURA E APPROCCIO PARAMETRICO.

Visioni, invarianti, identità e codici per il progetto.

INTRODUZIONE: SUL CONCETTO DI APPROCCIO PARAMETRICO	1
ORGANIZZAZIONE DELLA RICERCA: FONTI, METODI E STRUTTURA ADOTTATI	9
CAPITOLO 1: LA CONCEZIONE PARAMETRICA NEL PROGETTO DI ARCHITETTURA. UN'IPOTESI DI DEFINIZIONE DELLE SUE VISIONI E INVARIANTI	18
1.1. VISIONE SCIENTIFICA. L'ARCHITETTURA PARAMETRICA DI LUIGI MORETTI	25
1.2. VISIONE COMPUTAZIONALE. LE DEFINIZIONI VICINE AL COMPUTER AIDED-ARCHITECTURAL DESIGN	30
1.3. VISIONE STILISTICA. IL PARAMETRICISMO DI PATRIK SCHUMACHER	45
1.4. DIVERGENZE NELLE TRE VISIONI	54
1.5. UNA SINTESI. INVARIANTI DELL'APPROCCIO PARAMETRICO	58
1.6. CONCLUSIONI	76
CAPITOLO 2: LE MOLTEPLICI IDENTITÀ DELL'APPROCCIO PARAMETRICO. PROPOSTE PER UNA RICOGNIZIONE IN DIVENIRE	78
2.1. IDENTITÀ DELLA FORMALIZZAZIONE. IL PROGETTO COME PROBLEMA	87
2.2. IDENTITÀ DELLA VARIAZIONE. IL PROGETTO COME TRASFORMAZIONE	113
2.3. IDENTITÀ DEL FORM-FINDING. IL PROGETTO COME SPERIMENTAZIONE	138
2.4. CONCLUSIONI	155
CAPITOLO 3: CODICI DELL'APPROCCIO PARAMETRICO. UN'ESPLORAZIONE APERTA PER LA PRATICA E LA LETTURA DEL PROGETTO	157
3.1. CODICI DELLA TRASGRESSIONE. SUI MUTAMENTI IMPOSTI ALLA PRATICA PROGETTUALE	164
3.2. CODICI DELLA MODELLAZIONE. SULLE POSSIBILITÀ DEL CONCETTO DI MODELLO	175
3.3. CODICI DEL CONTRASTO. SULLE CONNESSIONI TRA ANALOGICO E DIGITALE	192
3.4. CONCLUSIONI	209
CONCLUSIONI: SULLA DIMENSIONE MOLTEPLICE DELL'APPROCCIO PARAMETRICO	211

:: APPLICAZIONI DI VISIONI, INVARIANTI, IDENTITÀ E CODICI PER LA SOSTENIBILITÀ. COSTRUZIONI DI NARRATIVE PARAMETRICHE	217
PARAMETRICO SCIENTIFICO. DERIVAZIONE E VERIFICA DELLE EQUAZIONI DI LUIGI MORETTI	219
PARAMETRICO COMBINATORIO. COSTRUZIONE DI UN ALGORITMO PER L'ESPLORAZIONE FORMALE DI UN INVOLUCRO ARCHITETTONICO	271
PARAMETRICO BLACK BOX. OTTIMIZZAZIONE DI UNA SCHERMATURA SOLARE TRAMITE ALGORITMI EVOLUTIVI E CLUSTERING	286
INQUADRAMENTO DELLE APPLICAZIONI PROPOSTE NELL'AMBITO DELLA STRATEGIA S3 – EDILIZIA SOSTENIBILE	301
DISCUSSIONE. TRE ESEMPI DI NARRATIVE PARAMETRICHE	304
:: GLOSSARIO MINIMO DELL'APPROCCIO PARAMETRICO	310
:: BIBLIOGRAFIA GENERALE	317
:: BIBLIOGRAFIA TEMATICA	328

INTRODUZIONE

SUL CONCETTO DI APPROCCIO PARAMETRICO

Nel 1968 Luigi Moretti definisce l'Architettura Parametrica come un “*metodo di progettazione secondo i parametri logico-matematici, fisici, economici*”¹, sintetizzando una teoria per il progetto di architettura da lui formulata, a valle di un lungo lavoro di ricerca, a partire dagli anni 40. Nell'ambito di questo metodo, sospinto dal desiderio di avvicinare la disciplina architettonica alle prassi proprie di una pratica scientifica, Moretti propone di attuare la progettazione per mezzo dell'adozione della logica specifica del digitale e della definizione dell'interdipendenza tra le forme architettoniche, le funzioni che esse sono chiamate a soddisfare e quei “parametri” quantizzabili che condizionano i fenomeni di un problema progettuale².

Dopo circa 70 anni dalle prime teorizzazioni di Moretti, Patrik Schumacher, attuale direttore di Zaha Hadid Architects, pubblica nel 2008 il *Parametricist Manifesto*. Con questo breve manifesto – nel quale non è dichiarata nessuna continuità e prossimità con l'Architettura Parametrica³ – Schumacher pone le basi per ciò che diventerà, attraverso una intensa attività teorica e professionale ancora oggi in corso, un paradigma progettuale da lui stesso definito in termini di principi compositivi, intuizioni funzionali, concezioni stilistiche e “primitive”⁴ geometriche da adottare. Sono però le indicazioni relative alle strumentazioni da utilizzare nel progetto di architettura che meglio descrivono la prassi metodologica propria del Parametricismo, la quale si fonda sull'instillazione nella forma architettonica di gradi crescenti di articolazione e complessificazione conseguiti attraverso lo sfruttamento delle possibilità offerte dal software digitale e dallo *scripting*. Con quest'ultimo termine, di derivazione informatica, si indica la possibilità di generare una soluzione progettuale attraverso l'esecuzione di una serie di istruzioni espresse in termini di parametri in input e azioni da compiere. Il parametricismo di Schumacher, seppur profondamente distante dall'Architettura Parametrica di Moretti, condivide con quest'ultima la fiducia nella tecnica

¹ Moretti, L. (1968), “Parametrica Architettura”, in Portoghesi, P. (ed.), *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*, Roma: Istituto Editoriale Romano, p.377.

² Scrive Moretti: “i “parametri” e le loro interrelazioni divengono così l'espressione, il codice, del nuovo linguaggio architettonico, la “struttura”, nel senso originario e rigoroso del vocabolo, definente le forme e i loro legamenti, rispondenti a date funzioni. Alla determinazione dei “parametri” e loro interapporti, debbono chiamarsi a coadiuvare le tecniche e le strumentazioni del pensiero scientifico più attuali: particolarmente la logica-matematica, la ricerca operativa e i computers, specie questi per le possibilità che danno di esprimere in serie cicliche autocorrettive le soluzioni probabili dei valori dei parametri e delle loro relazioni”

Moretti, L. (1971), “Ricerca matematica in architettura e urbanistica”, *Moebius*, a. IV, no.1, pp. 30-53.

³ Cfr. Lucente, R. & Canestrino, G. (2023), “Distance between theory and practice in a project by Luigi Moretti, Parametric Architecture's first theorist”, *The Journal of Architecture*. In pubblicazione.

⁴ Vedi glossario.

digitale, un'aspirazione al rinnovamento della pratica architettonica, nonché l'esecuzione della progettazione per mezzo della definizione di parametri, istruzioni e interdipendenze.

Le posizioni di Moretti, più vicine al tema del rigore scientifico, e di Schumacher, più interessate ad aspetti formali e strumentali, sono considerabili come gli estremi di possibili prassi metodologiche tra le quali le rigide teorizzazioni di entrambi gli autori lasciano spazio a processi progettuali più informali, liquidi, di difficile identificazione e ricognizione. Queste posizioni intermedie, espresse da altri autori, condividono l'orizzonte tecnico adoperato dal Parametricismo e solo auspicato dall'Architettura Parametrica, ma non sono sempre supportate da impianti critico-teorici paragonabili a quelli proposti da Moretti o Schumacher. Di fatto, però, sono queste posizioni intermedie, affermatesi a partire dagli anni 60, a definire paradigmi progettuali che prendono il nome, tra gli altri, di *Computational Design*, *Parametric Design*, *Associative Design*, *Generative Design*⁵. Ancora una volta, l'adozione della logica del digitale e la definizione delle soluzioni progettuali in termini di funzioni dipendenti da una quantità finita di parametri permettono di individuare delle continuità tra le prassi metodologiche dei citati paradigmi progettuali.

I paradigmi appena richiamati sono spesso considerati come una delle manifestazioni più estreme della tecnica del digitale nella disciplina architettonica, nonostante le loro prime applicazioni e lo sviluppo delle loro radici culturali siano precedenti alla pervasiva informatizzazione del progetto di architettura, il cui esteso impatto nella pratica progettuale è emerso solo negli ultimi trentanni⁶. Proprio a questi paradigmi, in quanto portatori dei valori di una prassi progettuale che ambisce a un suo evolvere più logico e scientifico, è non di rado affidato l'onere di traghettare la disciplina progettuale verso una ritrovata relazione armonica tra essa e la tecnica, capace di affrontare le crisi della contemporaneità con nuovi equilibri. Ma tale relazione armonica non può basarsi esclusivamente sull'ideazione di nuovi strumenti, né sul potenziamento dei mezzi esistenti e neppure sul deliberato disconoscimento delle potenzialità della tecnica. Nella progressiva complessificazione della tecnica - salutata nell'ambito del progetto di architettura con entusiasmo da Moretti così come da Schumacher - può assumere una rinnovata importanza la comprensione delle sue logiche fondanti, che

⁵ Le diverse declinazioni dei paradigmi progettuali citati sono brevemente definite nel glossario.

⁶ Cfr. Carpo, M. (ed.) (2012), *The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012*, Chichester: Wiley

sono relativamente stabili nel tempo, rispetto alle sue manifestazioni più puntuali, le quali invece appaiono cangianti anche nel breve periodo.

La presente ricerca indaga l'Architettura Parametrica, il Parametricismo e l'ampio numero di posizioni intermedie tra loro non come delle isolate determinazioni del progetto di architettura, bensì come uno spettro di opportunità e possibilità che definisce una concezione metodologica e culturale qui definita come *approccio parametrico*. Questa dizione è tesa a catturare la citata propensione a costruire le soluzioni progettuali a problemi architettonici in termini di istruzioni da eseguire e parametri da variare; ma vuole anche spostare l'attenzione verso gli atteggiamenti cognitivi che tale metodologia induce in un progettista. L'adozione del termine "approccio", il quale assume anche il significato di "*punto di vista o criterio con cui si affronta un problema o si studia un fenomeno*"⁷, esprime la convinzione di chi scrive di poter acquisire una più profonda consapevolezza metodologica nel considerare le citate posizioni teoriche e pratiche come espressione di una condizione "plurale ed eterogenea" del progetto di architettura, e non come isolati paradigmi progettuali che si limitano a condividere la strumentazione tecnica di cui si servono.

In questo complesso quadro, il problema dell'individuazione e della definizione delle caratteristiche proprie dell'approccio parametrico al progetto di architettura non può essere ridotto a una questione propedeutica a studi più specialistici. Nell'ambito di questo studio, esso è invece assunto come oggetto centrale della ricerca, nonostante non abbia ancora esaurito la sua forza innovatrice, come testimoniato dalle evoluzioni che i suoi strumenti continuano a sperimentare.

Quanto esposto finora suggerisce il bisogno e l'opportunità di condurre una ricerca che ambisca alla definizione di un sistema di conoscenze che permetta di praticare e comprendere l'approccio parametrico. Un sistema che sia capace di cogliere gli aspetti ricorrenti di questo, ma che si presti anche ad essere modificato, corretto, trasformato nel tempo e che, soprattutto, favorisca l'inevitabile processo di appropriazione con cui un progettista costruisce una sua personale narrativa progettuale. Di conseguenza, si propone il concetto di *narrativa*⁸

⁷ Garzanti (2022), 'Approccio', [Online], <https://www.garzantilinguistica.it/ricerca/?q=approccio> (Ultima consultazione: 25 marzo 2023);

⁸ Dall'inglese *narrative*: "un particolare modo di spiegare o comprendere gli eventi". Cfr. "Narrative", *Cambridge Dictionary* [online]. <https://dictionary.cambridge.org/it/dizionario/inglese/narrative> (Ultima consultazione: 04 febbraio 2023)

parametrica, con il quale si indica un particolare posizionamento nel dominio delle possibilità offerte dall'approccio parametrico, capace di riflettere al meglio l'adozione di più o meno precisi valori, obiettivi, prospettive, strumenti e tecniche nell'ambito della dimensione metodologica e culturale del progetto di architettura. L'utilità dei concetti di "approccio parametrico" e "narrativa parametrica" è da individuare nella possibilità di definire un sistema di conoscenze basato sull'intuizione di assecondare alcuni caratteri immanenti propri del paradigma progettuale oggetto di questa ricerca, cioè l'indeterminatezza, l'instabilità, la molteplicità delle sue possibili declinazioni teoriche, tecniche e operative.

Questa ricerca, quindi, ambisce ad assumere la forma di uno strumento di supporto alla costruzione e all'interpretazione di narrative parametriche, sul piano metodologico e culturale, nell'ambito del progetto di architettura.

Gli strumenti e il punto di osservazione assunti da questa ricerca sono quelli propri della Composizione Architettonica e Urbana. La volontà di indagare l'approccio parametrico attraverso la lente della composizione deriva dalla consapevolezza che una peculiarità della disciplina del progetto è la capacità di sintesi di conoscenze complesse ed eterogenee, che storicamente si è sempre autodeterminata e aggiornata con l'avanzamento del sapere tecnico a valle e a monte del progetto di architettura. Nel particolare caso dell'approccio parametrico, a causa della sua diffusione sempre più pervasiva nonché dell'adozione da parte sua di una tecnica instabile e in continua evoluzione, appare però necessario associare a questa autodeterminazione anche uno sforzo attivo nella definizione degli orizzonti culturali e metodologici offerti da questo particolare modo di praticare il progetto di architettura.

Questa ricerca propone di rispondere alle questioni e alle ambizioni qui solo anticipate attraverso la definizione e sistematizzazione della citata dimensione "eterogenea e plurale" dell'approccio parametrico, proponendo di inquadrare quest'ultimo come una particolare e precisa manifestazione della cultura architettonica. Più precisamente, la ricerca propone di

La Treccani suggerisce una maggiore correzione nella traduzione in "narrazione" anziché "narrativa". Tuttavia, la stessa Treccani riconosce la diffusione del termine "narrativa". Il neologismo "narrativa", quindi, indica una *"forma di comunicazione argomentata tesa a conquistare consensi attraverso un'esposizione che valorizzi ed enfatizzi la qualità dei valori di cui si è portatori, delle azioni che si sono compiute e si ha in programma di compiere, degli obiettivi da raggiungere"*. Tale forma di comunicazione, inoltre *"riflette al meglio la propria visione, i propri valori e i propri obiettivi"* Cfr. Treccani (2017), "Narrativa²", *Neologismi* [Online]. https://www.treccani.it/vocabolario/narrativa2_res-4c90bd90-89da-11e8-a7cb-00271042e8d9_%28Neologismi%29/ (Ultima consultazione: 04 febbraio 2023).

organizzare la conoscenza sull'approccio parametrico attraverso l'ipotesi di alcune categorie conoscitive: *visioni, invarianti, identità e codici*. Ogni categoria conoscitiva fornisce diverse possibili risposte a degli interrogativi precisi sui principi dell'approccio parametrico: *cosa è, come è attuato, da dove origina* e, infine, *cosa modifica*. A partire dalle molteplici risposte che questa ricerca traccia, indaga, ipotizza, o semplicemente indica, è possibile *comporre* i fondamenti di diverse poetiche progettuali, i cui effettivi risvolti sono solo in parte prevedibili da chi scrive.

La presente ricerca è quindi articolata in tre capitoli e un sistema di apparati.

Il primo capitolo indaga le categorie conoscitive delle visioni e delle invarianti. Le visioni annoverano le principali posizioni teoriche sottese all'approccio parametrico, quali la visione scientifica proposta nell'Architettura Parametrica di Moretti, centrata sui temi del rigore e dell'etica di derivazione scientifica, la visione stilistica proposta nel Parametricismo di Schumacher, desiderosa di sfruttare pienamente le possibilità dirompenti del software digitale, e la visione computazionale, la quale è costruita a partire da una conoscenza tecnica meno legata alla cultura della composizione architettonica. Le diverse visioni, e soprattutto le sovrapposizioni e gli aloni di indeterminatezza tra esse, indicano per il progetto di architettura diversi strumenti tecnici da utilizzare nonché diverse finalità per le quali adottare i principi dell'approccio parametrico. La categoria conoscitiva delle invarianti, invece, definisce alcune modalità con cui la forma architettonica può essere manipolata, strutturata, esplorata, valutata e ottimizzata nell'ambito dell'approccio parametrico. Le sette invarianti proposte sono definite in modo astratto, senza dichiarare un legame con particolari strumenti e senza prefigurare un orizzonte formale per il progetto di architettura. Di conseguenza, attraverso la categoria conoscitiva delle invarianti è possibile costruire alcune prassi metodologiche stabili rispetto all'inesorabile progredire della tecnica di cui si serve l'approccio parametrico e all'evoluzione degli orizzonti formali che esso permette di raggiungere.

Il secondo capitolo delinea, attraverso la categoria conoscitiva dell'identità, tre possibili origini dell'approccio parametrico: la formalizzazione, cioè la propensione a considerare la pratica architettonica come la risoluzione di un problema, la variazione, cioè la tendenza a esplorare un numero ingente di soluzioni progettuali, e infine il form-finding, cioè l'applicazione di processi che permettono la generazione di soluzioni architettoniche in

equilibrio rispetto ai requisiti e ai vincoli che esse sono chiamate a soddisfare. Per ogni identità ipotizzata sono discusse esperienze di pratica progettuale, progressi tecnici nonché posizioni teoriche - dai trattati alle fondamenta della disciplina dell'architettura fino alle più recenti innovazioni proprie del digitale - che hanno contribuito alla creazione di una tradizione metodologica e culturale per l'approccio parametrico. Le identità proposte permettono quindi la possibilità di praticare l'approccio parametrico al progetto di architettura attraverso la rielaborazione di una conoscenza stratificata e collettiva.

Il terzo capitolo discute la categoria conoscitiva dei codici, la quale delinea possibili modalità con cui la tecnica propria dell'approccio parametrico è capace di modificare alcune prassi essenziali del progetto di architettura. I codici ipotizzati comprendono la trasgressione, cioè la rottura rispetto a precisi fondamenti della disciplina progettuale, la modellazione, che indica il significato assegnabile al concetto di modello, e il contrasto, che descrive le posizioni assumibili in relazione alla dualità tra le concezioni digitali e analogiche. Con modalità antitetiche rispetto alle possibilità offerte dalla categoria conoscitiva delle identità, i codici forniscono elementi per costruire una propria poetica progettuale per mezzo della contrapposizione rispetto a una tradizione riconosciuta.

Negli apparati, a valle dell'ipotesi di sistematizzazione e organizzazione critica di alcuni saperi utili a definire una conoscenza fattiva dell'approccio parametrico – che costituisce il principale contributo teorico e critico della ricerca – si propone di applicare le categorie conoscitive ipotizzate con il fine di definire modalità di progetto utili a migliorare la sostenibilità dell'edificio. Tale operazione è assunta come lente attraverso la quale indagare tre possibili e sensibilmente differenti prassi metodologiche proprie dell'approccio parametrico, a cui corrispondono altrettante possibilità operative rispetto al miglioramento della sostenibilità del progetto di architettura. Le prassi metodologiche ipotizzate sono: un processo di tipo scientifico, derivante dalle teorizzazioni di Moretti, un processo di tipo combinatorio, caratterizzato dal concepire la forma architettonica come una sommatoria di elementi e attributi, e infine un processo di tipo *black box*, in cui la complessità della strumentazione adottata mette in crisi diversi fondamenti della disciplina progettuale. Ognuna delle applicazioni proposte è infine esposta rispetto alle particolari posizioni assunte nella loro costruzione rispetto alle categorie conoscitive delle visioni, invarianti, identità e codici precedentemente discusse. Le applicazioni proposte, quindi, sono tese a dimostrare la

possibilità di elevare la presente ricerca a strumento di supporto nella sperimentazione di modalità di progetto eterogenee tra di loro nonché nell'interpretazione dei fenomeni propri dell'approccio parametrico.

ORGANIZZAZIONE DELLA RICERCA

FONTI, METODI E STRUTTURA ADOTTATI

L'eterogeneità di quei processi di progettazione e degli esiti formali che nel tempo sono stati percepiti come affini a ciò che in questa ricerca è definito come approccio parametrico suggerisce la definizione di una strategia di ricerca aperta, capace di, come sarà successivamente discusso, assecondare il progressivo ampliamento degli aspetti affrontanti e affrontabili da questo particolare paradigma progettuale. È necessario quindi iniziare questa ricerca con una riflessione su quali fonti sia opportuno considerare per raggiungere una più profonda comprensione dell'approccio parametrico al progetto di architettura, sui metodi di ricerca adottati e, infine, sul tipo di organizzazione della conoscenza che si propone.

L'elaborazione di un sistema, capace di discernere cosa si potrebbe oggi più compiutamente considerare rientrante nell'ambito dell'approccio parametrico e cosa potrebbe ritenersi affine a un simile campo ontologico, è ostacolata dal ridotto numero di contributi teorici che sono stati capaci di impattare sulla pratica e sui metodi del progetto di architettura. È possibile, infatti, affermare che questi contributi teorici si limitano all'*Architettura Parametrica* di Luigi Moretti⁹ e al *Parametricism*¹⁰ di Patrik Schumacher. Nonostante i numerosi scritti di questi due autori, è evidentemente inopportuno costruire una visione sistemica basandosi esclusivamente su queste due posizioni. Inoltre, sarebbe solo in parte possibile catturare l'attuale eterogeneità dell'approccio parametrico, in quanto le posizioni di Schumacher appaiono più vicine al virtuosismo tecnico degli strumenti parametrici, e non di rado si interessano anche di tematiche di stile e linguaggio, mentre le posizioni di Moretti ambiscono a rinnovare il rigore scientifico con cui approcciarsi ai temi della progettazione architettonica, mantenendo però un chiaro distacco rispetto a predeterminazioni formali imposte a priori. Tra queste due posizioni è infatti possibile individuare una condizione plurale di ricerca architettonica, in cui la strumentazione parametrica si affranca da appesantimenti teorici per inserirsi in processi progettuali eterogenei sui piani formali e metodologici.

Le posizioni di Moretti e Schumacher, seppur apparentemente inconciliabili, condividono l'interesse a inquadrare l'approccio parametrico come prodotto e manifestazione di fenomeni culturali più ampi e non come mero dominio tecnico. Per questo esse sono capaci di intercettare gli aspetti etici, tecnici, sociali e formali sottesi all'approccio parametrico. In ciò

⁹ Vedi sezione di bibliografia tematica.

¹⁰ Vedi sezione di bibliografia tematica.

è possibile individuare le cause della tendenza, a volte riduttiva, a considerare l'approccio parametrico come il prodotto di un fenomeno culturale più ampio, con particolare riferimento alla rivoluzione informatica in architettura. Di conseguenza, questo studio guarda con attenzione a prodotti scientifici, come collane¹¹ e special issues¹², che già a partire dagli anni 90' hanno iniziato a delineare il contributo del digitale nella ricerca architettonica e nella pratica professionale. Queste ricerche chiariscono che ogni studio sull'approccio parametrico non può prescindere da una riflessione sul portato di figure come Gilles Deleuze, Felix Guattari, Bernard Cachè e altri autori che nel tempo sono stati avvicinati a questo particolare modo di praticare il progetto di architettura. Per comprendere, quindi, che l'approccio parametrico non è esclusivamente un fatto tecnico, ma è anche un fatto culturale, si decide di annoverare tra le fonti di questa ricerca anche gli scritti di queste figure, le cui idee hanno condotto alla necessità di una architettura che possa rendere manifesta una concezione parametrica dei suoi fenomeni. Si suggerisce, però, che oltre a questi scritti inquadrabili come fonti primarie, è altrettanto importante guardare al processo di appropriazione condotto dagli studiosi e dai professionisti dell'architettura nei confronti di queste idee, che sono state nel tempo rielaborate per essere introdotte nella pratica del progetto. Di conseguenza, questa ricerca annovera fonti che testimoniano il processo di *"architetturalizzazione"* delle figure precedentemente richiamate, termine con cui Neil Leach definisce la tendenza ad *"appropriarsi di idee provenienti da altri domini reinterpretandole in termini di forma architettonica"*¹³.

La dimensione tecnica della strumentazione parametrica potrebbe essere capace di fornire nuovi elementi per una comprensione operativa sulla pratica l'approccio parametrico nell'ambito del progetto di architettura. Di conseguenza, la manualistica del software parametrico¹⁴ e gli *index* delle principali società scientifiche in ambito CAAD¹⁵ sono considerati

¹¹ Si segnala la collana "La Rivoluzione Informatica", curata da Antonino Saggio. **Vedi sezione di bibliografia tematica.**

¹² **Vedi sezione di bibliografia tematica.**

¹³ Tradotto da: *"Architects have a history of appropriating ideas from the domain of others and reinterpreting them in terms of architectural form – a process we might call 'architecturalisation'"*.

Leach, N. (2019), "There Is No Such Thing as a Digital Building – A Critique of the Discrete", *AD - Architectural Design*, vol. 89, issue 2, pp. 136-141.

¹⁴ **Vedi sezione di bibliografia tematica.**

¹⁵ Si segnala CumInCAD, database contenente oltre 12300 pubblicazioni afferenti alle principali conferenze in ambito CAAD: ACADIA (*Association for Computer Aided Design In Architecture*); ASCAAD (*Arab Society for Computer Aided Architectural Design*), CAADRIA (*Association for Computer-Aided Architectural Design Research*

una fonte privilegiata per questa ricerca. Tuttavia, prima di allargare le fonti su cui si basa questa ricerca è necessario assumere una posizione su quale senso e quali confini immaginiamo nell'uso del definire la parola *tecnica* in relazione al progetto di architettura. La consapevolezza, confermata da numerosi studi¹⁶, che l'architettura, considerata come un processo che va dall'ideazione fino alla decostruzione, è sempre più dipendente dalle tecnologie digitali suggerisce l'inopportunità del trascurare le fonti afferenti agli strumenti che gestiscono questo rapporto tra tecnica e progettazione. Annoverare nel campo della tecnica anche la padronanza della dimensione digitale sottesa al progetto non è una operazione scontata, ma ciò permetterebbe di considerare l'approccio parametrico come una concezione in cui la tecnica è un *"luogo teorico e operativo privilegiato"*. Questa locuzione è stata già usata da Franco Purini¹⁷ in una riflessione su come l'isolamento della tecnica, con particolare riferimento alla conoscenza della costruzione, conduca a un generale impoverimento della qualità architettonica. Questa ricerca, quindi, decide di guardare anche alla manualistica tecnica degli strumenti operativi dell'approccio parametrico con lo scopo di comprendere le modifiche che questa strumentazione impone al processo progettuale in relazione alle conoscenze e ai metodi propri della composizione architettonica. La manualistica non sarà affrontata per comprendere il funzionamento di un singolo strumento, bensì per ricavare delle caratteristiche ricorrenti nell'approccio parametrico utili a definire una sua dimensione operativa in termini metodologici e di concezione del progetto di architettura.

Ciò conduce a un'ulteriore ipotesi, cioè che la strumentazione operativa dell'approccio parametrico oltre a essere eterogenea è anche molto più instabile e mutevole nel breve periodo rispetto agli strumenti di disegno tradizionali, i quali hanno potuto consolidare il loro rapporto con la cultura architettonica in un lungo orizzonte temporale. Questa ricerca quindi, nella sua parte teorica, propone un ragionamento che non è legato all'utilizzo di un particolare software parametrico ma comunque ricerca anche nella manualistica di particolari software

in Asia), eCAADe (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe), SiGraDi (Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital), CAAD futures.

CumInCAD [Online]. <http://papers.cumincad.org/> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

¹⁶ Per statistiche che dimostrano il progressivo aumento della dipendenza tra la pratica del progetto di architettura e le tecnologie digitali vedasi: AIA – American Institute of Architects (2020), *The Business of Architecture – Firm Survey Report*. [Online] aia.org/resources/6151-firm-survey-report (Ultima consultazione: 17 settembre 2022).

¹⁷ Purini, F. (2008), *La misura italiana dell'architettura*, Roma-Bari: Laterza, p. 53.

parametrici, quali *Grasshopper*, *Generative Components*, *Digital Project*, *Marionette* o *Dynamo*, una *prassi* operativa, di natura eterogenea e plurale, per l'approccio parametrico.

Tra le posizioni teoriche di Schumacher e Moretti e le posizioni più pratiche ricavabili a partire dalla letteratura tecnica della contemporanea strumentazione parametrica¹⁸ è possibile individuare delle fonti "intermedie" in quanto capaci di associare a un sapere tecnico una dimensione culturale di più ampio respiro. Queste fonti, pur non parlando sempre esplicitamente di Architettura Parametrica o di Parametricismo, si interessano ai loro strumenti con approcci provenienti dalla "cultura informatica", come nel lavoro di Robert Woodbury¹⁹ e Kostas Terzidis²⁰, ma anche con approcci provenienti dalla "cultura matematica", come nel lavoro di Jane e Mark Burry²¹. La peculiarità di questi lavori è individuabile nel presentare contemporaneamente risultati e applicazioni sperimentali insieme a riflessioni culturali e di metodo, seppur non pienamente costruite nell'ambito del dominio operativo della composizione architettonica. Per questi motivi tali lavori sono accomunati dall'essere considerati tra i contemporanei riferimenti culturali del *Computational Aided Architectural Design* (CAAD). Inoltre, per ottenere una più ampia visione sull'evoluzione dell'approccio parametrico nella progettazione architettonica, è necessario annoverare tra le fonti di questa ricerca anche il lavoro dei pionieri del CAAD nella progettazione architettonica²² come William Mitchell²³, Nicholas Negroponte e il suo "Architecture Machine Group"²⁴, Gordon Pask²⁵ e John Frazer²⁶, i quali oltre a sviluppare applicazioni e strumenti si sono anche interessati a questioni di metodo e prassi progettuale.

Le attività e i prodotti scientifici di gruppi di ricerca internazionali, sia pubblici che privati, attivi in ambito Computational Design²⁷ forniscono un ulteriore punto di vista sulle frontiere

¹⁸ Vedi sezione di bibliografia tematica.

¹⁹ Woodbury, R. (2010), *Elements of parametric design*, New York: Routledge

²⁰ Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press.

²¹ Burry, M. (2011), *Scripting cultures: architectural design and programming*, Chichester: Wiley;

Burry, J. & Burry, M. (2010), *The new mathematics of architecture*, Londra: Thames & Hudson.

²² Vedi sezione di bibliografia tematica.

²³ Mitchell, W. J. (1977), *Computer-Aided Architectural Design*, Newyork: Petrocelli/Charter.

²⁴ Negroponte, N. (1970), *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment*, Cambridge: MIT Press.

Negroponte, N. (1976), *Soft Architecture Machines*, Cambridge: MIT Press.

²⁵ Pask, G. (1969), "The Architectural Relevance of Cybernetics", in *AD – Architectural Design*, no. 7/6, pp. 494-496.

²⁶ Frazer, J. (1995), *An Evolutionary Architecture*, Londra: Architectural Association.

²⁷ I gruppi di ricerca i cui lavori sono stati consultati comprendono: Institute of Computational Design and Construction (ICD), University of Stuttgart, Block Research Group (BRG), ETH Zürich; Dynamic Assemblies Lab

dell'approccio parametrico. A partire da questi prodotti, che possono prendere la forma di monografie, curatele, paper, progetti di ricerca, software e applicativi digitali, materiale didattico e divulgativo, è possibile infatti rintracciare delle applicazioni *estremizzate*²⁸ dell'approccio parametrico in quanto mettono in discussione i principi della disciplina progettuale. Per catturare l'ipotizzata dimensione plurale ed eterogenea dell'approccio parametrico è necessario, inoltre, guardare anche a quelle applicazioni in cui la sua innovativa strumentazione non è introdotta nel progetto per perseguire sperimentazioni formali e/o tecniche. È possibile, infatti, individuare un ampio numero di casi studio in cui la strumentazione parametrica non è il luogo delle genesi dell'idea progettuale, bensì uno dei tanti *tool*, non sempre adoperati, a disposizione del progettista²⁹. Guardare a queste esperienze, quindi, permette di delineare modalità di attuazione dell'approccio parametrico che non presentano un chiaro rimando alla sua dimensione teorica.

È necessario, infine, costruire un solido inquadramento culturale per le fonti richiamate. Ciò è permesso dalla proposta di leggere l'approccio parametrico anche alla luce di precisi fondamenti della cultura progettuale e compositiva italiana annoverando come fonti contributi di autori quali Bruno Zevi³⁰, Franco Purini³¹, Vittorio Gregotti³², e internazionale richiamando posizioni di autori quali Sigfried Giedion³³ e Kenneth Frampton³⁴. Questa volontà è arricchita dall'ipotesi di guardare all'approccio parametrico anche attraverso la lente della "cultura digitale", discussa in architettura da autori quali Antoine Picone³⁵ e Mario Carpo³⁶, e

(DAL), Singapore University of Technology and Design, Zaha Hadid Architects CODE (ZHA CODE), Gehry Technologies.

²⁸ Canestrino, G. (2021). "PROTOARCHITETTURE DIGITALI. Innovazione e trasgressione nei pavilion", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10, pp. 88-109.

²⁹ **Vedi sezione di bibliografia tematica.**

³⁰ Zevi, B. (1973). *Il linguaggio moderno dell'architettura. Guida al codice anticlassico*. Torino: Einaudi.

³¹ Purini, F. (2008), *La misura italiana dell'architettura*, Roma-Bari: Laterza.

³² Gregotti, V. (2018), *Il territorio dell'architettura*, 4° ed., Milano: Feltrinelli.

³³ Giedion, S. (1959), *Space, time and architecture. The growth of a new tradition*, 3° ed., Harvard University Press: Cambridge.

³⁴ Frampton, K. (1995), *Studies in Tectonic Culture. The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture*, MIT Press: Cambridge

³⁵ Picon, A. (2010), *Digital Culture in Architecture. An introduction for the design professions*, Basilea: Birkhäuser.

³⁶ Carpo, M. (2011), *The alphabet and the algorithm*, Cambridge: MIT Press.

Carpo, M. (ed.) (2012), *The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012*, Chichester: Wiley.

Carpo, M. (2017), *The second digital turn: design beyond intelligence*, Cambridge: MIT Press.

più in generale della “filosofia del digitale”, con particolare riferimento alle posizioni di Luciano Floridi³⁷ e Maurizio Ferraris³⁸.

Le fonti richiamate finora costituiscono l’orizzonte teorico e pratico di cui si nutre questa ricerca e sono da considerare come sottese all’elaborazione di ogni capitolo. Costituiscono cioè parte del *melting pot* di esperienze e posizioni che convivono nell’approccio parametrico al progetto di architettura. Nell’ambito di ogni singolo capitolo, inoltre, saranno indicate quelle ulteriori fonti utili a supportare i diversi temi di indagine successivamente individuati.

L’eterogeneità delle fonti considerate in questo studio comporta la molteplicità dei metodi di ricerca adottati, la quale è manifesta nelle forme di acquisizione della conoscenza adoperate nonché nelle forme adottate per la sua organizzazione e comunicazione. Più precisamente, per ogni categoria conoscitiva individuata è proposta una sua tassonomia, cioè una classificazione gerarchica di concetti che sia al contempo regola e principio stesso della classificazione. I risultati delle più puntuali ricerche che popolano la citata tassonomia sono ottenuti, a titolo di esempio, per mezzo di *literature reviews*, di ricerca archivistica, di lettura del materiale iconografico del progetto di architettura, di attività ricostruttive e applicando le nozioni dell’archeologia del software. La validità del sistema di conoscenze proposto è testata, nel sistema degli apparati, utilizzando il metodo del “benchmark”, cioè attraverso la costruzione di casi applicativi capaci restituire feedback sulla qualità di prodotto e, soprattutto, sulla qualità di processo delle metodologie progettuali proposte.

I risultati ottenuti sono presentati nella forma di un prodotto di ricerca che ambisce a ipotizzare una struttura sistemica per la conoscenza dell’approccio parametrico in architettura. La struttura sistemica è al contempo essa stessa uno strumento e un metodo di ricerca che presenta una importante tradizione ma, come recentemente riconosciuto da Ferraris, rappresenta una forma di pensiero caduta in disuso nonostante essa possa essere considerata “*la sola alternativa alla totalità negativa del frammento*”³⁹. Secondo chi scrive, è utile ricondurre le possibilità dell’approccio parametrico a una ricostruzione sistemica in quanto questa strutturazione del pensiero costringe, continuando a utilizzare le parole di

³⁷ Floridi, L. (2012), *La rivoluzione dell’informazione*, Torino: Codice edizioni.

Floridi, L. (2014), *La quarta rivoluzione. Come l’infosfera sta cambiando il mondo*, Milano: Raffaello Cortina Editore.

³⁸ Ferraris, M. (2021), *Documanità. Filosofia del nuovo mondo*, Roma: Laterza.

³⁹ Ferraris, M., *Documanità. Filosofia del nuovo mondo*, p. XV.

Ferraris, all’*“adozione di una forma, aperta e modulare quanto si vuole, ma una forma”*⁴⁰ intorno alla quale organizzare la conoscenza su un tema preciso.

Il sistema sviluppato - basato sulle già definite categorie conoscitive delle visioni, invarianti, identità e codici - non si configura come un prodotto finito, bensì come uno strumento conoscitivo e operativo aperto, utilizzabile da un progettista per costruire una personale narrativa di interazione con la strumentazione parametrica, e più in generale, con quelle manifestazioni più specialistiche della cultura digitale in architettura.

In definitiva, questa ricerca ipotizza un palinsesto nel quale poter costruire una personale posizione, conoscitiva e operativa, rispetto all’introduzione di tematiche affini all’approccio parametrico nel progetto di architettura.

⁴⁰ Ferraris, M., *Documanità. Filosofia del nuovo mondo*, p. XV.

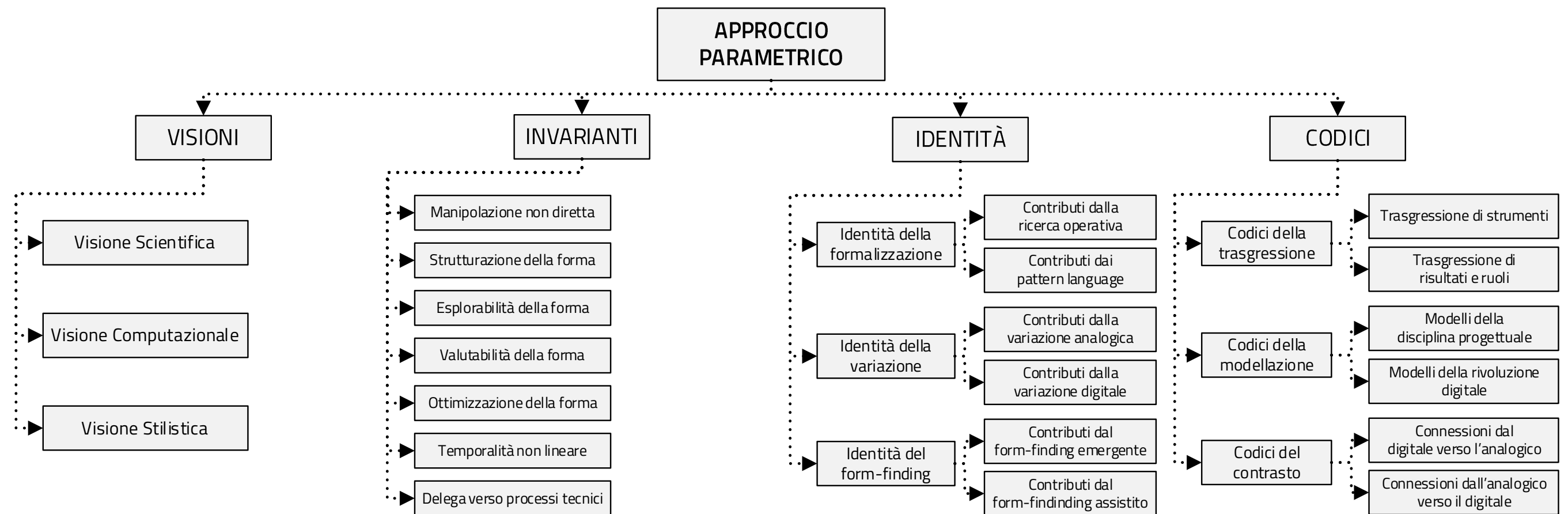


Fig. 1. Tassonomia proposta per l'organizzazione della conoscenza sull'approccio parametrico.

CAPITOLO 1

LA CONCEZIONE PARAMETRICA NEL PROGETTO DI ARCHITETTURA

Un'ipotesi di definizione delle sue visioni e invarianti

Abstract

Architettura Parametrica, Parametricismo, modellazione parametrica, computational design e design algoritmico sono parte dei nomi con cui si indicano dei determinati modi di gestire la pratica del progetto di architettura, i quali oggi hanno assunto una posizione centrale nel dibattito architettonico anche a causa del serrato dialogo che essi instaurano con alcuni tipi di strumenti digitali.

Questi nomi, nel senso comune, fanno riferimento all'idea di generare la forma architettonica a partire dalla definizione di un suo codice sorgente, prettamente di natura digitale, che può prendere la forma di un algoritmo, uno script o, più in generale, delle istruzioni. In realtà, le fonti che per prime hanno delineato le caratteristiche teoriche e operative di queste modalità di progetto individuano per esse dei connotati divergenti rispetto, a titolo di esempio, alle modalità di sintesi della forma, ai ruoli assegnati al progettista e alla tecnica di cui si servono.

In questo capitolo si propone, propedeuticamente, di tracciare e discutere tre principali visioni intorno alle quali organizzare la conoscenza delle concezioni e delle posizioni esistenti su questi particolari modi di gestire il progetto di architettura. Successivamente, si ipotizzano, nella forma di sette invarianti, degli aspetti operativi comuni alle tre visioni capaci di catturare le loro modalità di sintesi, manipolazione, e controllo della forma architettonica.

L'operazione condotta rappresenta un primo tassello per poter delineare la concezione parametrica del progetto di architettura in termini di approccio, inteso come atteggiamento con cui è possibile è affrontare la disciplina progettuale all'interno del quale annoverare posizioni presentanti aspetti di continuità e, contemporaneamente, di divergenza.

Abstract

Parametric Architecture, Parametricism, Parametric Modelling, Computational Design and Algorithmic Design are some of the names given to certain ways of handling the practice of architectural design, which today have also taken a pivotal position in the architectural debate due to the close dialogue they establish with certain types of digital tools.

These names, in the usual sense, refer to the idea of generating architectural form by defining a digital source code, which may take the form of an algorithm, a script or a set of instructions. Actually, the sources that first outlined the theoretical and operational characteristics of these design approaches identify divergent features for them concerning, for example, how the form is synthesised, the roles assigned to the designer and the tools used.

In this chapter, it is proposed to outline and discuss three main visions around which to organise the knowledge of existing conceptions and positions on these particular ways of handling architectural design. Subsequently, operational aspects common to the three visions are hypothesised in the form of seven invariants, capturing their modes of synthesis, manipulation, and control of architectural form.

The operation undertaken represents a first step towards outlining the parametric conception of architectural design in terms of an approach, understood as an attitude with which it is possible to tackle the design discipline within which to include positions presenting aspects of continuity and, at the same time, divergence.

La progressiva diffusione delle tecnologie digitali nel processo progettuale ha influenzato, a partire dalla seconda metà del 900, gli esiti formali dell'architettura, ma anche i metodi, le procedure, gli strumenti e le conoscenze impiegati per la loro ideazione, valutazione e validazione determinando senza dubbio una progressiva rivoluzione nella cultura del progetto di architettura. Tra le tecnologie digitali più dirompenti, e anche dirimenti, vi sono certamente gli strumenti affini all'approccio parametrico. Essi sono infatti percepiti come una estremizzazione della dimensione digitale nel progetto di architettura, e proprio in quanto estremizzazione in essi è possibile scorgere le caratteristiche di quel *pensiero algoritmico* che ormai ha superato i limiti dell'informatica plasmando un numero crescente di fenomeni della contemporaneità

Acquisire una visione sistemica e sintetica delle conoscenze sull'approccio parametrico potrebbe dunque condurre a un dialogo più consapevole e cosciente con le tecnologie digitali, a beneficio anche di quegli approcci progettuali che utilizzano in vario modo strumentazioni informatiche apparentemente lontane dalla concezione parametrica. Questa ambizione, tuttavia, è ostacolata da una difficoltà intrinseca nel parlare dell'approccio parametrico che ha radici nel problema della sua definizione. Questa visione del progetto di architettura, infatti, appare costretta a subire l'ambiguità e l'indeterminatezza propria del termine *parametro*. Tuttavia, iniziare questa ricerca su una riflessione sull'etimologia della parola *parametro*⁴¹ potrebbe essere fuorviante giacché si tratta di un termine che ha subito un processo di appropriazione da parte di diverse discipline tecniche, le quali ne hanno, a volte, mutato profondamente il significato.

Per altro verso, affrontare il significato della parola *parametro* all'interno delle diverse discipline nelle quali è adoperata rischia di alimentare la sua già citata ambiguità.

⁴¹ Dal francese paramètre composizione di *parà* (presso, accanto, oltre) con significato di "somiglianza e affinità" e *metre* con significato di misura. Cfr. Garzanti (2022), 'Parametro', [Online], <https://www.garzantilinguistica.it/ricerca/?q=parametro> (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022); Treccani (2003), "Parametro", *Sinonimi e contrari* [Online]. https://www.treccani.it/vocabolario/parametro_%28Sinonimi-e-Contrari%29/ (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022).

Per l'etimologia e il significato del termine "parametro" nel lessico architettonico si suggerisce: Capozzi, R. (2020), "Contro il parametricismo", *Op.cit., selezione della critica d'arte contemporanea*, no. 169, pp. 36-44.

Costante arbitraria di un sistema in matematica⁴², indirizzo di memoria in attesa di un valore in informatica⁴³, quantità relativa a una popolazione in statistica⁴⁴, criterio di giudizio nel linguaggio comune⁴⁵ e molto altro ancora. Si tratta di una ambiguità che non riguarda esclusivamente la lingua italiana: già negli anni 80 il grammatista James Kilpatrick⁴⁶ rintracciava un processo di contaminazione del termine *parametro* a causa della sua vicinanza a significati generici come variabilità, fattore, interazione, misura, quantità, qualità, causa, effetto, alterazione, modificazione, computazione. Non è un caso, quindi, che sia possibile individuare questa ambiguità e indeterminatezza sin nella prima, storica, definizione dell'“Architettura Parametrica” fornita Luigi Moretti, nella quale viene richiamata la considerazione di “*parametri logico-matematici, fisici, elettronici, biologici, psicologici, sociologici, economici*”⁴⁷ nel processo della progettazione.

⁴² “A variable that is to take different values, thereby giving different values to certain other variables”. Clapham, C. & Nicholson, J. (2009), “Parameter”, in Clapham, C. & Nicholson, J. (eds.), *The Concise Oxford Dictionary of Mathematics*, Oxford: Oxford University Press.

⁴³ “Information passed to a subroutine, procedure, or function”. Butterfield, A., Ngodi, G. E., Kerr A. (2016), “Parameter”, in Butterfield, A., Ngodi, G. E., Kerr A. (eds.), *A Dictionary of Computer Science*, Oxford: Oxford University Press.

⁴⁴ “A parameter for a population is some quantity that relates to the population”. Clapham, C. & Nicholson, J. (eds.), *The Concise Oxford Dictionary of Mathematics*.

⁴⁵ “concetto che sta alla base di una valutazione: giudicare la situazione secondo p. diversi”

Treccani (2003), “Parametro”, *Sinonimi e contrari* [Online]. https://www.treccani.it/vocabolario/parametro_%28Sinonimi-e-Contrari%29/ (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

⁴⁶ Scrive Kilpatrick: “with no apparent rationale, not even a hint of reasonable extension of its use in mathematics, parameter has been manifestly bastardized, or worse yet, wordnapped into having meanings of consideration, factor, variable, influence, interaction, amount, measurement, quantity, quality, property, cause, effect, modification, alteration, computation, etc., etc. The word has come to be endowed with ‘multi-ambiguous non-specificity’. Parameter has come to mean anything that does or could have some sort of relationship to something else, a truly sloppy, non-substantial, omni-definies generic substitute for a multitude of valid words that have precise meanings” (trad.: “senza alcuna logica apparente, nemmeno un accenno di ragionevole derivazione dal suo uso in matematica, il termine parametro è stato palesemente imbastardito o, peggio ancora, trasformato nel significato di considerazione, fattore, variabile, influenza, interazione, quantità, misura, quantità, qualità, proprietà, causa, effetto, modificazione, alterazione, calcolo, ecc. La parola è stata dotata di una “non-specificità multi-ambigua”. Parametro è arrivato a significare qualsiasi cosa che faccia o possa avere una qualche relazione con qualcos'altro, un sostituto generico davvero sciatto, non sostanziale e onnicomprensivo di una moltitudine di parole valide che hanno significati precisi”)

Kilpatrick, J. (1984), “Parameter”, in Kilpatrick, J., *The Writer's Art*, Kansas City : Andrews, McMeel & Parker, pp. 210-2012.

⁴⁷ Luigi Moretti (1968), “Parametrica Architettura”, in Portoghesi, P. (ed.), *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*, Roma: Istituto Editoriale Romano, p.377.

Per la corrispondenza tra Luigi e Moretti in merito alla scrittura della voce di dizionario vedasi:

Roma, Archivio Centrale dello Stato, Fondo Luigi Moretti (Citazioni successive ACS), busta no. 96.

Si riporta la definizione integrale:

“Metodo di progettazione secondo parametri logico-matematici, fisici, elettronici, biologici, psicologici, sociologici, economici, proposto dall'archit. Luigi Moretti (v.) nell'ambito dell'Istituto Nazionale di Ricerca Matematica e Operativa (I.R.M.O.U., fondato nel 1957 a Roma). Il programma dell'a.p. è illustrato in una mostra

Per risolvere il problema linguistico dunque connesso all'utilizzo del termine *parametro*, Kilpatrick suggeriva di limitare il suo uso esclusivamente all'ambito matematico. In architettura, tuttavia, una rinuncia all'uso del termine parametro, e del suo derivato parametrico, appare oggi improbabile, in quanto si può ritenere che già esista un certo repertorio di forme, metodi e strumenti del progetto percepiti come propri dell'approccio parametrico. Più precisamente, proponendo una semplificazione, è possibile affermare che sul piano formale sono comunemente percepiti come affini all'approccio parametrico la variazione e articolazione armonica dei singoli morfemi di un insieme architettonico⁴⁸, così come la gestione di morfologie *bloboidali*⁴⁹.

Se i tentativi di parlare di approccio parametrico al progetto di architettura a partire dalle sue manifestazioni formali sono sicuramente utili, essi però non sono pienamente efficaci, in quanto la strumentazione propria dell'approccio parametrico può essere usata anche per pervenire a forme architettoniche lontane da ciò che oggi è comunemente percepito come affine ad esso. Inoltre, la storia dell'architettura è ricca di esempi in cui complesse morfologie sono state progettate con strumentazioni ben lontane da ciò che riteniamo vicino all'approccio parametrico.

Se si guarda al piano metodologico e strumentale, invece, con una ulteriore semplificazione, è possibile affermare che la generazione della forma architettonica, o di una sua parte, attraverso l'uso di procedure come algoritmi, codici di programmazione, istruzioni testuali ma anche attraverso l'uso di modelli fisici sia percepita una applicazione dell'approccio parametrico. Al contrario, parlare di approccio parametrico a partire dai suoi

alla XII Triennale di Milano curata da L. Moretti con la collaborazione scientifica del gruppo di B. De Finetti, con grafici, modelli ed applicazioni in atto. L'.a.p. si propone di superare l'empirismo e il formalismo per impiegare le possibilità logiche e strumentali offerte dal pensiero scientifico moderno. Il metodo di ricerca operativa applicato all'architettura e all'urbanistica veniva semplificato nella mostra con l'elaborazione dei seguenti temi: stadi per il calcio, il nuoto, il tennis, sala cinematografica (parametro fondamentale: equiappetibilità visiva; habitat; carrozzerie in genere; studio del traffico e delle sue variazioni; programmazione e pianificazione urbanistica."

⁴⁸ Sulle morfologie che gli studenti di un corso di Architettura e Composizione Architettonica percepiscono più affini al parametrico vedasi: Canestrino, G., Miraglia, S., Perri, G. & Lucente, R. (2021). "Parametric Strategies in an Architectural Design Workshop". In Gomez, P. Z. and Braida, F. (eds.), *Design Possibilities - XXV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Virtual Conference, 8-12 November 2012. São Paulo: Blucher, pp. 511-522. doi:10.5151/sigradi2021-115

Per le morfologie più frequentemente associate all'utilizzo della strumentazione parametrica in architettura vedasi: Schumacher, P. (2009). "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design", *Architectural Design*, no. 79(4), pp. 14-23.

⁴⁹ John K. Waters (2003), *Blobitecture: Waveform Architecture and Digital Design*, Beverly: Rockport.

peculiari strumenti rischia di condurre a risultati fragili in quanto legati all'evoluzione della tecnica, la quale, nel caso della strumentazione propria dell'approccio parametrico, si è mostrata capace di progredire significativamente in orizzonti temporali brevi.

L'indeterminatezza dell'approccio parametrico non riguarda solo *cosa è parametrico*, ma anche i suoi confini e affinità con alcuni approcci al progetto con cui condivide la strumentazione, come il Computational Design e il Computer Aided-Architectural Design (CAAD). Inoltre, appare evidente come la strumentazione affine all'approccio parametrico possa essere introdotta nel progetto con molteplici livelli di rigosità e per ricercare diverse finalità, come l'esplorazione formale, l'ottimizzazione della forma o la gestione dei processi decisionali.

Questa ricerca, quindi, muove dall'ipotesi che l'approccio parametrico assume oggi una condizione *plurale ed eterogenea* che si manifesta in diversi livelli del progetto di architettura quali i suoi possibili esiti formali, le strumentazioni utilizzate, le metodologie progettuali adottate, le competenze richieste⁵⁰. In questo complesso quadro, si rende quindi necessaria una riflessione su un nuovo modo per *parlare* di Architettura Parametrica, che sia capace di non ignorarne i caratteri di *ambiguità* e *indeterminatezza* e che ponga al centro la sua condizione plurale ed eterogenea.

In questo capitolo si propone una discussione sulle tre principali visioni dell'approccio parametrico nel progetto di architettura: l'"Architettura Parametrica" di Luigi Moretti, la quale propone di affrontare il progetto con un rigore e un'etica di derivazione scientifica, la dimensione computazionale, nella quale si affida alle tecnologie digitali un ruolo attivo nella pratica del progetto e, infine, il "Parametricismo" di Patrik Schumacher, il quale associa ipotesi metodologiche e formali agli strumenti propri della dimensione computazionale. Dopo aver tracciato i caratteri di affinità e divergenza tra queste tre visioni si ipotizzano delle invarianti delle modalità con cui l'approccio parametrico gestisce la forma architettonica. Come sarà successivamente discusso, è possibile guardare al complesso di visioni e invarianti proposte per la costruzione di una personale narrativa di avvicinamento all'approccio parametrico.

⁵⁰ Per approfondire, vedi sezione di bibliografia tematica su casi studio, pratica professionale e ricerche.

1.1. VISIONE SCIENTIFICA. L'ARCHITETTURA PARAMETRICA DI LUIGI MORETTI

Ogni ragionamento su cosa sia l'approccio parametrico nel progetto di architettura deve necessariamente partire dalle posizioni di Luigi Moretti e dalla sua teorizzazione dell'"Architettura Parametrica". L'intuizione alla base dell'Architettura Parametrica può essere rintracciata in due differenti articoli pubblicati dall'architetto romano sulla rivista *Spazio* da lui diretta: *Struttura come forma*⁵¹ e *Forma come Struttura*⁵². Ma è nella *Mostra di Architettura Parametrica e di Ricerca Matematica e Operativa del 1960*⁵³, a cura di Luigi Moretti e dell'Istituto Nazionale di Ricerca Matematica e Operativa per L'urbanistica (I.R.M.O.U.), che essa viene presentata come una disciplina matura in attesa delle giuste condizioni per essere introdotta nella pratica del progetto di architettura.

Moretti sviluppa la sua Architettura Parametrica a seguito di una forte critica nei confronti dell'assenza di rigore scientifico nella progettazione architettonica. Egli riconosce come questa sia troppo spesso praticata attraverso processi empirici⁵⁴ che si affidano alla reiterazione di soluzioni note o, peggio, improvvisate. Di conseguenza, la progettazione architettonica per Moretti ignora le opportunità del moderno pensiero scientifico, non riuscendo a coglierne le innovazioni che spesso sono viste come lo sviluppo di nuovi materiali o tecnologie⁵⁵. Moretti, quindi, costruisce la teoria della sua Architettura Parametrica dando una minore enfasi alle innovazioni tecniche (pur riconoscendone l'importanza), preferendo quelle ricerche capaci di condurre allo sviluppo di una struttura logica nel pensiero architettonico. Da qui deriva l'entusiasmo per la ricerca operativa⁵⁶ e la teoria dei giochi, in quanto strumenti capaci di supportare le decisioni del progetto di architettura, e per l'uso di equazioni matematiche, in quanto capaci di controllare quantitativamente le analisi progettuali alla base dei progetti esposti nella mostra.

⁵¹ Moretti, L. (1951), "Struttura come Forma", *Spazio*, no. 6, pp. 21-30; 110.

⁵² Moretti, L. (1956) "Forma come Struttura", *Spazio*, estratti. Già pubblicato come: Moretti, L. (1954), "Structure comme forme" (Structure as Forme)", *United States Lines Paris Review*. Successivamente tradotto interamente: Moretti, L. (1957), "Form as Structure", *Arena*.

⁵³ Moretti, L. & I.R.M.O.U. (eds.) (1960), *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, Milano: Arti grafiche Crespi.

⁵⁴ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 7.

⁵⁵ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 7.

⁵⁶ Cfr. Viati Navone, A. (2010), "Un nuovo linguaggio per il pensiero architettonico". Ricerca operativa e architettura parametrica", in Reitchin B. & Tedeschi L. (eds.), *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività fra barocco e informale*, Milano: Electa, pp. 409-419.

È opportuno chiarire che nella trattazione di Moretti il termine parametro assume caratteristiche di ambiguità e non-specificità in quanto il suo significato travalica la sfera numerica e matematica. Moretti usa il termine parametro per riferirsi a tutti gli elementi, e alle loro relazioni, che influenzano la progettazione architettonica: la valutazione quantitativa dei fattori topografici e climatici, gli aspetti psicofisiologici degli utenti (come campo visivo ottimale e sicurezza percepita) e le relazioni tra lo spazio e la funzione rientrano in ciò che Moretti considera parametro⁵⁷, in modo analogo agli aspetti qualitativi, descrittivi, imprecisi e ad *libitum* che persistono nella pratica progettuale⁵⁸.

Il catalogo della mostra, quindi, chiarisce che l'Architettura Parametrica ambisce a posizionare la pratica architettonica, sia alla scala dell'edificio che alla scala urbana, al centro della contemporanea cultura scientifica. Nello schema proposto nel catalogo, poi ripubblicato, 10 anni più tardi, su Moebius⁵⁹, Moretti dichiara che l'Architettura Parametrica è attuata attraverso 8 punti:

1. IL RIFIUTO DELLE DECISIONI EMPIRICHE O DELLE DECISIONI ASSUNTE PER ANALOGIA O PER ITERAZIONE DI MODI TRADIZIONALI (ANTICHI O MODERNI);
2. LA VALUTAZIONE DEI FENOMENI TRADIZIONALI QUALI FATTI OBIETTIVI, PRESENTI E, QUINDI, IN FUNZIONE DEL SISTEMA DI INTERDIPENDENZA DEI VALORI (TECNICI, ESPRESSIVI, SOCIALI, ECC.);
3. LA DEFINIZIONE ESATTA DEI TEMI
4. LA OSSERVAZIONE OBIETTIVA DI TUTTI GLI ELEMENTI CONDIZIONANTI (PARAMETRI) RELATIVI A QUESTI FENOMENI E LA INDIVIDUAZIONE DEI LORO VALORI QUANTITATIVI;
5. LA DEFINIZIONE DELLE RELAZIONI TRA LE GRANDEZZE DIPENDENTI DAI VARI PARAMETRI;
6. LA INDISPENSABILITÀ DELL'APPORTO DELLE VARIE COMPETENZE E QUINDI DELLE VARIE METODOLOGIE SCIENTIFICHE, SECONDO I CRITERI DELLA RICERCA OPERATIVA, NELLA DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI CONDIZIONANTI E DELLE RELAZIONI TRA LE LORO GRANDEZZE

⁵⁷ Per un elenco esaustivo dei parametri coinvolti per la progettazione di uno stadio vedasi: Moretti, L. (1971), "Ricerca matematica in architettura e urbanistica", *Moebius*, a. IV, no.1, pp. 30-53.

⁵⁸ Moretti, L., "Struttura come Forma".

⁵⁹ Moretti, L., "Ricerca matematica in architettura e urbanistica"

7. LA AFFERMAZIONE DELLE LIBERTÀ DI DECISIONE E DI ESPRESSIONE DELL'ARCHITETTO, SEMPRE CHE NON INCIDA NEI CARATTERI STRUTTURALI DELLE AREE DEL FENOMENO DETERMINATE DALLE INDAGINI ANALITICHE
8. L'INDIRIZZO DELLE FORME ARCHITETTONICHE VERSO UNA MASSIMA, E QUINDI DEFINITIVA, ESATTEZZA DI RAPPORTI NELLA LORO STRUTTURA GENERALE⁶⁰

Sempre secondo Moretti, l'Architettura Parametrica si implementa tramite i seguenti passi⁶¹:

1. DEFINIZIONE DEL TEMA;
2. INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI INTERFERENTI NEL TEMA;
3. DEFINIZIONE DELLE RELAZIONI ANALITICHE TRA LE GRANDEZZE DIPENDENTI DAI VARI PARAMETRI.

Dal catalogo, quindi, emerge chiaramente che l'Architettura Parametrica si pone come un "richiamo all'ordine" per il progetto di architettura. L'identificazione, quantificazione e correlazione dei parametri del progetto, locuzione con la quale Moretti si riferisce contemporaneamente ai vincoli progettuali, agli obiettivi da soddisfare e alle decisioni del progettista, sono considerati come una attività propedeutica all'azione progettuale. Ne deriva che l'Architettura Parametrica è implementata approcciando la pratica progettuale in uno stato di "verginità intellettuale"⁶² da cui deriva il bisogno della tabula rasa e l'inconvenienza di ogni *bias* che potrebbe condizionare lo sviluppo logico del progetto.

Le applicazioni mostrate alla Triennale, che saranno oggetto di illustrazione e approfondimento nel sistema degli apparati, rappresentano un esempio di come le teorie di Moretti possono essere applicate nel progetto di architettura, anche se egli afferma di aver attuato una serie consistente di semplificazioni nei casi studio proposti. Con l'aiuto di Bruno

⁶⁰ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 11.

⁶¹ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 11.

⁶² Trascrizione del dibattito 'Structures, Mathématiques, Architecture Contemporaine', Moretti, L., Musmeci, S., Plebo, A., Zevi, B. & Portoghesi, P., 23 novembre 1964, Roma. Cfr. ACS busta no. 42.

De Finetti e dell'IRMOU, Moretti costruisce per i 4 temi oggetto di studio⁶³ delle equazioni matematiche che assegnano per ogni punto dello spazio, individuato da una coppia di variabili, una misura della qualità visiva rispetto a un particolare evento. Queste equazioni, quindi, non restituiscono la forma architettonica, bensì delle informazioni su cui basare le successive fasi progettuali. Di fatto, le applicazioni della triennale mostrano come l'Architettura Parametrica possa essere utilizzata per avviare una istruttoria della forma architettonica. In ogni caso, è possibile rilevare che queste applicazioni sono distanti dall'idea della generazione della forma architettonica attraverso il progetto di una procedura, il quale è un processo sicuramente più vicino alle contemporanee declinazioni operative dell'approccio parametrico. Nonostante ciò, guardando alla parte teorica della trattazione di Moretti, si può riconoscere come la sua Architettura Parametrica abbia anticipato, spesso in forma di intuizioni, diverse tematiche del parametrico contemporaneo. Le equazioni della Triennale appaiono molto vicine all'odierna concezione di *fitness function*, le quali restituiscono una misura dell'efficienza di una soluzione progettuale e sono alla base dei processi di ottimizzazione spesso condotti sui modelli parametrici. Le ottimizzazioni, inoltre, sono già presenti nella trattazione di Moretti a causa dei suoi continui rimandi alla ricerca operativa, disciplina a cui egli affidava il compito di gestire i processi decisionali del progetto. L'idea di *objectile*, riguardante le diverse manifestazioni che può assumere una idea progettuale, è un concetto anticipato da Moretti nei suoi lunghi riferimenti alle 'geometrie affini' di D'Arcy Thompson⁶⁴, come testimoniato dal continuo uso delle immagini dello studioso scozzese nei suoi articoli⁶⁵. L'inedito uso del calcolatore in architettura anticipa quella prossimità tra il parametrico e il digitale che oggi appare quasi inscindibile. Infine, l'idea di forma generata attraverso la concatenazione di relazione è sfiorata da Moretti in ciò che egli chiama "*catene di differenze*"⁶⁶, una parte della sua ricerca che rimane oggi affrontata solo superficialmente.

Affinché si possa inquadrare l'Architettura Parametrica di Moretti non solo come una teoria ma anche come un approccio alla pratica progettuale è necessario interrogarsi sul prodotto derivante dall'applicazione dei principi dell'Architettura Parametrica. Moretti

⁶³ I casi studio sono: Stadio per il calcio M, Stadio per il calcio N, Stadio per il nuoto A, Stadio per il nuoto B, Stadio per il Tennis, Sala per Cinema.

⁶⁴ Thompson, D. W. (1945), *On growth and form*, Cambridge: University Press.

⁶⁵ Cfr.: Moretti, L. (1954), "Structure comme forme" (Structure as Forme)", *United States Lines Paris Review*; Moretti, L. (1971), "Ricerca matematica in architettura e urbanistica", *Moebius*, a. IV, no.1, pp. 30-53.

⁶⁶ Moretti, L., "Forma come Struttura".

chiarisce che l'output dell'Architettura Parametrica dipende dalla complessità, dalla natura e dal numero di parametri coinvolti e considerati nella progettazione⁶⁷: se i parametri sono limitati nel numero e possiedono caratteristiche ben determinate, la progettazione può esser compiuta per 'deduzione' con un rigoroso processo scientifico in quanto la variabilità a cui è soggetta la forma architettonica è minima; se i parametri sono numerosi e di difficile definizione l'approccio parametrico può condurre verso una forma approssimata, chiamata da Moretti "*pre-forma latissima*"⁶⁸, da assumere come base per il successivo avanzamento della progettazione. È proprio grazie al concetto di "pre-forma" che può emergere ciò che Moretti definisce "*canto lirico personale*", inteso come la libertà espressiva e formale del progettista, il quale deve manifestarsi senza contraddire le logiche ricavate con rigore scientifico muovendosi tra gli "*aloni probabilistici*" delle "*soluzioni rigorose*".

Nonostante l'intensa attività teorica sull'Architettura Parametrica, Moretti nel 1965 dichiara di aver preso in considerazione nella pratica professionale un numero limitato dei principi metodologici delle sue ricerche⁶⁹. Concentrandosi sulla scala dell'edificio, è possibile affermare che i progetti associabili alla concezione parametrica includono i tentativi di rinnovare morfologie e tipologie consolidate, come nel caso del piazzale delle adunate al Foro Mussolini (1936), lo stadio Olimpico (1937-1940), il Gran Teatro dell'EUR (1938-1942), le numerose soluzioni per l'arena dell'Accademia Nazionale di Danza (1950-1969)⁷⁰, la proposta di "*trasformare il concetto di parco alle sue radici*" per il complesso olimpico di Tehran (1966). Trattasi di opere, la cui prossimità rispetto alle applicazioni di Architettura Parametrica presentate alla Triennale di Milano sarà discussa nel sistema degli apparati, che in larga parte non hanno incontrato la fortuna della costruzione e che sono perciò rimaste relegate allo stato di progetti, studi e proposte. Casi isolati di progetti costruiti associabili al parametrico sono il parcheggio sotterraneo di Villa Borghese (1966), il cui funzionamento è basato su uno schema

⁶⁷ Moretti, L., "Struttura come Forma".

⁶⁸ Moretti, L., "Struttura come Forma".

⁶⁹ Moretti, L. (1965), "Architecture 1965: Évolution ou Révolution. Réponses au Questionnaire", *L'Architecture d'Aujourd'hui*, no. 119, pp. 48-51.

⁷⁰ Viati Navone, A., "Un nuovo linguaggio per il pensiero architettonico". Ricerca operativa e architettura parametrica".

di funzionamento matematico-operativo⁷¹, e le terme di Fiuggi (1963-1970)⁷², le quali sono in continuità con il registro formale mostrato nelle sperimentazioni della Triennale.

La visione di Architettura Parametrica proposta da Moretti non riuscì ad affermarsi nella cultura nazionale e internazionale del progetto. Si può, addirittura, riconoscere come diverse ricerche interessate all'approccio parametrico ignorino, o comunque dedichino uno spazio estremamente ridotto, al pensiero di Moretti.

1.2. VISIONE COMPUTAZIONALE. LE DEFINIZIONI VICINE AL COMPUTER AIDED-ARCHITECTURAL DESIGN

Dopo circa 80 anni dalle prime teorizzazioni, si può affermare che ciò che oggi è percepito come affine all'approccio parametrico è molto eterogeneo e non necessariamente legato all'idea di rigore scientifico nella pratica progettuale proposta nell'Architettura Parametrica di Moretti. Le ricerche sull'approccio parametrico possono essere più vicine ai problemi dello stile, del linguaggio, del repertorio formale e del metodo progettuale, come esemplificato nel Parametricism di Patrik Schumacher, oppure possono interessarsi agli aspetti tecnici dell'applicazione della *modellazione parametrica* al progetto di architettura.

Esse sono due posizioni che non sono inconciliabili in quanto si può affermare, come riconosciuto dallo stesso Schumacher⁷³, che i progressi tecnici della strumentazione parametrica hanno fornito la materia prima alla base del dibattito teorico. A partire da questa visione tecnica, è possibile riconoscere che l'approccio parametrico può riferirsi a un particolare modo di gestire il modello architettonico e, più in generale, la modellazione digitale. Con una definizione propedeutica, volutamente imprecisa e ambigua ma vicina al pensiero di Schumacher, si può affermare che la modellazione parametrica si riferisce alla generazione di modelli digitali attraverso l'esecuzione di una procedura che dipende da parametri iniziali le cui variazioni producono un aggiornamento del modello stesso.

Trattasi di una definizione che può abbracciare un ampio numero di strategie di ricerca e modellazione, come l'*Algorithmic Architecture* di Kostas Terzidis⁷⁴, il *Parametric Design* di

⁷¹ ACS, progetto n.226, d. 65/251/1or.

⁷² Cfr. Lucente, R. & Canestrino, G. (2023), "Distance between theory and practice in a project by Luigi Moretti, Parametric Architecture's first theorist", *The Journal of Architecture*. In pubblicazione.

⁷³ Cfr. Schumacher, P. (2009). "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design", *Architectural Design*, no. 79(4), pp. 14–23.

⁷⁴ Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press.

Robert Woodbury⁷⁵ o *l'Algorithms-Aided Design* di Arturo Tedeschi⁷⁶. A partire da queste posizioni, che saranno successivamente analizzate, è possibile ipotizzare una “visione computazionale” dell’approccio parametrico nel progetto di architettura caratterizzata dal riconoscimento di un ruolo centrale alle tecniche digitali nella risoluzione dei problemi progettuali. La visione computazionale quindi può essere discussa non solo nell’ambito della storia dell’implementazione del calcolatore del progetto di architettura ma anche rispetto alle implicazioni teoriche e metodologiche di sperimentazioni che affrontavano la progettazione della forma architettonica attraverso un processo associativo basato sulla precisa definizione del problema architettonico e di una sua strategia risolutiva.

Un primo momento di riflessione su quelle ricerche che a partire dagli anni 60 hanno proposto di delegare al calcolatore la risoluzione di semplici problemi architettonici è rintracciabile nel lavoro di William Mitchell. Egli ambisce a delineare “*concetti teorici di base unificanti*” tra un “*confuso miscuglio di [applicazioni] disconnesse*” nel panorama del Computer Aided Architectural Design⁷⁷. Tra queste confuse applicazioni possiamo, a titolo non esaustivo, individuare ricerche più teoriche, come quelle sulle teorie dei gruppi di Alexander⁷⁸, sulla *shape grammar* di Stiny e Gips⁷⁹, sull’intelligenza artificiale di Minsky e Papert⁸⁰, ricerche finalizzate allo sviluppo di applicativi software come quelle dell’Architecture Machine Group di Negroponte⁸¹, dello *Sketchpad* di Sutherland⁸², dello *General Space Planner* di Eastman⁸³,

⁷⁵ Woodbury, R. (2010), *Elements of parametric design*, New York: Routledge.

⁷⁶ Tedeschi, A. (2014), *AAD Algorithms-Aided Design, Parametric Strategies using Grasshopper*, Brienza: Le Penneur.

⁷⁷ Mitchell, W. J. (1975), “The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, no. 2(2), pp. 127–150.

⁷⁸ Alexander, C. (1964), *Notes on the synthesis of form*, Cambridge: Harvard University Press.

⁷⁹ Stiny, G., Gips J. (1972), “Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture”, in Frieman, C. V. (ed.), *Information Processing 71*, Amsterdam: North-Holland, pp. 1460–1465.

⁸⁰ Minsky, M. L. & Papert, S. (1973), *Artificial intelligence*, Eugene: Oregon State System of Higher Education.

⁸¹ Negroponte, N. (1970), *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment*, Cambridge: MIT Press. Negroponte, N. (1976), *Soft Architecture Machines*, Cambridge: MIT Press.

⁸² Sutherland, I. E. (1963), *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology [Tesi di dottorato] [Online].

<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/14979> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

⁸³ Eastman, C. (1971), “GSP: A system for computer assisted space planning”. In *Proceedings of the 8th Design Automation Workshop (DAC '71)*, New York: Association for Computing Machinery, pp. 208–220.

e, infine, ricerche mirate a delineare delle visioni per la pratica del progetto di architettura, come il *Generator Project* di Cedric Price⁸⁴ o il *Reptile* di John Frazer⁸⁵

Questa ricerca non propone una precisa ricostruzione storica di queste applicazioni, per la quale si rimanda ad altri testi⁸⁶, bensì ipotizza, a partire dalle riflessioni di Mitchell, di individuare delle tematiche ricorrenti che saranno successivamente utili a delineare delle contemporanee modalità operativa dell'approccio parametrico.

Una prima tematica ricorrente, capace di impattare sulla pratica progettuale, che emerge nelle applicazioni richiamate è la necessità di costruire una *rappresentazione* del sistema architettonico oggetto di studio. Si tratta di una necessità in quanto è un atto propedeutico a una seconda tematica ricorrente, cioè la ricerca della soluzione progettuale attraverso la ricombinazione dei parametri coinvolti nella rappresentazione fino a ottenere uno *stato* che soddisfi alcuni criteri di verifica della validità della soluzione progettuale.

Richiamare la riflessione condotta da Mitchell sui diversi tipi di rappresentazione del problema architettonico risulta utile in quanto propedeutica alla comprensione di come uno strumento tecnico sia capace di condurre a un particolare modo di pensare, e di risolvere, il problema architettonico. Mitchell propone che la rappresentazione del problema architettonico possa essere di tipo "iconico", "analogico" o "simbolico". La rappresentazione è di tipo iconico quando un suo particolare stato tende a riprodurre una potenziale soluzione. Rientrano tra le rappresentazioni iconiche i prodotti del disegno, come piante e prospetti, ma anche i plastici comunemente usati nella progettazione architettonica. È necessario riconoscere che i mezzi di rappresentazione iconici sono generalmente modificabili attraverso operazioni additive che poco si prestano ad essere automatizzate, e per questo non assumono un ruolo centrale nella ricerca delle origini del parametrico. La rappresentazione del problema architettonico è di tipo analogica quando è possibile modificare lo stato del sistema attraverso operazioni di tipo meccanico. Richiamando il lavoro di Antoni Gaudì nella *Sagrada Família* e nella *Cappella Guell*, Mitchell chiarisce che la rappresentazione analogica del problema

⁸⁴ Cfr. Steenson, M. W. (2014), *Generator*, in Steenson, M. W., *Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, And Nicholas Negroponte & MIT's Architecture Machine Group*, Princeton University [Tesi di Dottorato] [Online]. <https://dataspace.princeton.edu/handle/88435/dsp01pn89d6733> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

⁸⁵ Frazer, J. H. (1974), "Reptiles", *AD - Architectural Design*, april, pp. 231 - 239.

⁸⁶ Vedi voce di bibliografia tematica.

architettonico può attuarsi attraverso l'uso di modelli fisici la cui conformazione può essere modificata, capaci di restituire una informazione sulla performance strutturale della soluzione architettonica. La rappresentazione analogica, come sarà discusso nel capitolo 2, è considerata da molti autori come anticipatrice dell'approccio parametrico in quanto cattura in forma meccanica lo spirito della computazione. Infine, una terza modalità di rappresentazione del problema architettonico riguarda la creazione di un sistema simbolico composto da variabili, operatori matematici, vettori, tabelle e altre strutture informatiche che non necessariamente ambiscono a ricostruire la forma architettonica, ma piuttosto a descriverne le relazioni tra le parti che la compongono. Lo *stato* del sistema, in questo caso, è modificato attraverso operazioni logiche e aritmetiche sui contenuti delle strutture informatiche che rappresentano il sistema.

Lo spirito della visione computazionale non è esaurito dall'adozione di un particolare tipo di *rappresentazione* del problema architettonico, nonostante l'esistenza di alcune forme di rappresentazione più vicine al mondo della matematica e all'informatica. Si può riconoscere che la visione computazionale si attesta come un peculiare modo di affrontare il progetto di architettura grazie a tre ulteriori aspetti. Un primo aspetto riguarda l'introduzione di metodi che, operando sulla rappresentazione, sono capaci di *generare* delle soluzioni architettoniche. Un secondo aspetto riguarda la possibilità di testare una soluzione generata nei confronti di requisiti, vincoli e limitazioni progettuali. Un aspetto finale riguarda la definizione di uno schema di divisione dei compiti afferenti alle attività di rappresentazione, generazione e testing delle soluzioni tra il progettista e una macchina, la quale, ricordiamo, può essere di tipo informatico-elettronico, ma anche di tipo analogico⁸⁷.

⁸⁷ La sintesi ipotizzata è affine ai "paradigmi fondamentali" del Computer-Aided Architectural Design sintetizzati da Mitchell: Mitchell, W. J., "The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design".

Si ripropone integralmente la sintesi di Mitchell:

"The fundamental paradigm of computer-aided architectural design that has emerged from this discussion can be summarized as follows:

(a) Designs can be represented by means of data structures stored in computer memory.

(b) Potential solutions can be generated for consideration by assigning values to the variables which constitute the data structure. These values may be read into the computer as data or may be generated by execution of a program. In the latter case we say that a proposed design solution is automatically synthesized.

(c) Proposed solutions can be tested for compliance with specified criteria by the execution of programs which operate upon the data structure stored in memory.

(d) A given computer-aided design process represents some chosen pattern of division of functions (solution representation, generation, and testing) between human designer and machine".

L'importanza della trattazione di Mitchell ai fini della costruzione di un modo per parlare di Architettura Parametrica è attribuibile al mancato riconoscimento e alla scarsa diffusione delle teorie di Moretti negli anni di sviluppo delle prime, pionieristiche, applicazioni della strumentazione digitale nel progetto di architettura. Un numero consistente di autori, che saranno successivamente richiamati, nello storicizzare le origini dell'approccio parametrico, pur menzionando il lavoro di Moretti, preferiscono quindi guardare a quelle esperienze di ricerca che hanno tradotto la pratica architettonica in un problema da risolvere, così come proposto già da Mitchell. Ciò ha comportato un minore interesse verso la costruzione di un approccio scientifico alla pratica architettonica, come invece proposto da Moretti. In entrambe le trattazioni è, tuttavia, individuabile una certa distanza da predeterminazioni formali e linguistiche nell'approcciarsi alla pratica architettonica. Ciò, se nel caso di Moretti è necessario a non generare *bias* e pregiudizi nella progettazione, nel caso di Mitchell, nonché di un grande numero di pionieri del computazionale in architettura, questa distanza deriva da un certo disinteresse verso il problema della forma.

Precedenti nella visione computazionale su definizioni affini all'approccio parametrico

Quanto detto finora della visione computazionale permette di delineare un campo d'azione nel quale ricercare quei contributi teorici che, con diverse modalità, hanno permesso un avanzamento della cultura sottesa all'approccio parametrico, pur senza dichiarare una continuità con il lavoro di Moretti⁸⁸. Questo lavoro è diviso in due fasi: sono prima richiamate ricerche interessate in modo esplicito alla concezione parametrica e successivamente sono richiamate ricerche che presentano chiari punti di affinità con l'approccio parametrico nonostante utilizzino un lessico differente.

Come sarà portato alla luce nel capitolo 2, un numero consistente di concezioni del progetto di architettura condotti a partire dagli anni 90, sistematizzabili in quello che Mario Carpo definisce come il *Digital Turn*⁸⁹, seppur chiaramente affini all'approccio parametrico non sono state da subito supportate da un dibattito culturale incentrato sul significato di un progetto di architettura definibile come *parametrico*. Ciò è confermato da un numero

⁸⁸ Sull'assenza del riconoscimento del contributo di Moretti nell'attuale concezione dell'architettura parametrica vedasi: Lucente, R. & Canestrino, G. (2023), "Distance between theory and practice in a project by Luigi Moretti, Parametric Architecture's first theorist", *The Journal of Architecture*. In pubblicazione.

⁸⁹ Carpo, M. (ed.) (2012), *The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012*, Chichester: Wiley.

consistente di studiosi⁹⁰ che nelle loro ricerche colmano la mancanza di una discussione teorica intorno al significato del termine parametrico in relazione all'architettura e al suo progetto dalla morte di Moretti fino a, circa, l'inizio del XXI secolo, guardando al mondo del software in cui questo termine è, invece, stato utilizzato con continuità⁹¹. Tuttavia, se si guarda proprio al *Digital Turn* di Carpo, i termini “parametrico”, “parametri” e “parametricamente” sono presenti, come suggestione o con un chiaro significato informatico/computazionale, nei testi di Stan Allen⁹², Kas Oosterhuis⁹³, SHoP⁹⁴, Bernard Cache⁹⁵, Achim Menges⁹⁶, Malcolm McCullough⁹⁷, Richard Garber⁹⁸ e ovviamente Patrik Schumacher⁹⁹.

Ciò significa che a partire dagli anni 90 si costruisce un territorio condiviso, basato su suggestioni e intuizioni e non su precise definizioni, su cosa significhi condurre il progetto di architettura nell'ambito di una dimensione parametrica. In questo territorio, il termine “parametrico” non è quasi mai accompagnato dal termine “architettura”, a conferma del mancato riconoscimento del lavoro di Moretti. Nel cercare di tracciare delle caratteristiche comuni alle ricerche richiamate nel precedente paragrafo, che si intensificano nella seconda metà del *Digital Turn*, emerge una eterogeneità formale, strumentale e metodologica rispetto alla nozione di parametrico in relazione alla pratica del progetto di architettura. Si tratta di una eterogeneità che continua ancora oggi ed essere chiara e riconoscibile.

Si può quindi affermare che l'interesse verso la delineazione dei parametri coinvolti nel problema architettonico, nella creazione di procedure capaci di generare la forma

⁹⁰ Si segnala l'interesse per il software nelle ricerche di David Gerber, Daniel Davis e Roland Hudson, le quali saranno successivamente approfondite.

⁹¹ Si segnala la diffusa tesi secondo la quale il primo software di disegno CAD, Sketchpad di Ivan Sutherland, funzionasse con uno spirito parametrico. Sutherland, I. E., *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*.

⁹² Allen, S. (1997), “From Object to Field”, *Architecture after Geometry, AD Profile*, no. 127, pp 24–31.

⁹³ Oosterhuis, K (1998), “Salt Water Live, Behaviour of the Salt Water Pavilion”, *Hypersurface Architecture, AD Profile*, no. 133, pp 56–61.

⁹⁴ SHoP/Sharples, Holden, Pasquarelli (2002), “Introduction”, *Versioning: Evolutionary Techniques in Architecture, AD Profile*, no. 159, pp. 7-9.

⁹⁵ Cache, B. (2003), “Philibert De L’Orme Pavilion: Towards an Associative Architecture”, *Surface Consciousness, AD Profile*, no. 162, pp. 21–25.

⁹⁶ Menges, A. (2006), “Polymorphism”, *Techniques and Technologies in Morphogenetic Design, AD Profile*, no. 180, pp. 78–87.

⁹⁷ McCullough, M. (2006), “20 years of scripted space”, *Programming Cultures: Art and Architecture in the Age of Software, AD Profile*, no. 182, pp. 12-15.

⁹⁸ Garber R. (2009), “Optimisation Stories: The Impact of Building Information Modelling on Contemporary Design Practice”, *Closing the Gap: Information Models in Contemporary Design Practice, AD Profile*, no. 198, pp 6–13.

⁹⁹ Schumacher, P. (2009), “Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design”, *Digital Cities, AD Profile*, no. 200, pp 14–23.

architettonica, nell'automazione della ricerca della soluzione architettonica, e nei modi con cui la variazione dei parametri produce effetti sulla forma architettonica risultano aspetti trasversali alle diverse eccezioni che sono state assegnate alle diverse declinazioni del termine parametro nell'ambito del *Digital Turn*. Questa trasversalità trova conferma nelle prime tesi di dottorato che hanno proposto una definizione di cosa è il parametrico nel progetto di architettura, come nel caso del lavoro di David Gerber in cui si propone:

LA PROGETTAZIONE PARAMETRICA È LA PRATICA DI FAR DIPENDERE I VALORI DI DIVERSI ATTRIBUTI DI UN OGGETTO DA UN PARAMETRO COMUNE, IN MODO CHE VENGANO AGGIORNATI AUTOMATICAMENTE QUANDO IL VALORE DI TALE PARAMETRO VIENE MODIFICATO [...]. LA MODELLAZIONE È SOLO UN PEZZO DEL PROTOCOLLO DI PROGETTAZIONE E PUÒ ESSERE FATTA SENZA L'INTENZIONE DI VARIARE, CAMBIARE O ASSOCIARE. PER I NOSTRI SCOPI, PROGETTARE CON I PARAMETRI ATTRAVERSO UNA "ESPRESSIONE PARAMETRICA" È DA INTENDERSI COME CREARE MODELLI DI PROGETTAZIONE FINALIZZATI A VARIARE. UN SECONDO ASPETTO SPECIFICO DELLA PROGETTAZIONE PARAMETRICA È IL CONCETTO DI STORIA. LE TECNOLOGIE DI PROGETTAZIONE PARAMETRICA CATTURANO LA STORIA DELLA COSTRUZIONE DI UN MODELLO DI PROGETTO, NONCHÉ DELLE SUE RELAZIONI E DELLE DIPENDENZE. UN TERZO CONCETTO IMPORTANTE DELLA PROGETTAZIONE PARAMETRICA È QUELLO DI *FEATURE*. LA *FEATURE* È IL PRODOTTO DELLA STORIA DELLA FUSIONE DELLE RAPPRESENTAZIONI CAD E CAM. UNA *FEATURE* È DEFINITA COME UN'"ENTITÀ CHE APPARTIENE A UN ORDINE SEMANTICO SUPERIORE A QUELLO GEOMETRICO" O COME UNA "FORMA (TIPICAMENTE GEOMETRICA) CON UNA FUNZIONE DEFINITA IN UN CONTESTO SPECIFICO". PER QUESTO MOTIVO, AI FINI DELLA RICERCA, LA PROGETTAZIONE PARAMETRICA È IL PROCESSO DI MODELLAZIONE DI UN PROBLEMA DI PROGETTAZIONE COME ESPRESSIONE PARAMETRICA DELLE SUE INTENZIONI PROGETTUALI IN CUI LA STORIA DELLA SUA COSTRUZIONE, LE INFORMAZIONI SEMANTICHE SOTTESE ALLE GEOMETRIE E I PARAMETRI SONO INCLUSI, CONSENTENDO COSÌ DI VARIARE IL PROGETTO MANTENENDO IL QUADRO DELLE SUE RELAZIONI¹⁰⁰.

¹⁰⁰ Tradotto da: "*Parametric design is the practice of making the values of several attributes of an object dependent upon a common parameter, so they will be automatically updated when the value of that parameter is changed [...]. The modeling is only one piece of the design protocol and can be done without the intention to vary, change, or associate. For our purposes designing with parameters through a "parameterized expression" is to be understood as creating design models with means of variance. A second aspect specific to Parametric design is the concept of history. Parametric design technologies capture the construction history of a design model and its relationships and dependencies. A third important concept of parametric design is that of the feature. A feature is a product of the history of the conflation of CAD and CAM representations. A feature is defined as an "entity that belongs to a higher semantic order than the geometric one" or as a "form (typically geometry) with a*

Con il lavoro di Gerber, che si basa su un dialogo con studi di progettazione e design che utilizzano i suddetti strumenti parametrici, inizia a emergere che l'approccio parametrico nel progetto di architettura si riferisce alla possibilità di definire forme architettoniche capaci di essere aggiornate automaticamente in seguito a una variazione nei loro parametri generanti. Ciò non è una novità per il mondo del *3D Modelling*, ma lo è per il progetto di architettura in quanto conduce (o meglio, impone) a due conseguenze: pensare la forma architettonica in termini di relazioni esplicitate, pensare una forma architettonica che si presti a variare.

Si consolida, quindi, la frattura fra il significato matematico di "*parametrico*" e il significato di gestione parametrica del progetto. Si tratta di una tendenza riconosciuta già a partire all'inizio degli anni duemila nelle prime literature review sul "*parametric design*", come quella proposta da Javier Monedero, nonché nelle parole di Christ Yessios, developer di form.Z. Essi affermano:

LA PROGETTAZIONE PARAMETRICA È, IN UN CERTO SENSO, UN TERMINE PIUTTOSTO LIMITATO; IMPLICA L'USO DI PARAMETRI PER DEFINIRE UNA FORMA QUANDO IN REALTÀ CIOÈ CHE È IN GIOCO SONO RELAZIONI. UTILizzerò IL TERMINE IN UN'ACCEZIONE AMPIA CHE COMPRENDE CIÒ CHE SI PUÒ TROVARE IN LETTERATURA SOTTO ALTRI TITOLI COME *RELATIONAL MODELLING* O *VARIATIONAL DESIGN* O *CONSTRAINT-BASED DESIGN* O ALTRI NOMI [...]. VA INOLTRE NOTATO CHE, DA UN PUNTO DI VISTA ELEMENTARE, NON ESISTE UN CONFINE NETTO TRA CIÒ CHE SI PUÒ CHIAMARE PROGETTAZIONE PARAMETRICA E CIÒ CHE ATTUALMENTE È CHIAMATO MODELLAZIONE O DISEGNO ASSISTITO AL CALCOLATORE. IN QUESTI CASI, LE FORME SONO CREATE COMBINANDO ENTITÀ DI BASE CHE SONO INSERITE IN UN MODELLO DOPO AVER INDICATO PER ESSE DEI "PARAMETRI APPROPRIATI". UNA LINEA, AD ESEMPIO, È UN'ENTITÀ CHE DIVENTA PARTE DI UN MODELLO UNA VOLTA SPECIFICATI DUE PARAMETRI, LA SUA LUNGHEZZA E LA SUA DIREZIONE. UNA POLILINEA È UN INSIEME DI LINEE UNITE AI LORO VERTICI, I CUI PARAMETRI DI POSIZIONE DEVONO ESSERE SPECIFICATI AL MOMENTO

defined function in a specific context". So for the purpose of the research, parametric design is the process of modeling a design problem as a parameterized expression of design intentions in which construction history, semantic information beyond geometry, and parameters are included, affording design variations with relationships maintained and solved".

Gerber D. J. (2007), *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, p. 125 [Tesi di dottorato] [Online].

https://www.researchgate.net/publication/279289656_Parametric_Practices_Models_for_Design_Exploration_in_Architecture (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

DELLA CREAZIONE. UN VOLUME A PRISMATICO VIENE INSERITO IN UN MODELLO ATTRAVERSO QUATTRO PARAMETRI, LA SUA POSIZIONE, LA LUNGHEZZA, LA LARGHEZZA E L'ALTEZZA¹⁰¹.

INIZIALMENTE, UNA DEFINIZIONE PARAMETRICA ERA SEMPLICEMENTE UNA FORMULA MATEMATICA CHE RICHIEDEVA LA SOSTITUZIONE DEI VALORI DI ALCUNI PARAMETRI PER GENERARE VARIAZIONI ALL'INTERNO DI UNA FAMIGLIA DI ENTITÀ. OGGI VIENE UTILIZZATA PER INDICARE CHE L'ENTITÀ, UNA VOLTA GENERATA, PUÒ ESSERE FACILMENTE MODIFICATA¹⁰².

Nella definizione di Yessios, inoltre, viene implicitamente riconosciuta una scissione tra una modalità operativa dell'approccio parametrico, cioè la definizione di una forma dipendente da parametri, e cosa ci si aspetta da esso, cioè la possibilità di modificare facilmente una forma. Questi temi sono ripresi in *Elements of parametric design* di Robert Woodbury, tra i testi seminali sulla modellazione parametrica. Questo testo propone la nozione di “*progettazione parametrica*” come un cambio di paradigma rispetto a una progettazione (e operativamente rispetto a una modellazione) di tipo additivo, in cui il progettista opera stratificando i *segni*¹⁰³ della soluzione architettonica con strumenti archetipici, quali la matita, la carta, la gomma, la riga, il compasso. Secondo Woodbury:

I SISTEMI DI PROGETTAZIONE CONVENZIONALI SONO SEMPLICI EMULAZIONI DI QUESTO METODO DI LAVORO SECOLARE. LA MODELLAZIONE PARAMETRICA (NOTA ANCHE COME *CONSTRAINT MODELLING*) INTRODUCE UN CAMBIAMENTO FONDAMENTALE: I “SEGNI”, CIOÈ LE PARTI DI UN

¹⁰¹ Tradotto da: “*Parametric design is, in a sense, a rather restricted term; it implies the use of parameters to define a form when what is actually in play is the use of relations. I will use the term in a wide sense that covers what can be found in the literature under other headings such as relational modeling or variational design or constraint-based design or other title [...]. It should also be noted that, from an elementary point-of-view, there is not a clear boundary between what can be called parametric design and what is currently called computer-aided drafting or modeling. In these cases, forms are created by combining basic entities that are inserted in the model after a basic template, which includes their “proper parameters”, is filled. A line, for example, is an entity that becomes part of a model once two parameters, its length and its direction, are specified. A polyline is a set of lines joined at their vertices whose position parameters must also be specified when it is created. A prismatic meshed volume is inserted in a model through four parameters, its location, length, width, and height*”

Monedero, J. (2000), “Parametric design: a review and some experiences”, *Automation in Construction*, vol. 9, issue 4, pp. 369-377.

¹⁰² Tradotto da: “*initially, a parametric definition was simply a mathematical formula that required values to be substituted for a few parameters in order to generate variations from within a family of entities. Today it is used to imply that the entity once generated can easily be changed*”:

Yessios, C. (2003), “Is There More to Come?”, Kolarevic, B. (ed.), In *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, New York: Spon Press, pp. 356–364.

¹⁰³ Secondo Woodbury, la progettazione è tradizionalmente condotta con un processo additivo, riassumibile in “add marks and take them away, with conventions for relating marks together”.

Woodbury, R. (2010), “What is parametric modelling?”, in Woodbury, R., *Elements of parametric design*, New York: Routledge, pp. 11.

PROGETTO, SI RELAZIONANO E CAMBIANO INSIEME IN MODO COORDINATO. I PROGETTISTI NON DEVONO PIÙ LIMITARSI AD AGGIUNGERE E CANCELLARE. ORA AGGIUNGONO, CANCELLANO, RELAZIONANO E RIPARANO¹⁰⁴.

Con la modellazione parametrica secondo Woodbury si introduce la possibilità che i diversi segni del progetto possono essere dipendenti tra di loro e, soprattutto, che possono subire delle modificazioni che siano tra di loro “coordinate”. Ciò impatta sui metodi di progettazione in quanto determina una mutazione del lessico stesso del progetto che è chiamato ad annoverare, oltre a termini come “aggiungi”, “cancella” e “sostituisci”, propri degli strumenti archetipici del disegno, nuove operazioni sui segni progettuali quali “riparare” (*repare*) e “relazionare” (*relate*). Questi due termini hanno un significato molto importante nella trattazione di Woodbury in quanto esemplificano la necessità di esplicitare le ragioni sottese alle operazioni di modellazione. Woodbury, inoltre, richiamando il lavoro di Hoffmann e Joan-Arinyo¹⁰⁵, definisce diversi tipi di sistemi parametrici in base alle loro modalità di risoluzione del problema progettuale: *graph-based*, *logic-based*, *algebraic*, *propagation-based system*. Ciò risulta importante in quanto alla base di una seconda definizione di “progettazione parametrica” proposta di Woodbury basata proprio sui sistemi *graph-based*¹⁰⁶:

UN PROGETTO PARAMETRICO (O SEMPLICEMENTE UN PROGETTO) È UN GRAFO DIRETTO DI NODI E COLLEGAMENTI.

Questa definizione è usata da Woodbury per introdurre gli aspetti informatici della sua trattazione, ma è capace di fornire utili indicazioni su come la “progettazione parametrica” si implementa nel progetto di architettura. La trattazione che deriva da questa definizione, infatti, sottolinea come il pensiero parametrico si applica attraverso la *propagazione* di una

¹⁰⁴ Tradotto da: “conventional design systems are straightforward emulations of this centuries old means of work. Parametric modeling (also known as constraint modeling) introduces a fundamental change: “marks”, that is, parts of a design, relate and change together in a coordinated way. No longer must designers simply add and erase. They now add, erase, relate and repair”.

Woodbury, R., “What is parametric modelling?”.

¹⁰⁵ Hoffmann, C. M. and Joan-Arinyo, R. (2005). “A brief on constraint solving”, *Computer-Aided Design and Application*, no. 2, pp. 655-663.

¹⁰⁶ Tradotto da: “a parametric design (or just design) is a directed graph of the nodes and links” Woodbury, R. (2010), “What is parametric modelling?”, in *Elements of parametric design*.

serie di azioni che siano ben definite e che, a parità di parametri in ingresso, conduca sempre agli stessi risultati.

Le definizioni fornite finora, tuttavia, faticano a catturare cosa succede dopo la costruzione del modello parametrico, cioè la definizione di modi per valutare le soluzioni progettuali, per esplorare le possibilità del modello e per applicare processi decisionali. Tutto ciò è sintetizzabile nel problema della selezione di una soluzione progettuale contenuta implicitamente nel modello parametrico, come proposto nella definizione di “progettazione parametrica” di Roland Rhudson:

LA PROGETTAZIONE PARAMETRICA È QUINDI INTESA IN QUESTA TESI COME IL PROCESSO DI SVILUPPO DI UN MODELLO O DI UNA DESCRIZIONE AL COMPUTER DI UN PROBLEMA DI PROGETTAZIONE. QUESTA RAPPRESENTAZIONE SI BASA SU RELAZIONI TRA OGGETTI CONTROLLATE DA VARIABILI. MODIFICANDO LE VARIABILI SI OTTENGONO MODELLI ALTERNATIVI. LA SCELTA DI UNA SOLUZIONE SI BASA QUINDI SU ALCUNI CRITERI CHE POSSONO ESSERE LEGATI ALLE PRESTAZIONI, ALLA FACILITÀ DI COSTRUZIONE, AI REQUISITI DI BUDGET, ALLE ESIGENZE DELL'UTENTE, ALL'ESTETICA O A UNA COMBINAZIONE DI QUESTI ELEMENTI¹⁰⁷.

Questa definizione sposta l'attenzione verso il problema progettuale, e quindi verso la ricerca degli *stati* dei parametri progettuali che conducano al miglior output possibile, il quale supera il semplice soddisfacimento dei requisiti progettuali.

Emerge, quindi, nella definizione di cosa è la modellazione parametrica la delineazione di un suo profilo di utilità: per Rhudson l'utilità del della concezione parametrica è da rintracciare nella possibilità di selezionare una soluzione progettuale più performante, per Woodbury nelle più efficienti modalità di modifica delle soluzioni e per Gerber nella possibilità di associare al progetto una conoscenza tracciabile e replicabile. Ma se si guarda il *Digital Turn*, appare evidente che l'utilità del pensiero parametrico, oltre che nella sua innata

¹⁰⁷ Tradotto da: *"Parametric design is therefore understood in this thesis to be the process of developing a computer model or description of a design problem. This representation is based on relationships between objects controlled by variables. Making changes to the variables results in alternative models. Selection of a solution is then based on some criteria which may be related to performance, ease of construction, budget requirements user needs, aesthetics or a combination of these"*.

Rhudson, R. (2010), *Strategies for Parametric Design in Architecture: An Application of Practice Led Research*, Bath: University of Bath, p. 18. [Tesi di dottorato] [Online].

<https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/strategies-for-parametric-design-in-architecture-an-application-o> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

propensione a produrre forme architettoniche iconiche, è da rintracciarsi nella possibilità di indagare un elevato numero di alternative progettuali. Questa peculiarità è catturata dalla definizione di parametrico fornita da Fabian Scheurer e Hanno Stehling:

PER EVITARE AI PROGETTISTI DI MODELLARE MANUALMENTE MIGLIAIA DI COMPONENTI, È STATO INTRODOTTO IL CONCETTO DI "MODELLAZIONE PARAMETRICA". INVECE DI DESCRIVERE IL RISULTATO FINALE COME UN MODELLO, SI DESCRIVE IL PROCESSO DI MODELLAZIONE STESSO. UNA SEQUENZA DI ISTRUZIONI (UN ALGORITMO) GENERA UN OUTPUT (UN MODELLO DETTAGLIATO) IN BASE A UN INPUT (UN INSIEME DI PARAMETRI). VARIANDO I VALORI DI INPUT, SI POSSONO GENERARE OUTPUT DIVERSI¹⁰⁸.

Le definizioni richiamate finora permettono di ricondurre l'approccio parametrico a una tecnica di modellazione più che a una modalità di progettazione architettonica. Queste definizioni, infatti, descrivono bene i principi di funzionamento della strumentazione di modellazione parametrica, ma al contempo risultano applicabili a un ampio numero di strumenti digitali e, soprattutto, emergono a partire da una visione della progettazione lontana dai principi della composizione architettonica. Il lavoro di Daniel Davis inizia proprio nel riconoscere come la trattazione di Woodbury risulti applicabile a un così ampio numero di approcci alla modellazione che, di fatto, non riesce a rispondere alla domanda *“che cos'è la modellazione parametrica?”*¹⁰⁹. Davis riconosce che la definizione di modello parametrico come *“un insieme di equazioni che descrivono un modello geometrico come funzione esplicita di un certo numero di parametri”*¹¹⁰ sia utile a comprendere cosa tecnicamente è il pensiero parametrico, ma allo stesso tempo non ne esaurisce le peculiarità nella pratica architettonica. Egli, quindi, aggiunge:

¹⁰⁸ Tradotto da: *“To save designers from manually modelling thousands of components, the concept of ‘parametric modelling’ was introduced: instead of describing the final result as a model, the process of modelling itself is described. A sequence of instructions (an algorithm) generates output (a detailed model) based on input (a set of parameters). By varying the input values, different output can be generated”*.

Scheurer, F., & Stehling, H. (2011). *“Lost in Parameter Space?”*, AD - Architectural Design, vol. 81, no. 4, pp. 70–79.

¹⁰⁹ Davis, D. (2013), *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, Melbourne: RMIT University, p. 15. [Tesi di dottorato] [Online]. <https://www.danieldavis.com/thesis/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

¹¹⁰ Tradotto da: *“Thus, a parametric model can be defined as: a set of equations that express a geometric model as explicit functions of a number of parameters”*.

Davis, D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, p. 31.

UN MODELLO PARAMETRICO È UNICO, NON PERCHÉ HA DEI PARAMETRI (TUTTA LA PROGETTAZIONE, PER DEFINIZIONE, HA DEI PARAMETRI), NON PERCHÉ CAMBIA (LE ALTRE RAPPRESENTAZIONI PROGETTUALI CAMBIANO), NON PERCHÉ È UNO STRUMENTO O UNO STILE DI ARCHITETTURA, UN MODELLO PARAMETRICO È UNICO NON PER QUELLO CHE FA MA PIUTTOSTO PER COME È STATO CREATO. UN MODELLO PARAMETRICO È CREATO DA UN PROGETTISTA CHE DICHIARA ESPLICITAMENTE COME I RISULTATI DERIVANO DA UN INSIEME DI PARAMETRI¹¹¹.

In questa definizione emerge che approcciarsi alla forma in termini parametrici non si esaurisce nell'uso di strumentazioni che generano una soluzione architettonica in modo parametrico, ma è necessario che il progettista assuma un ruolo attivo e consapevole nel definire i modi con cui la soluzione architettonica è legata, esplicitamente, a dei parametri iniziali. A titolo di esemplificazione, quindi, una linea non è parametrica in quanto potenzialmente può essere descritta da una funzione dipendente da parametri, ma è parametrica nel momento in cui il progettista la modella esplicitando le sue relazioni con il resto del progetto. Ciò è un punto molto importante, in quanto supera l'*impasse* a cui conducono posizioni secondo cui *la progettazione è sempre parametrica*¹¹² e permette di capire come possono esistere delle *aree grigie* in cui la forma architettonica è solo in parte gestita con uno spirito parametrico.

¹¹¹ Tradotto da: "A parametric model is unique, not because it has parameters (all design, by definition, has parameters), not because it changes (other design representation change), not because it is a tool or a style of architecture, a parametric model is unique not for what it does but rather for how it was created. A parametric model is created by a designer explicitly stating how outcomes derive from a set of parameters".

Davis, D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, p. 31.

¹¹² Questo particolare aspetto è stato già affrontato da Davis. Si riportano gli estremi delle fonti da egli considerate:

Scrivi Gerber: "È necessario precisare che la progettazione architettonica è intrinsecamente un processo "parametrico". Si sostiene che l'architetto ha sempre operato in modo "parametrico". In altre parole, gli architetti hanno sempre lavorato in modo relazionale e associativo". Gerber D. J., *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, p. 2-3.

Scrivi Hudson: "Questa ricerca parte dall'asserzione che tutta la progettazione è parametrica. La progettazione inizia con l'attribuzione, consapevole o inconsapevole, di valori ai parametri che descrivono i requisiti funzionali dell'oggetto e i vincoli che limitano la gamma delle possibili soluzioni progettuali". Rhudson, R., *Strategies for Parametric Design in Architecture: An Application of Practice Led Research*, p. 18.

Scrivono Woodbury e Aish: "In un senso radicale, la modellazione parametrica non è una novità: i componenti degli edifici sono stati adattati al contesto per secoli". Aish, R. & Woodbury, R. (2005), "Multi-level Interaction in Parametric Design", *Lecture Notes in Computer Science*, no.3638, pp. 151-162.

Scrivi Mark Burry: "Il "design parametrico" equivale a una *sine qua non* [sic.]; Cos'è esattamente un progettazione non-parametrica". Burry, M., *Scripting Cultures - Architectural design and programming*, p.18.

Cfr. Davis, D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, p. 23.

Alle ricerche appena richiamate è possibile affiancare diversi studi che pur non parlando esplicitamente di progetto parametrico hanno dei chiari punti di continuità con esso.

Kostas Terzidis propone nella sua *algorithmic architecture*¹¹³ una visione capace di mediare tra il paradigma *computazionale* e il paradigma *computerizzato*. Mentre la computerizzazione fa riferimento all'inserimento, elaborazione e archiviazione di informazioni in un computer, la computazione fa riferimento alla risoluzione di problemi attraverso processi logici o matematici. Se la computerizzazione riguarda l'automazione, la meccanizzazione e la digitalizzazione di informazioni ben definite, la computazione, secondo Terzidis, invece si interessa dell'esplorazione di problemi indeterminati, poco chiari e spesso mal definiti. È evidente che la principale modalità di utilizzare le tecnologie digitali nel progetto fanno riferimento al paradigma della computerizzazione, mentre la computazione è spesso relegata a uno specialismo del progetto di architettura. Terzidis, tuttavia, si oppone alla dialettica di contrapposizione tra computerizzato e computazionale, proponendo una possibile posizione intermedia, l'*"algorithmic architecture"*. Nell'*algorithmic architecture*, l'algoritmo, cioè una struttura informatica alla base di diversi approcci di modellazione parametrica, non rappresenta il prodotto finale della progettazione, bensì un veicolo per la sua esplorazione¹¹⁴. Terzidis richiama particolari famiglie di algoritmi che presentano caratteristiche divergenti dai processi finora trattati in quanto si comportano in modo *"non-prevedibile"*, conducendo a risultati che spesso *"stupiscono anche i loro creatori"*¹¹⁵. Attraverso lo studio di algoritmi specializzati nel campo della ricerca stocastica, dei frattali, dei *cellar automata*¹¹⁶, Terzidis riesce a demistificare l'infallibilità e replicabilità degli algoritmi, proponendoli in una veste più adatta ad essere inserita in un processo creativo. La trattazione di Terzidis, quindi, pone le basi per la gestione di processi progettuali in cui il pensiero parametrico è usato non solo per derivare in modo scientifico la forma architettonica (così come auspicato da Moretti) ma anche per ricercare delle epifanie progettuali. Quella di

¹¹³ Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press.

¹¹⁴ Terzidis, K., *Algorithmic Architecture*, p. 56.

¹¹⁵ Terzidis, K., *Algorithmic Architecture*, p. 56.

¹¹⁶ Scrive Terzidis: *"In the field of design, rule-based grammars, recursion, stochastic search, cellular automata, genetic algorithms, mappings, and morphing are algorithmic processes aimed at exploring uncommon, unpredictable, and uncharted formal properties and behaviors."*

A defining characteristic of inductive algorithms is the degree of unpredictability expressed in the final outcome". Terzidis, K., Isorna, J.M., & Srinivasan, V. (2004). "Algorithmic Design: A Paradigm Shift in Architecture?", in Rüdiger, B., Tournay, B. & Ørbæk, H., *Architecture in the Network Society. Proceedings of the 22nd International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*, pp. 201-207.

Terzidis non è una posizione isolata rispetto alle possibilità riconosciute alle strumentazioni digitali nell'ambito del progetto di architettura, infatti anche Gregg Lynn ha riconosciuto come negli anni del *Digital Turn* il esso è stato spesso condotto ricercando degli “happy accident” nell'utilizzo dei software di modellazione¹¹⁷. È evidente, infine, la possibilità di traslare la concezione di Terzidis verso quelle modalità dell'approccio parametrico che si configurano come *black box*¹¹⁸, cioè processi descrivibili solo in termini di input e output in cui il livello di controllo del progettista è minimo.

Anche Arturo Tedeschi ha recentemente proposto un approccio al progetto centrato sulla nozione di algoritmo, le cui ricadute metodologiche, tuttavia, appaiono distanti da quelle di Terzidis. Tedeschi nel suo *Algorithms Aided Design (AAD) – Parametric Strategies Using Grasshopper*¹¹⁹ propone una trattazione che pone i suoi fondamenti nel cambio di paradigma dal processo di progettazione *additivo*, basato sulla stratificazione di segni, verso il processo di progettazione *associativo*, basato sull'individuazione di relazioni tra gli elementi del progetto. La particolare declinazione dell'*Algorithms Aided Design* fa riferimento all'uso di procedure capaci di eseguire un preciso compito attraverso l'esecuzione di un insieme finito e ben definito di istruzioni, cioè algoritmi. Queste procedure, nell'*Algorithms Aided Design*, non devono essere considerate degli strumenti della progettazione, bensì ciò che viene progettato. Ne deriva che l'output di una progettazione basata sull'*Algorithms Aided Design* non si esaurisce con l'output di un algoritmo, ma comprende anche l'algoritmo stesso che, in potenza, è capace di generare ulteriori output.

Questo paragrafo ha cercato di chiarire cosa sia l'approccio parametrico al progetto di architettura attraverso la discussione di diverse posizioni provenienti dall'ambito tecnico degli strumenti digitali di cui esso può servirsi. È stata quindi delineata una “visione computazionale” dell'approccio parametrico al cui interno si annoverano le posizioni del *Computer Aided Architectural Design*, del *parametric design*, della *modellazione parametrica*, della *progettazione supportata da algoritmi* e altro.

¹¹⁷ Rocker, I. (2004), “Calculus-Based Form. An interview with Greg Lynn”, *AD - Architectural Design*, vol. 76, no. 4, pp. 88-96.

¹¹⁸ Vedi la terza applicazione presentata nel sistema degli apparati.

¹¹⁹ Tedeschi, A. (2014), *AAD Algorithms-Aided Design, Parametric Strategies using Grasshopper*, Brienza: Le Penseur.

1.3. VISIONE STILISTICA. IL PARAMETRICISMO DI PATRIK SCHUMACHER

La visione del Parametricismo promossa da Patrik Schumacher è considerabile come una modalità di approccio al progetto di architettura completa di ipotesi metodologiche, strumentali e formali comprensiva anche di una storicizzazione delle sue origini e dei suoi riferimenti culturali nonché di una *agenda* che traccia tematiche da indagare.

Emerso nel 2008 con un manifesto¹²⁰ che assegna un nome a una trasformazione già in atto nel progetto di architettura, il Parametricismo in meno di una decade è stato inquadrato all'interno di una *teoria unificata* per il progetto di architettura, cioè l'*autopoiesi* dell'architettura, ha attraversato a seguito di una marginalizzazione nel dibattito architettonico un processo di rinnovamento, cioè il *Parametricismo 2.0*¹²¹, e infine, negli ultimi anni, ha condotto all'instaurarsi di un *subsidiary style*, il *Tectonism*¹²², più attento al problema della costruzione e della funzionalità. È proprio attraverso la comprensione del concetto di stile all'interno della trattazione di Schumacher che è possibile fornire una chiave di lettura su cosa sia il Parametricismo in termini di approccio metodologico al progetto di architettura.

L'intuizione di Schumacher risiede nel tracciare una analogia tra lo stile e i programmi di ricerca scientifica, intesi non come delle singole sperimentazioni ma come uno sforzo di ricerca organizzato, collettivo e condiviso basato su principi metodologici comuni¹²³. Se, come afferma Schumacher, "*gli stili solo programmi di ricerca progettuale*"¹²⁴, il progetto di architettura può essere considerato una ipotesi formulata coerentemente con i principi metodologici di un certo stile¹²⁵, i quali, se applicati in modo sistematico, possono condurre verso una campagna di sperimentazioni-progetti.

¹²⁰ Schumacher, P. (2009). "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design", *Architectural Design*, no. 79(4), pp. 14–23. Già presentato e discusso al Dark Side Club, XI Biennale di Architettura di Venezia: Schumacher, P. (2008), "Parametricism as Style - Parametricist Manifesto" [Online]. <https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2012).

¹²¹ Schumacher, P. (ed.) (2016), *Parametricism 2.0*, AD – Architectural Design, no. 240.

¹²² Schumacher, P. (2017), "Tectonism in Architecture, Design and Fashion - Innovations in Digital Fabrication as Stylistic Drivers", *AD – Architectural Design*, no. 250, pp. 106-113.

¹²³ Schumacher, P. (2010), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 1: A New Framework for Architecture*, Chichester: John Wiley and Sons, p. 277-300.

¹²⁴ Thesis n.16: "*Avant-garde styles are design research programmes. They start as progressive research programmes, mature to become productive dogmas, and end as degenerate dogmas*". Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 1: A New Framework for Architecture*, p. 277.

¹²⁵ Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, Chichester: John Wiley and Sons, p. 618.

Definizione concettuale del Parametricismo

Prima di una definizione operativa del Parametricismo, cioè correlata da ipotesi metodologiche e strumentali che ne consentano una sistematica applicazione e diffusione nel progetto di architettura, è opportuno discutere una sua prima definizione concettuale. Più precisamente, guardando alla forma architettonica e al suo processo di formazione, Schumacher afferma:

COME DEFINIZIONE CONCETTUALE DEL PARAMETRICISMO SI POTREBBE OFFRIRE LA SEGUENTE FORMULA: IL PARAMETRICISMO IMPLICA CHE TUTTI GLI ELEMENTI E I COMPLESSI ARCHITETTONICI SONO PARAMETRICAMENTE MALLEABILI. CIÒ IMPLICA UN CAMBIAMENTO ONTOLOGICO RADICALE ALL'INTERNO DEGLI ELEMENTI COSTITUTIVI DELL'ARCHITETTURA. INVECE DI AFFIDARSI ALLE FIGURE GEOMETRICHE IDEALI (ERMETICHE, RIGIDE) - CUBI, CILINDRI, PIRAMIDI E (SEMI)SFERE - LE NUOVE PRIMITIVE DEL PARAMETRISMO SONO ENTITÀ GEOMETRICHE ANIMATE (DINAMICHE, ADATTIVE, INTERATTIVE) - *SPLINE*, *NURBS* E *SUBDIVS* - COME TASSELLI GEOMETRICI FONDAMENTALI PER SISTEMI DINAMICI COME 'CAPELLI', 'TESSUTI', 'BLOB' E 'METABALLS', ECC. CHE REAGISCONO AGLI 'ATTRATTORI' E CHE POSSONO ESSERE FATTI RISUONARE TRA LORO TRAMITE *SCRIPT*¹²⁶.

Questa definizione, oltre a chiarire l'orizzonte formale capace di corroborare il programma di ricerca/stile¹²⁷ del Parametricismo, sposta l'attenzione verso la definizione "*malleabilità parametrica*" della forma architettonica. La categoria definita da quest'ultima locuzione cattura la propensione di una forma ad essere controllata, influenzata, modificata e infine trasformata in ulteriori forme, simili ma al contempo significativamente diverse. La malleabilità parametrica della forma architettonica, quindi, si ottiene in primo luogo con la sua generazione per mezzo di strumenti progettuali il cui funzionamento si basa sulla definizione e associazione di proprietà. Ciò significa che il programma di ricerca/stile del Parametricismo dipende ampiamente dagli strumenti progettuali basati sullo *scripting*, ma

¹²⁶ Tradotto da: "as conceptual definition of parametricism one might offer the following formula: parametricism implies that all architectural elements and complexes are parametrically malleable. This implies a fundamental ontological shift within the basic, constituent elements of architecture. Instead of the classical and modern reliance on ideal (hermetic, rigid) geometrical figures – cubes, cylinders, pyramids and (semi-)spheres – the new primitives of parametricism are animate (dynamic, adaptive, interactive) geometrical entities – splines, nurbs and subdivs – as fundamental geometrical building blocks for dynamical systems like 'hair', 'cloth', 'blobs' and 'metaballs' etc that react to 'attractors' and that can be made to resonate with each other via scripts"

Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 654.

¹²⁷ Con il fine di precisare il significato che "stile" assume in questa trattazione, si preferisce d'ora in poi accompagnare questo termine con la dizione "programma di ricerca".

che al contempo esso non può essere ridotto alla mera introduzione di nuovi strumenti e tecniche nella gestione della forma architettonica: essa non è resa “parametrica” dal semplice uso di questi nuovi strumenti, bensì dalla loro adozione con l’esplicito intento di intensificare le interdipendenze, affinità e continuità interne al progetto di architettura, ad esempio tra gli elementi che compongono la forma o nelle relazioni che si instaurano con il contesto urbano e territoriale nel quale la forma è inserita.

La definizione concettuale del Parametricismo apre a un’altra cruciale e dirimente questione: l’inadeguatezza, secondo Schumacher, del repertorio formale distillato prima dal classicismo e poi dal movimento moderno a promuovere l’agenda del programma di ricerca/stile del Parametricismo. Schumacher, quindi, definisce un “*cambiamento ontologico*”¹²⁸ nella pratica del progetto di architettura a partire all’uso di nuove entità geometriche che meglio si prestano ad essere variate e, soprattutto, a dipendere da un numero di parametri superiore rispetto ai poliedri e ai solidi di rotazione. Queste entità geometriche sono: “*splines, superfici NURBS e blobs, che permettono di adottare operazioni come il lofting (morphing) e principi compositivi della deformazione affiliativa-adattiva*”¹²⁹.

È necessario sottolineare che la prossimità tra la definizione concettuale del Parametricismo e alcuni tipi di forme non è unicamente finalizzata a ottenere una architettura che comunichi dinamismo, adattabilità e interattività, ma piuttosto a delineare un approccio progettuale in cui la forma nel suo processo poietico sia il più possibile propensa a variare rispetto a degli stimoli esterni. È quindi possibile affermare, con una certa semplificazione, che il Parametricismo, nella sua definizione concettuale fornita da Schumacher, oltre che un programma di ricerca/stile è sicuramente un possibile modo di gestire la forma architettonica.

Definizione operativa del Parametricismo

Il programma di ricerca/stile del Parametricismo va anche discusso in termini di principi metodologici capaci di guidare l’approccio al progetto tracciato nella sua definizione concettuale. Nella trattazione di Schumacher i principi metodologici comprendono intuizioni

¹²⁸ Schumacher, P. (2018), “The Progress of Geometry as Design Resource”, *Log*, no. 43, pp. 105-118.

¹²⁹ Scrive Schumacher: “*The new expanded geometric ontology of parametricism includes the related geometric entities of splines, NURBS surfaces, and blobs, and allows for operations like lofting (morphing) and the compositional principle of affiliative-adaptive deformation. This radical ontological shift can be characterized as the shift from typology to topology*”.

Schumacher, P., “The Progress of Geometry as Design Resource”.

formali (*formal heuristic*) e funzionali (*functional heuristics*)¹³⁰. Le prime stabiliscono le regole che guidano l'elaborazione e la valutazione della forma architettonica, e, inoltre, delineano un repertorio formale affine all'agenda parametricista. Le seconde stabiliscono i principi che guidano l'elaborazione e la valutazione della prestazione del progetto, con particolare riferimento al programma e alla funzionalità.

A queste due dimensioni, con il fine di delineare una formulazione operativa del Parametricismo, sono associati *taboo* (*negative heuristics*) da evitare, e *dogmi* (*positive heuristics*) da perseguire. Mentre i *taboo* prevengono il reiterarsi di programmi di ricerca/stili ormai superati, i *dogmi* permettono un avanzamento degli attuali programmi di ricerca/stili. Queste intuizioni sono semplicemente nominate all'interno del manifesto, mentre sono approfonditamente discusse nell'*autopoiesi dell'architettura*.

Le *intuizioni funzionali negative* del Parametricismo, cioè i *taboo* funzionali¹³¹, rappresentano una chiara rottura rispetto ai principi del movimento moderno. Con essi si propone di superare una visione statica delle caratteristiche dell'edificio, non considerando la prestazione funzionale come il semplice soddisfacimento di una lista di richieste che derivano da un processo di essenzializzazione del programma. Nella scala urbana, invece, si suggerisce un distacco nei confronti della monofunzionalità, della definizione di zone funzionali specializzate e, in generale, verso una concezione eccessivamente purista del rapporto tra forma e funzione ospitate.

A questi *taboo* funzionali, si contrappongono dei *dogmi*¹³² che ambiscono a considerare la reale complessità delle funzioni ospitate nella forma architettonica. Più precisamente, nella

¹³⁰ Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 656.

¹³¹ Si riportano nelle prossime note i *taboo* e i *dogmi* del parametricismo così come descritti in Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 657 - 659.

Negative functional heuristics (functional taboos):

avoid rigid functional stereotypes, ie, avoid thinking in terms of fixed essences. Avoid the reduction of the brief to generic or essentializing functional designations. Functions can no longer be represented by simple schedules of accommodation.

avoid segregative functional zoning, ie, avoid the Modernist principle of specialization in combination with urban separation. Do not insist on pure, either/or definitions for function zones. Do not insist on monofunctional territories.

¹³² **Positive functional heuristics (functional dogmas):**

all functions are parametric activity/event scenarios, ie, think in terms of gradient fields of activity. Formulate the substantial functional expectations in terms of the anticipated life-process that is to be accommodated, fostered and sustained by the project in question. This formulation will proceed via the description of social activities that are expected to unfold within the respectively designed spaces. These descriptions describe viable social scenarios

progettazione della forma dovrebbe essere considerato l'effettivo gradiente delle funzioni e delle attività le quali, nel breve e nel lungo periodo, si trasformano, si mescolano e si influenzano a vicenda. Ciò è possibile attraverso la definizione di scenari sociali, da considerare già nella progettazione, descritti in termini di persone, attrezzature e spazi coinvolti e, generalmente, in termini di parametri. In questa visione, quindi, la funzione supera il concetto di soddisfacimento di uno scopo prefissato ed è intesa come la capacità e la predisposizione¹³³ a soddisfare un gradiente di scopi non necessariamente considerati esplicitamente nella progettazione.

Sul piano formale, i *taboo*¹³⁴ continuano a sottolineare l'inadeguatezza delle primitive geometriche canoniche, quali quadrati, triangoli, cubi, piramidi, sfere, a corroborare l'agenda del Parametricismo a causa della loro ridotta capacità di variare, articolarsi, adattarsi e, in generale, modificarsi a seguito di stimoli esterni. Nei processi di composizione del progetto, quindi, dovrebbe essere evitata la semplice giustapposizione, ripetizione e serializzazione di primitive in quanto ciò è implicitamente inadatto a esprimere la varietà e diversità delle funzioni e dei parametri sottesi ad esse. Più precisamente, secondo Schumacher, progettare per associazione di primitive che non condividono una relazione esplicitata conduce verso la mancanza di ordine nella composizione.

– calibrated via multiple event parameters – that correlate actor to actor, actor to artefact, and artefact to artefact interactions. The description is thus elaborated as a parametric definition of variably determinable action-artefact networks. Allow the domains of activity to interpenetrate and gradually transform into each other. Allow for the simultaneity of multiple audiences or user groups. Also: function, rather than being only considered in relation to a predetermined purpose, might be understood as capacity or affordance that opens itself up for an evolutionary formation of new purposes.

all activities communicate with each other, ie, all territories and spaces are designed and oriented with a view towards maximizing the perceptual relatedness and easy accessibility of their respectively accommodated events/activities within an integrated ensemble of events/activities.

¹³³ Il termine usato da Schumacher, di difficile traduzione, è "Affordance". Tale termine è centrale nella trattazione di Patrice Ceccarini. Cfr. Ceccarini, P. & Rasoloniaina, L. (2021), (2021). "Le teorie della catastrofe e delle affordances. Ripensare l'epistemologia e la prassi architettonica e urbana", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10, pp. 145-155.

¹³⁴ **Negative formal heuristics (formal taboos):**

avoid rigid forms, ie, avoid rigid geometric primitives like squares, triangles and circles, or cubes, pyramids or spheres because these forms lack malleability, they lack adaptive capacity and thus the ability to enter into articulated relations.

These forms cannot react to each other's presence in any nuanced way. They remain blind, inert, uninflected.

avoid simple repetition, ie, avoid Modernist seriality and monotony because this implies a lack of variety or diversity of spatial offerings.

avoid collage of unrelated elements, ie, avoid the mere juxtaposition of isolated, unrelated elements, subsystems or territories because this implies a lack of order.

Infine, i *dogmi* formali¹³⁵ chiariscono che la malleabilità parametrica si ottiene attraverso una definizione esplicita ed esplicitata delle regole di formazione, deformazione e variazione della forma architettonica. Questo processo non deve essere arbitrario, ma governato da stimoli provenienti dalle necessità funzionali e dalle particolari caratteristiche dello spazio in cui la progettazione è inserita. La malleabilità parametrica della forma, quindi, richiede la sistematica interrelazione delle primitive geometriche, dei sottosistemi e dei sistemi che insieme compongono il progetto. La strumentazione digitale nella definizione della malleabilità parametrica è centrale in quanto le sue logiche, con particolare riferimento al mondo dello *scripting*, richiedono esplicitamente che la forma sia pensata in termini associativi e non più additivi. In breve: *script rather than model*¹³⁶.

L'agenda del Parametricismo

Nell'*autopoiesi dell'architettura*, Schumacher traccia le modalità per l'avanzamento del programma di ricerca/stile del Parametricismo, il quale non è assicurato dalla semplice applicazione nella progettazione di *taboo* e *dogmi*. Sono quindi proposte nella forma di *agenda*¹³⁷ 7 tematiche da introdurre nella progettazione per conseguire il progresso del Parametricismo¹³⁸: *Parametric Inter-articulation of Subsystems, Parametric Accentuation, Parametric Figuration, Parametric Semiology, Parametric Responsiveness, Parametric Ecology, Parametric Urbanism*.

¹³⁵ **Positive formal heuristics (formal dogmas):**

all forms must be soft, ie, consider all forms to be parametrically malleable. Local deformations might give information about the form's content or context. This implies the definition of rules of deformation.

all systems must be differentiated, ie, iterate and vary elements systematically, according to rules, to build up (sub)systems. Differentiate gradually (at variant rates) or according to rule-based thresholds. Parametric variation might thus be intelligent, ie, it responds to an inbuilt, performance-based constraint.

all systems must be correlated, ie, build up ordered complexity by correlating subsystems, by defining interdependencies. The differentiation of any posited subsystem (inclusive of the given context) might become the input data-set for a correlated differentiation in any further subsystem. One system's parametric differentiation is transcoded into the next system's differentiation. Thus all subsystems become mappings or mathematical representations of each other. The ambition of articulation suggests that these resonances should be perceptually palpable. Mathematical representation should become visual representation. In terms of the design process, the demand for correlation implies that any design action needs to be followed by a corresponding re-action.

¹³⁶ Schumacher, P., "Parametricism as Style - Parametricist Manifesto".

¹³⁷ Agenda è inteso come una lista di temi per i quali è stata pianificata una discussione.

¹³⁸ Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 669-675.

Parametric Inter-articulation of Subsystems. L'applicazione del Parametricismo a singoli subsistemi architettonici deve essere superata associando, per mezzo di scripting, più subsistemi come "*l'involucro, la struttura, le superfici occupate, le divisioni interne e i sistemi di distribuzione*". La forma architettonica, quindi, emerge come il prodotto di una fitta rete di relazioni verticali, cioè interne ai subsistemi, e orizzontali, cioè condivise tra più subsistemi. Se ne propone di seguito una breve descrizione.

Parametric Accentuation. La chiarezza della forma è da raggiungersi attraverso un sistema complesso di relazioni che amplifica la deviazione e la diversità e non attraverso meccanismi di adattamento e compensazione. Questo punto dell'agenda, oltre a esaltare le possibilità di nuove modalità di costruzione in cui il concetto di standardizzazione perde valore, auspica una forma architettonica riccamente articolata in cui, mantenendo una visione globale di unità, è accentuata la singolarità e unicità delle parti che compongono il progetto.

Parametric Figuration. I modelli parametrici possono essere costruiti considerando anche le variabili affini alla percezione, in modo da far emergere le molteplici letture del modello stesso. Oltre ai parametri più frequentemente utilizzati, come quelli afferenti alla dimensione geometrica della forma, dovrebbero essere considerati parametri relativi all'ambiente (come luce e condizioni atmosferiche) e relativi all'osservatore (come angoli di visuale e caratteristiche delle *camere* nelle restituzioni grafiche). L'importanza di questa dimensione più percettiva è da rintracciarsi nella consapevolezza che piccole variazioni parametriche possono comunque condurre a ciò che Schumacher chiama '*Gestalt-catastrophes*', cioè delle riconfigurazioni della forma percepite come cambiamenti significativi.

Parametric Semiology. I sistemi architettonici parametrici, se sufficientemente grandi e articolati, possono essere considerati un'occasione per la definizione di un sistema di significazione, cioè una lingua che preveda la codificazione degli aspetti formali e funzionali del progetto. Nelle ambizioni di Schumacher, questa lingua del Parametricismo dovrebbe essere, a sua volta, un sistema parametrico, cioè predisposto alla variazione e tradotto in termini di *scripting*. L'implicazione, sul piano teorico, è la possibilità di operare nel modello digitale per mezzo di un linguaggio architettonico.

Parametric Responsiveness. Lo spazio architettonico, alla scala dell'edificio e della città, può essere progettato implementando sistemi cinetici che ne permettano la riconfigurazione e l'adattamento in relazione a diversi scenari di occupazione e uso. A partire dall'accumulo di informazioni sulle modalità di uso dello spazio, è possibile trasformare la forma agendo su diversi orizzonti temporali, associando cambiamenti morfologici semi-permanenti nel lungo periodo a modificazioni più rapide in tempo reale.

Parametric Ecology. L'adattamento e la correlazione della forma architettonica rispetto ai parametri ambientali – come l'esposizione solare, la temperatura, la pressione del vento etc. – comporta un minore uso di sistemi meccanici energivori. Questo punto dell'agenda riconosce la centralità e l'efficacia del comportamento passivo dell'edificio per il superamento delle sfide ecologiche a cui, inevitabilmente, il progetto di architettura è chiamato a rispondere. L'abbondanza di dati sulle caratteristiche ambientali dei territori, se gestiti con gli strumenti e le tecniche del Parametricismo, possono quindi condurre a una declinazione *regionale* del Parametricismo, basata più sulle differenze delle condizioni climatiche dei luoghi che sulla loro tradizione vernacolare.

Parametric Urbanism. Quest'ultimo punto dell'agenda si basa sull'assunto che la forma urbana sia considerabile come uno sciame di edifici che compongono un campo in continuo cambiamento. L'ambizione di Schumacher risiede, quindi, nel creare relazioni tra la variazione alla scala dell'edificio e la forma della città in modo da consegnare allo *scripting* un campo di azione multi-scalare.

Il progresso del Parametricismo è legato, inoltre, a due ulteriori fattori. Uno di essi riguarda il continuo avanzamento e appropriazione di sofisticate tecniche computazionali. Più precisamente, Schumacher si spinge nel nominare esplicitamente le strumentazioni da padroneggiare per essere competitivi nel progetto di architettura di avanguardia¹³⁹: strumenti di scripting, come MEL Script e RhinoScript, di modellazione parametrica, come Generative Components e Digital Projects, insieme all'uso di simulazioni dinamiche e/o agent-based compongono l'orizzonte tecnico del Parametricismo.

¹³⁹ Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 669.

Un secondo fattore riguarda l'ispirazione che il Parametricismo trae dai sistemi naturali. Più precisamente, Schumacher suggerisce di importare nel progetto di architettura la strumentazione scientifica originariamente sviluppata per la simulazione dei sistemi naturali¹⁴⁰, e quindi ancora una volta di particolari tecniche computazionali. Le modalità di relazione e interdipendenza tra i subsistemi naturali di un organismo (es. epidermide, scheletro, apparato muscolare, apparato nervoso, apparato circolatorio etc.) possono quindi fornire delle metafore e analogie da trasferire nel progetto dei subsistemi architettonici (es. involucro, struttura, layout etc.). Vi è, però, una sostanziale differenza tra i sistemi naturali e il progetto di architettura, in quanto i primi sono sistemi chiusi, autonomi e completi mentre il progetto, nel suo divenire, è necessariamente incompleto e aperto a successivi approfondimenti ed elaborazioni. Di conseguenza, i subsistemi del progetto sono sempre aperti alla modificazione purché essa avvenga agendo sulla rete delle correlazioni ad esso sottesa e non, direttamente, sulla forma architettonica. I fenomeni naturali che Schumacher considera come portatori di diverse strategie di organizzazione della forma architettonica da trasferire verso il progetto comprendono¹⁴¹: *inorganic systems*, come membrane elastiche e fenomeni fluido dinamici, *swarms*, come sciami e greggi, *superorganisms*, come colonie di insetti e coralli, *organisms*, con riferimento al funzionamento di subsistemi come gli apparati respiratori e digestivi, *symbioses*, come quella instaurata tra granchi e anemoni, e, infine, *ecologies*, cioè una simbiosi omnicomprensiva che può coinvolgere tutti i sistemi naturali precedentemente citati.

Quanto detto finora discute il Parametricismo nella forma presentata nell'*autopoiesi dell'architettura* e negli scritti ad essa immediatamente successivi. È necessario però, brevemente, chiarire che a seguito dell'esaurimento della forza propulsiva propria del *Digital Turn*, il Parametricismo, secondo Schumacher, ha subito un processo di delegittimazione a causa di una generale desiderio di austerità dopo le crisi economiche che ancora oggi attraversiamo. Per riportare il Parametricismo al centro del dibattito architettonico, Schumacher proporrà un lieve *rebranding*, il "*Parametricismo 2.0*"¹⁴², cioè una visione meno legata all'innovazione formale e più attenta alla dimensione funzionale e costruttiva. Se nel

¹⁴⁰ Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 663.

¹⁴¹ Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 666-669.

¹⁴² Schumacher, P. (2016), "Parametricism 2.0 - Gearing up to Impact the Global Built Environment", in Schumacher, P. (ed.), *Parametricism 2.0 – Rethinking Architecture's Agenda*, AD Profile, no. 240, pp. 8-17.

suo manifesto, il Parametricismo era l'unico stile capace di sfruttare pienamente una particolare tecnica, cioè il digitale e il computazionale, nel Parametricismo 2.0 esso diventa l'unico modo, secondo Schumacher, per dare una risposta efficace alle sfide della società dell'informazione.

Il Parametricismo in questa ricerca è stato definito come “visione stilistica” dell'approccio parametrico in quanto esso è supportato da un orizzonte formale, tecnico e metodologico, e, in generale, da una *agenda* nell'ambito della quale operare per permettere l'evoluzione del Parametricismo stesso. Praticare il progetto di architettura avvicinandosi a questa visione, quindi, non può ridursi all'adozione delle più innovative tecniche di modellazione digitale ma implica sostenere con entusiasmo e convinzione che esse rappresentano il miglior modo per rispondere alle sfide imposte dalla contemporaneità.

1.4. DIVERGENZE NELLE TRE VISIONI

L'Architettura Parametrica di Moretti e il Parametricismo di Schumacher sono divisi da circa mezzo secolo di storia durante il quale si è sviluppata e affermata la cultura tecnica della strumentazione computazionale nel progetto di architettura. È naturale, quindi, poter evidenziare delle divergenze tra le tre concezioni dell'approccio parametrico discusse, cioè la visione scientifica, la visione computazionale e la visione stilistica. Queste divergenze sono da iscrivere principalmente a diversi stati dell'avanzamento della tecnica nel momento storico in cui esse si sono affermate. Tuttavia, le divergenze tra le tre visioni superano le limitazioni della tecnica e abbracciano anche la centralità della forma architettonica, la figura del progettista nel parametrico e l'interesse verso una riflessione più culturale sui temi del progetto di architettura.

La causa fondamentale delle divergenze tra le tre visioni è da rintracciarsi, quindi, nello stato di maturità della tecnica a disposizione del progettista per poter attuare la gestione parametrica del progetto di architettura. La strumentazione scientifica a disposizione di Moretti, prevalentemente proveniente dal mondo della ricerca operativa, presenta una limitata capacità di produrre e gestire forme architettoniche. Ciò è dovuto a molteplici fattori, in larga parte legati alla rudimentalità della strumentazione digitale che in quegli anni iniziava a distaccarsi dalle applicazioni prettamente militari. Gli strumenti a disposizione di Moretti, infatti, non permettevano la visualizzazione in tempo reale della forma. Nelle sue applicazioni,

essa si delinea, in larga massima, solo dopo una fase di interpretazione dei risultati delle analisi condotte sul problema architettonico. Si tratta di una situazione molto differente rispetto all'orizzonte tecnico nel quale si è sviluppato il CAAD, il quale ha contribuito attivamente a rendere meno ostile la strumentazione digitale applicata al progetto di architettura. Ciò non significa che la strumentazione computazionale sia stata sin da subito aperta a utilizzatori sprovvisti da consistenti competenze informatiche, ma piuttosto che essa, si è dimostrata capace di produrre forme architettoniche già a partire dagli anni 70.

Più precisamente, è possibile affermare che molte applicazioni che sperimentavano il digitale in architettura sono state sin da subito sviluppate con l'intento di produrre delle geometrie coincidenti con il progetto di architettura. Ciò ha condotto allo sviluppo di applicazioni non sempre trasferibili verso la pratica progettuale in quanto spesso non supportate da una consapevolezza delle ragioni del progetto di architettura.

A conferma di ciò, è possibile riconoscere come non sia stato il digitale del computazionale a diffondersi per primo nella pratica progettuale, bensì il digitale del computerizzato¹⁴³. Il computazionale, quindi, è stato per molti anni appannaggio di una schiera di progettisti con un forte background informatico e che si sono affacciati al digitale con uno spirito di entusiasmo e ricerca, il quale ha condotto spesso a una centralità dell'esuberanza formale a discapito delle esigenze funzionali.

Il Parametricismo di Schumacher, infine, si sviluppa in un orizzonte tecnico ancora differente, in quanto negli ultimi anni del *Digital Turn* la strumentazione digitale computazionale, nonostante non sempre originariamente sviluppata per essere applicata nell'ambito *Architecture, Engineering and Construction*, è ormai diventata democratica, accessibile e soprattutto idonea ad essere inserita anche in quegli approcci al progetto in cui la ricerca sulla strumentazione digitale non è centrale. Nel Parametricismo, almeno nello spirito del Manifesto, non è primario lo sviluppo di nuovi strumenti per il progetto, ma piuttosto è importante associare una dimensione culturale, fatta di principi metodologici e di

¹⁴³ Cfr. Schneider, P. & Fankhänel, T., "Architectural Software Timeline", in Fankhänel, T. & Lepik A. (eds.) (2020), *The architecture machine: the role of computers in architecture*, Basilea: Birkhäuser, pp. 226-233; Claypool, M. (2019). *The Digital in Architecture. Timeline*. SPACE10. [Online]. <https://www.pentagram.com/work/the-digital-in-architecture/story> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2022); Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press, p. XI.

un orizzonte formale, a una prassi professionale basata sul continuo trasferimento di tecniche computazionali verso il mondo dell'architettura.

Tra le tre visioni, quindi, evolve anche la figura dell'architetto che opera adottando l'approccio parametrico. Nel caso di Moretti è possibile parlare di un artista che intuisce le potenzialità di alcuni strumenti e che, per sperimentarne l'applicazione nel progetto di architettura, si circonda di un gruppo di esperti, prevalentemente matematici, capaci di usare tali strumenti. È necessario sottolineare che per Moretti l'esperienza del parametrico rappresenta un tema di ricerca circoscritto inserito all'interno di una vasta produzione professionale che spazia da edifici protagonisti del razionalismo italiano fino all'affermazione internazionale dopo la Seconda guerra mondiale. I primi pionieri della visione computazionale, invece, spesso non hanno associato allo sviluppo di applicazioni digitali una adeguata e sistematica sperimentazione progettuale. Ciò è dovuto in larga parte al loro essere informatici prestati all'architettura, oppure architetti nella cui ricerca la pratica professionale non sempre ha assunto un ruolo centrale. Questa scollatura tra lo sviluppo di strumenti digitali per il progetto di architettura e la loro effettiva possibilità di essere trasferiti con profitto nella pratica professionale si è nel tempo ricomposta ed ha condotto a un profilo ancora diverso per l'architetto che opera nell'ambito dell'approccio parametrico. Il progettista del *Digital Turn*, infatti, oltre ad avere una maggiore capacità di trasferire la sperimentazione digitale verso la pratica progettuale, sperimenta in prima persona con la strumentazione computazionale, ormai matura e *user-friendly*. Di conseguenza, oggi non è più imprescindibile una solida formazione informatica per appropriarsi della strumentazione computazionale.

Alle tre visioni corrispondono diversi approcci rispetto al problema della forma architettonica. È stato già chiarito come l'Architettura Parametrica di Moretti conduca a una proto-forma, cioè una delineazione di massima della forma architettonica da usare come guida per le successive fasi progettuali. Questa proto-forma è da cercarsi con uno spirito di "*verginità intellettuale*"¹⁴⁴, senza alcun tipo di preconcetto e pregiudizio, e soprattutto senza sviluppare a priori un registro formale da preferire nel progetto. Ciò non significa che la forma non sia centrale nell'Architettura Parametrica, ma piuttosto denota la convinzione di Moretti dell'impossibilità di ridurre la forma architettonica a una questione esclusivamente tecnica.

¹⁴⁴ Trascrizione del dibattito '*Structures, Mathématiques, Architecture Contemporaine*', Moretti, L., Musmeci, S., Plebo, A., Zevi, B. & Portoghesi, P., 23 novembre 1964, Roma. Cfr. ACS busta no. 42.

Nel caso della visione computazionale del parametrico genericamente inteso, con particolare riferimento alle sue prime storiche applicazioni, è possibile riconoscere la non piena centralità della forma architettonica. Più precisamente, la forma architettonica viene spesso ridotta ai suoi caratteri geometrici con il fine di attuare una concezione del progetto di architettura basata sul problem-solving. Questa riduzione è da considerarsi necessaria e propedeutica per utilizzare i primi, rudimentali, strumenti computazionali. La predeterminazione formale nella visione computazionale, quindi, non è compiuta a seguito di una riflessione sui linguaggi architettonici, bensì a seguito di una riflessione sulla topologia da assegnare alla geometria architettonica. Nel Parametricismo di Schumacher, infine, è possibile parlare di un forte condizionamento della forma architettonica dovuta principalmente all'adozione sin dalle prime fasi progettuali di un registro geometrico preferito. Inoltre, il prodotto del Parametricismo non è una proto-forma, come nell'Architettura Parametrica, né una discretizzazione geometrica, come nei pionieri della visione computazionale. Il prodotto del Parametricismo coincide, sin dalle sue prime applicazioni, con la forma architettonica. Ciò significa che questo prodotto non è posto alla base di successivi approfondimenti ma, teoricamente, è pronto per la costruzione.

Tra i caratteri che accomunano le tre visioni, vi è sicuramente un entusiasmo nei confronti del progresso della tecnica e la convinzione che attraverso esso sia possibile affrancarsi da una gestione del progetto di architettura ormai incapace di rispondere alle sfide della contemporaneità. È necessario, tuttavia, riflettere sul grado di maturità della riflessione teorica sui metodi del progetto da associare a questo progresso. Nel caso di Moretti è possibile riconoscere la maggiore efficacia della sua trattazione rispetto al tema della mentalità con cui approcciarsi ai nuovi strumenti progettuali da egli delineati. Ricordando la rudimentalità e la difficoltà nel produrre forma architettonica insiti nella strumentazione a disposizione di Moretti, la trattazione dell'Architettura Parametrica ha intuito le potenzialità del digitale, e quindi della metafora computazionale nel progetto, ma non ha potuto interessarsi alla dimensione pratica e operativa. Successivamente, nelle ricerche dei pionieri del computazionale precedentemente richiamate, il tema dell'etica e della rigosità nell'approccio al progetto non è più centrale, in favore di una maggiore attenzione proprio verso quella dimensione pratica e operativa di cui Moretti non poteva occuparsi.

Bisogna sottolineare, ancora una volta, che questa attenzione verso la dimensione pratica e operativa è più afferente al tema della *modellazione* del progetto di architettura che all'effettiva pratica professionale. Sarebbe, in ogni caso, sbagliato affermare un'assenza di riflessione teorica alle spalle dei pionieri del computazionale, ma è necessario riconoscere in essi una visione tecnica e non culturale della progettazione architettonica.

Nel caso del Parametricismo è apparentemente opportuno parlare di una visione di sintesi, in quanto in quella che Schumacher chiama *teoria unificata* per il progetto di architettura vi è una ambizione di totalità. Egli, infatti, delinea per il Parametricismo, tra le altre cose, ipotesi metodologiche, strumentali e formali, una storicizzazione delle sue origini e una *agenda* capace di garantirne il continuo progresso. Tuttavia, la visione di Schumacher non può considerarsi una sintesi in quanto nel suo sviluppo è ignorato il contributo delle teorie di Moretti¹⁴⁵. Inoltre, il Parametricismo è capace di inquadrare quei casi in cui la strumentazione computazionale è utilizzata per costruire una concezione esasperata del progetto di architettura ma risulta inadeguato ad affrontare quei diffusi approcci al progetto in cui i principi della gestione parametrica della forma architettonica sono applicati in modo flessibile e non rigido.

Si può quindi riconoscere che nelle pieghe definite dalle divergenze tra le tre visioni dell'approccio parametrico delineate in questo capitolo, possono instaurarsi delle concezioni più *liquide*, che non riconoscono un ruolo centrale agli strumenti digitali, che non sono supportate da pregiudizi formali e che non assegnano un ruolo "salvifico" alla tecnica di cui si servono. È quindi utile associare all'approccio parametrico delle visioni intorno alle quali organizzarne la conoscenza, ma, contemporaneamente, è necessario immaginare modalità operative per catturarne le manifestazioni meno strutturate.

1.5. UNA SINTESI. INVARIANTI DELL'APPROCCIO PARAMETRICO

Come è stato mostrato, al potenziamento dell'apparato tecnico di cui si servono le diverse manifestazioni dell'approccio parametrico è corrisposto un ampliamento di cosa nel tempo è stato considerato come suo dominio operativo e tecnico. La strumentazione propria dell'approccio parametrico ha quindi subito un processo di democratizzazione e diffusione

¹⁴⁵ Cfr. Lucente, R. & Canestrino, G. (2023), "Distance between theory and practice in a project by Luigi Moretti, Parametric Architecture's first theorist", *The Journal of Architecture*. In pubblicazione.

capillare nel progetto di architettura che ha condotto alla nascita di concezioni progettuali più informali, non supportate da una profonda conoscenza tecnica in quanto non più fondamentale per usare la strumentazione computazionale. Questa complessa situazione permette oggi di attuare una gestione parametrica della forma senza abbracciare necessariamente concezioni come quelle dell'Architettura Parametrica, del Parametricismo o della visione computazionale. Considerare affine al pensiero parametrico solo la rigida applicazione delle definizioni precedentemente richiamate condurrebbe alla conclusione che esso oggi ha un ruolo marginale nel dibattito architettonico. Ciò non può che essere in contrasto, tuttavia, con l'evidenza del fatto che un numero crescente di strumenti progettuali digitali, oggi centrali nella pratica architettonica, presentano una *cifra* parametrica nel loro modo di gestire il progetto. La delineazione di una contemporanea strategia di ricerca sul senso più profondo dell'approccio parametrico al progetto di architettura non può quindi ignorare, secondo chi scrive, la sua odierna condizione plurale ed eterogenea precedentemente definita.

Per quanto possa essere utile tracciare le caratteristiche di quegli approcci al progetto oggi percepiti come, in senso lato, parametrici, questo non semplice lavoro sarebbe comunque esposto al rischio di obsolescenza nel breve periodo. È infatti possibile affermare che l'approccio parametrico non abbia esaurito la sua forza innovatrice nei confronti del progetto di architettura come testimoniato dalle trasformazioni ancora in corso nei suoi strumenti¹⁴⁶. Inoltre, alle trasformazioni degli strumenti, e quindi del metodo progettuale, corrisponde un rinnovamento, anch'esso ancora in corso, della disciplina del costruire che nelle sue sperimentazioni più ardite potrebbe tradurre nella dimensione tettonica visioni dell'approccio parametrico finora considerate come incostruibili¹⁴⁷. Con ciò si intende che alcune innovazioni proprie del costruire, come il cantiere robotico, la prototipazione e la fabbricazione digitale, potrebbero dare concretezza a scenari tracciati nell'ambito dell'approccio parametrico che fino a oggi sono stati considerati al pari di irrealizzabili "architetture di carta". Questa consapevolezza denota, ancora una volta, che l'approccio parametrico ha ancora risorse per rinnovarsi e rinnovare il progetto di architettura.

¹⁴⁶ Per il rinnovamento auspicato nell'applicazione della strumentazione parametrica Cfr. Schumacher, P. (ed.) (2016), *Parametricism 2.0*, AD – Architectural Design, no. 240.

¹⁴⁷ Per una visione delle manifestazioni più esasperate ed estreme delle innovazioni del costruire **vedi sezione di bibliografia tematica**.

È necessario, quindi, riconoscere che dialogare con l'approccio parametrico e con le sue diverse possibili manifestazioni significa dialogare con una *architettura non-finita* in quanto disposta a colloquiare con la realtà esterna e per questo passibile di crescita e mutamento. Queste parole ricalcano un commento di Bruno Zevi in merito alla situazione con cui le invarianti da lui proposte erano, e sono, chiamate a dialogare¹⁴⁸.

Il richiamo a Zevi impone una ulteriore riflessione e cioè se non *“stiamo dilapidando un colossale patrimonio espressivo perché eludiamo la responsabilità di precisarlo e renderlo trasmissibile”*¹⁴⁹. Non è tra gli obiettivi di questa ricerca discutere se il patrimonio espressivo dell'approccio parametrico sia *“colossale”*, anzi, si potrebbe ritenere più interessante sostituire nella domanda di Zevi *“patrimonio espressivo”* con *“patrimonio metodologico”* quando si parla di questa particolare modalità di praticare il progetto di architettura. A ogni modo, è sicuramente registrabile l'assenza di un codice comune per poter parlare dell'approccio parametrico nelle sue diverse possibili manifestazioni. Più precisamente, manca un codice che guardi ai processi che conducono alla generazione della forma architettonica più che alle sue manifestazioni finali, capace di essere efficace nel parlare delle forme più rigide e strutturate dell'approccio parametrico ma al contempo utile a delineare le sue applicazioni più flessibili e informali. Questo codice, cioè, è chiamato ad assecondare quella già discussa *“ambiguità e non specificità”* che il grammatista Kilpatrick riconosce al termine parametro¹⁵⁰. Da ciò deriva un interesse nel ricercare definizioni aperte per la concezione parametrica nell'ambito del progetto di architettura, da aggiornare con l'inevitabile avanzamento della tecnica di cui essa si serve. Un linguaggio di base nel quale concordare termini, principi e procedure di un possibile modo di approcciare il progetto di architettura che, a causa della natura di ciò che ambisce a descrivere, sia falsificabile e implementabile nel breve e nel lungo periodo. Ciò significa che questo ipotetico linguaggio di base possa essere arricchito con l'invenzione, o la scoperta, di nuovi significati ma,

¹⁴⁸ Scrive Zevi: *“dall'elenco alla reintegrazione, queste invarianti richiedono la partecipazione in quanto puntano sul non-finito, su un processo di formazione, non sulla forma, su un'architettura passibile di crescita e mutamenti, non più isolata, anzi disposta a colloquiare con la realtà esterna, a sporcarsi a contatto del Kitsch”*.

Zevi, B. (1973), *Il Linguaggio moderno dell'architettura*, 5° ed., Torino: Einaudi, p. 66.

¹⁴⁹ Zevi, B., *Il Linguaggio moderno dell'architettura*, p. 9.

¹⁵⁰ Kilpatrick, J. (1984), *“Parameter”*, in Kilpatrick, J., *The Writer's Art*, Kansas City : Andrews, McMeel & Parker, pp. 210-2012 [Online].

soprattutto, che sia un modo di parlare di architettura che abbia un profilo di utilità nella conoscenza e nella pratica del progetto.

Per superare l'*impasse* e giungere a una definizione, seppur limitata e parziale, di cosa sia la concezione parametrica contemporanea si assumono una serie di ipotesi sulla base delle quali sarà costruita e proposta una categoria conoscitiva propria dell'approccio parametrico.

La prima ipotesi consiste nel porre una maggiore attenzione nel processo di formazione dell'idea progettuale rispetto alla sua manifestazione formale. Questa ipotesi permette di definire l'approccio parametrico guardando ai modi con cui esso gestisce la forma architettonica e, quindi, attraverso il suo patrimonio metodologico e non attraverso il suo patrimonio espressivo. È necessario chiarire che il portato espressivo dell'approccio parametrico non va ignorato e sarà in parte recuperato nella parte della ricerca dedicata ai codici ricorrenti della sua tecnica nel capitolo 3. Tuttavia, questo portato espressivo è non di rado utilizzato aggirando la gestione parametrica della forma architettonica. Inoltre, il portato espressivo dell'approccio parametrico è altamente instabile in quanto esso, come sarà mostrato, si nutre anche del progresso geometrico¹⁵¹ che inevitabilmente, utilizzando una metafora pienamente legittimata dalla cultura architettonica, è capace di aggiungere inedite *parole* al linguaggio architettonico. Ne deriva che cercare di definire la concezione parametrica guardando alle sue manifestazioni formali non solo rischierebbe di associare ad essa esperienze progettuali che si sono limitate ad assorbirne il patrimonio espressivo, ma condurrebbe anche a definizioni incapaci di adattarsi alla *liquidità* propria di questo approccio progettuale.

Si ritiene che la metafora della *liquidità*, così come proposta da Bauman¹⁵², sia capace di catturare le modalità con cui l'approccio parametrico si riadatta continuamente alle evoluzioni della tecnica di cui esso si nutre. Ma la liquidità dell'approccio parametrico riguarda anche i suoi prodotti in quanto le soluzioni progettuali che esso propone rappresentano solo delle effimere cristallizzazioni del processo che le ha generate e, inoltre, queste soluzioni potrebbero conservare degli aloni di indeterminatezza fino a un attimo prima della costruzione. Infine, anche i modi con cui si compie la pratica del progetto nell'ambito

¹⁵¹ Cfr. Schumacher, P. (2018), "The Progress of Geometry as Design Resource", *Log*, no. 43, pp. 105-118.

¹⁵² Bauman, Z. (2002), *Modernità liquida*, Roma: Laterza.

dell'approccio parametrico appaiono liquidi in quanto, diverse loro declinazioni, elevano la possibilità del cambiamento perenne a un valore metodologico da ricercare nella prassi progettuale.

Una seconda ipotesi è assecondare l'“ambiguità e non specificità” propria del concetto di parametro, ricercando definizioni aperte, da aggiornare con l'inevitabile avanzamento della tecnica. Questa ipotesi proposta permette di tracciare le caratteristiche di un approccio al progetto particolarmente instabile con una strategia di definizione altrettanto instabile. Ciò richiede uno sforzo importante in quanto ritarda il raggiungimento di una visione sintetica.

Quanto esposto finora conduce alla scelta di una strategia di definizione basata sull'uso di *invarianti*, intese come caratteristiche implementabili (e falsificabili) comuni nella gestione parametrica della forma architettonica. Il debito di questa strategia con il lavoro di Bruno Zevi è evidente; tuttavia, si specifica che le invarianti proposte non sono da leggersi in continuità con quelle del *linguaggio moderno dell'architettura* in quanto nascono da premesse differenti: le invarianti in questa ricerca sono proposte come uno strumento per arginare l'*indicibilità* dell'Architettura Parametrica e si limitano a guardare ai modi con cui essa gestisce la forma architettonica, mentre le invarianti di Zevi rispondono al bisogno di creare una lingua per *parlare architettura*¹⁵³ guardando al metodo progettuale¹⁵⁴, alla struttura generale della forma¹⁵⁵ e ai rapporti tra le sue componenti¹⁵⁶, alla struttura dello spazio¹⁵⁷, al trattamento dell'involucro architettonico¹⁵⁸, alla dimensione sociale dello spazio architettonico¹⁵⁹ e, infine, all'economia dello spazio architettonico¹⁶⁰. Si può dire, quindi, che le invarianti proposte in questa ricerca hanno ambizioni molto più modeste rispetto a quelle di Zevi, attribuendo a un particolare aspetto del comporre, cioè i modi di gestione della forma architettonica, la capacità di discernere cosa è affine all'approccio parametrico da cosa non lo è.

¹⁵³ Scrive Zevi: “anziché parlare fino al tedio di architettura, finalmente parleremo architettura”. Zevi, B., *Il Linguaggio moderno dell'architettura*, p. 12.

¹⁵⁴ Prima invariante: l'elenco come metodologia progettuale

¹⁵⁵ Seconda invariante: asimmetria e dissonanze

¹⁵⁶ Quarta invariante sintassi della scomposizione quadrimensionale

¹⁵⁷ Terza invariante: tridimensionalità anti-prospettica

¹⁵⁸ Quinta invariante: strutture in aggetto, gusci e membrane

¹⁵⁹ Sesta invariante: temporalità dello spazio

¹⁶⁰ Settima invariante: reintegrazione città-edificio-territorio

Si ipotizzando le seguenti invarianti dei modi con cui la forma architettonica è gestita nella concezione parametrica:

1. MANIPOLAZIONE NON-DIRETTA DELLA FORMA
2. STRUTTURAZIONE DELLA FORMA
3. ESPLORABILITÀ DELLA FORMA
4. VALUTABILITÀ DELLA FORMA
5. OTTIMIZZAZIONE DELLA FORMA
6. TEMPORALITÀ NON LINEARE
7. DELEGA VERSO PROCESSI TECNICI

Si propone, quindi, di comprendere cosa significa effettivamente una gestione parametrica della forma architettonica slegandosi da questioni legate agli strumenti del progetto e al digitale come, invece, proposto dalla quasi totalità di definizioni del parametrico precedentemente richiamate.

INVARIANTE N.1: MANIPOLAZIONE NON-DIRETTA DELLA FORMA

Alla prima invariante si affida il compito di tracciare un comune denominatore tra coloro che approcciano il progetto in termini *parametrici*. Ciò significa provare a rintracciare il nucleo fondante metodologico dell'approccio parametrico al progetto di architettura, da cui si diramano i suoi differenti caratteri identitari. Affinché la prima invariante non vada incontro a obsolescenza, si propone di non guardare alle manifestazioni formali ma di concentrarsi sui modi con cui l'approccio parametrico è capace di reificare la forma architettonica, interrogandosi sulle peculiarità di questo processo. È quindi opportuna una riflessione sul rapporto tra forma e progetto di architettura prima di proporre la prima invariante dell'Architettura Parametrica.

La forma architettonica ha da sempre avuto bisogno del valore trasformativo del progetto per essere raffinata, o per essere relegata a ipotesi non praticabile. Uno degli strumenti chiave di questo processo di formazione dell'idea-progetto è il disegno che, secondo una estrema semplificazione, opera tramite la modifica, l'aggiunta o l'eliminazione degli

elementi che compongono la scrittura di un progetto di architettura. Questo processo di scrittura, e *riscrittura*, del progetto, operato tramite il disegno, storicamente si è compiuto agendo direttamente sulla forma architettonica. La manipolazione dell'idea-progetto, dizione tesa a sottolineare il valore artigianale di questa operazione, si compie principalmente attraverso la modifica diretta della sua rappresentazione grafica. Fondamentale, ai fini della delineazione della prima invariante, è la *prefigurabilità* dei risultati di questa manipolazione, in quanto non vi sono intermediazioni tra l'azione del progettista e i suoi effetti sulla forma architettonica. Ciò significa che in una concezione più tradizionale della forma architettonica, un progettista modifica quest'ultima agendo direttamente sulla rappresentazione di essa. Quando si pensa al disegno digitale permane la possibilità di manipolare in modo diretto la forma architettonica, ma si diffonde un nuovo paradigma: la forma può emergere come un prodotto delle relazioni e delle caratteristiche degli elementi architettonici che la compongono. Ciò permette di manipolare la forma architettonica non solo modificando la sua manifestazione esplicita, ma anche agendo sulla sintassi che la genera. Si propone di identificare quest'ultimo atteggiamento con la locuzione "manipolazione non-diretta".

Si può affermare che la "manipolazione diretta" e la "manipolazione non-diretta" possono coesistere nel disegno digitale e un progettista può attribuire a queste due concezioni una diversa e opportuna rilevanza nella costruzione della sua personale poetica.

Nell'ambito dell'approccio parametrico al progetto questa riflessione è estremizzata in quanto è negata la possibilità della manipolazione diretta della forma architettonica, costringendo così a lavorare solo ed esclusivamente agendo sul processo che la genera. Si propone, quindi, di individuare in questo peculiare aspetto del processo di generazione e progettazione della forma architettonica la prima invariante dell'Architettura Parametrica a cui si dà il nome di "manipolazione non-diretta". Più precisamente, nell'approccio parametrico la manipolazione non-diretta è l'unica modalità possibile per modificare la forma architettonica.

La locuzione "manipolazione non diretta" individua una condizione in cui tra l'azione del progettista e il suo effetto sulla forma architettonica è interposta una struttura di mediazione che impedisce, categoricamente, di manipolare direttamente le manifestazioni della forma architettonica. Attuare sulla forma architettonica esclusivamente manipolazioni indirette

comporta l'impossibilità di adoperare un segno architettonico senza averlo prima analizzato a fondo, esplicitato e risemantizzato.

La manipolazione indiretta racchiude l'aspetto più dirimente dell'approccio parametrico in quanto mette in discussione l'uso di uno strumento primordiale della composizione architettonica, cioè la forma, intesa come il *"modo di consistere di un oggetto architettonico, la sua essenza, il punto ideale in cui convergono tutti i suoi diversi livelli strutturali e linguistici"*, secondo Franco Purini¹⁶¹, lo *"spazio nel quale la molteplicità dei materiali astratti e concreti che identificano un edificio si unifica in un'espressione unitaria e riconoscibile"* secondo Vittorio Gregotti¹⁶². Riflettendo su queste due definizioni, la prima invariante proposta presenta un'apparente debolezza, cioè usare un qualcosa di indicibile e sfuggente, come la forma architettonica, per definire cosa significhi approcciarsi al progetto con una visione parametrica. In realtà, affidarsi alla forma, e più precisamente ai modi con cui essa è gestita, affida una rinnovata importanza all'indicibilità, sfuggevolezza, ambiguità, indeterminatezza e liquidità dell'approccio parametrico.

Parlare di manipolazione non-diretta della forma, e non della semplice geometria, permette di catturare con un'unica invariante l'eterogeneità propria dell'approccio parametrico e, conseguentemente, consente di tracciare una chiara connessione tra esperienze, quali, a titolo di esempio, gli stadi di Luigi Moretti, le equazioni di Felix Candela e le strutture involucro globale di Frei Otto, che fino a oggi venivano considerate come diverse stagioni di una generica, e troppo omogenea, visione parametrica del progetto di architettura. Inoltre, introdurre la forma architettonica nella definizione dell'approccio parametrico supera la sovrapposizione rispetto alla semplice "modellazione parametrica", la quale è più facilmente definibile richiamando i concetti di "geometrie associative", "modellazione feature-based", "modellazione algoritmica" e affini¹⁶³.

Manipolare in modo non-diretto la forma architettonica, cioè riservandosi la possibilità di agire solo sul processo di *istruttoria* che la determina, è un atto di apertura rispetto al pensiero algoritmico, ma è contemporaneamente un atto di rinuncia rispetto all'affabulazione

¹⁶¹ Purini, F. (2014), lemma 'forma' in: Wikitecnica *"L'Architettura"*, Utet Scienze [Online]. <https://www.teknoring.com/wikitecnica/progettazione-architettonica/forma/> (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022)

¹⁶² Gregotti, V. (2018), *Il territorio dell'architettura*, 4° ed., Milano: Feltrinelli.

¹⁶³ Cfr. le definizioni di parametrico ampiamente discusse nel paragrafo sulla "Visione computazionale.

del disegno e del modello. La manipolazione non-diretta della forma architettonica può attuarsi con diversi livelli di rigorosità e temporalità, in quanto può esaurirsi nelle prime fasi di ideazione della forma¹⁶⁴ conducendo a una proto-forma, ma potrebbe essere implementata fino alle fasi di cantierizzazione e, in linea teorica, anche nella gestione e dismissione del manufatto architettonico.

La prima invariante è il vero azzeramento portato, o imposto, dall'approccio parametrico nei confronti della gestione della forma architettonica. Si tratta della più profonda *trasgressione* di questo approccio in quanto allontana il progettista dal suo strumento più intimo, la forma architettonica. Una presa di posizione metodologica e operativa che condiziona in modo dirompente il processo della progettazione architettonica e che risulta propedeutica all'implementazione delle successive invarianti.

INVARIANTE N.2: STRUTTURAZIONE DELLA FORMA

Dopo aver riconosciuto nell'approccio parametrico l'attitudine, e a volte l'imposizione, a manipolare esclusivamente in modo non-diretto la forma architettonica, si assume la possibilità che essa sia concepibile come una *struttura di relazioni*¹⁶⁵ tra le sue parti. Esula dagli obiettivi di questo lavoro discutere se la forma architettonica si esaurisca in una struttura di relazioni e ci si limita a richiamare un'affermazione di Luigi Moretti secondo cui le due "direzioni genetiche" *struttura→forma* e *forma→struttura* sono capaci nelle loro infinite possibilità di modulazione di assorbire l'intera dialettica architettonica¹⁶⁶. Un progettista compie quindi una scelta di campo quando decide, più o meno consciamente, di abbracciare il paradigma *struttura→forma* oppure *forma→struttura*, o ancora quando si muove dialetticamente tra questi due paradigmi. Se si guarda a ciò che nel tempo è stato annoverato tra gli strumenti dell'approccio parametrico, siano essi di tipo matematico, logico, informatico o fisico, emerge chiaramente la vicinanza al paradigma *struttura→forma*.

¹⁶⁴ Già Moretti affermava che l'architettura parametrica conducesse ad una "pre-forma latissima". Cfr. Moretti, L. (1951), "Struttura come Forma", *Spazio*, no. 6, pp. 21-30; 110.

¹⁶⁵ In questa tesi, il termine "struttura" assume il significato già assegnato da Moretti: "[l'essenza di un soggetto] è data dal complesso di relazioni in cui le aggettivazioni principali e secondarie, le forze e le modalità che la determinano e la governano, vivono contemporaneamente insieme; complesso di relazioni che costituisce quella struttura, intesa la dizione in senso logico-matematico, che sola e indipendentemente dal valore concreto delle aggettivazione, costituisce e definisce il soggetto". Moretti, L., "Struttura come Forma".

¹⁶⁶ Moretti, L., "Struttura come Forma".

Tuttavia, non si può considerare come invariante dell'approccio parametrico il semplice pensare l'architettura come struttura, assegnando a struttura il significato logico-matematico di "complesso di relazioni". È necessario trasformare questa scelta di campo in una indicazione operativa, capace di esemplificare un ulteriore aspetto di come è gestita la forma architettonica all'interno dell'approccio parametrico. La seconda invariante proposta è la "strutturazione della forma", dizione tesa a riconoscere un cambiamento dell'oggetto del progetto, che non è più la forma bensì un insieme di relazioni, regole, rapporti, correlazioni capaci di generare, produrre, rappresentare, delineare una forma. La strutturazione, quindi, indica il processo con cui si delinea una struttura per la forma architettonica prima ancora che si delinei la forma stessa.

In una certa misura, il paradigma *struttura*→*forma* è da sempre presente nel progetto di architettura, si pensi per esempio a come gli ordini architettonici esplicitano le relazioni sottese alle forme architettoniche. Tuttavia, con particolare riferimento agli ordini architettonici, la loro struttura è stata delineata riconducendo a una norma alcune prassi della forma architettonica. Questo processo si è compiuto in un orizzonte temporale ben più lungo dei tempi del singolo progetto di architettura. Nell'approccio parametrico, questo processo di delineazione della struttura della forma deve compiersi entro i tempi del progetto stesso. Di conseguenza il progettista non si limita a riconoscere la struttura della forma, ma è chiamato a progettarela.

Progettare la struttura della forma può evidentemente consegnare una maggiore chiarezza sulle ragioni e sulle logiche più intime della forma architettonica. Tuttavia, questo atteggiamento proprio della concezione parametrica della forma deve necessariamente dialogare con i diversi livelli di approfondimento che le diverse scale e i diversi momenti del progetto richiedono. Così come le altre invarianti proposte, anche la seconda invariante può essere implementata con diversi livelli di rigosità e approfondimento, generando come output una "pre-forma" da verificare e approfondire in successive fasi del progetto, oppure delineando una forma compiuta in cui tutti gli elementi che la compongono possiedono un livello di approfondimento tale da consentire già la cantierizzazione del progetto. Non è compito di questo lavoro rintracciare la condizione ottimale dell'implementazione della seconda invariante, ma è necessario riconoscere come ai differenti modi con cui essa si

concretizza corrispondono diverse *organizzazioni dei materiali del progetto*, e di conseguenza differenti poetiche personali.

INVARIANTE N.3: ESPLORABILITA' DELLA FORMA

Come è stato discusso, l'approccio parametrico pone una particolare enfasi nella progettazione della struttura della forma, più che nella forma stessa. Risulta evidente, però, che il progetto architettonico non può concludersi con la strutturazione della forma in quanto quest'ultima potrebbe essere inadatta a rispondere con sufficiente prestazione e qualità alle esigenze funzionali, spaziali, tecniche imposte dalla domanda di architettura. Come è stato già ricordato, la forma architettonica ha bisogno del valore trasformativo del progetto di architettura per essere indagata, domata, raffinata o per essere semplicemente catalogata come ipotesi non praticabile. Ciò significa che, una volta delineata una struttura per la forma architettonica, e dopo averne *congelato* tutti i parametri¹⁶⁷ coinvolti nella sua struttura, la sua effettiva reificazione potrebbe essere insoddisfacente. Le prime due invarianti suggeriscono che l'approccio parametrico supera questo inevitabile *impasse* non modificando direttamente la forma architettonica bensì operando sulla sua struttura. Ciò non è sufficiente a chiarire in che modo l'approccio parametrico attui il valore trasformativo del progetto di architettura.

Una caratteristica fondamentale dell'idea di struttura che si propone in questo processo di appropriazione condotto per l'Architettura Parametrica è che la forma finale è solo una possibile manifestazione della sua struttura stessa. Questa locuzione possiede una forza dirimente in quanto da essa deriva che l'effettiva forma costruita sia solo una delle potenzialmente infinite variazioni di una struttura. La terza invariante proposta vuole catturare il carattere operativo alla base dei processi decisionali condotti nell'Architettura Parametrica. Si suggerisce che nelle esperienze operative dell'approccio parametrico sia presente una strategia per potere indagare un elevato numero di soluzioni architettoniche, ambendo, in linea teorica, a sviscerare tutte le possibili ricombinazioni possibili di una struttura. È evidente, però, che al crescere della complessità delle strutture definite dall'approccio parametrico è impensabile, a oggi, indagare in modo esaustivo tutte le potenziali *variazioni* di una struttura; tuttavia, si può individuare un carattere distintivo

¹⁶⁷ Termine, per le motivazioni esposte in apertura della ricerca, inteso nel suo significato più ampio

dell'approccio parametrico nella ingente quantità di soluzioni architettoniche che riesce a considerare.

La volontà di comporre e scomporre i materiali del progetto fino ad arrivare a una loro configurazione valutata come ottimale è una peculiarità che distingue il progetto di architettura da altre attività progettuali. Questa attività, magnificamente fotografata dalla dizione di *progetto tentativo* proposta da Giancarlo De Carlo, si compie valutando parallelamente differenti idee-progetto che possono condurre a esiti formali significativamente differenti tra di loro. L'approccio parametrico, invece, si concentra sullo sviscerare un'unica idea-progetto producendo delle famiglie di soluzioni architettoniche che condividono la stessa struttura. Per potere fare ciò, l'idea progettuale deve essere sin da subito pensata come "esplorabile", cioè deve essere espressa in una struttura che si presti a essere indagata e a generare un importante numero di soluzioni architettoniche. Si propone, quindi, come terza invariante dell'architettura l'"esplorabilità della forma architettonica", intesa come l'attitudine a delineare strategie operative per poter indagare a fondo le possibili diramazioni, variazioni e alternative di una idea progettuale.

INVARIANTE N.4: VALUTABILITÀ DELLA FORMA

La traduzione di quanto detto finora nella pratica progettuale pone diverse difficoltà. In particolare, è evidente che le invarianti esposte conducono alla produzione di una ingente quantità di informazioni la cui gestione mette in crisi l'approccio tradizionale alla progettazione architettonica. Di fatto, si può riconoscere una *infodemia* latente nell'applicazione dell'approccio parametrico in quanto, a partire dalla propensione all'*esplorazione estrema* dell'idea progettuale, esso tende a considerare un elevato numero di alternative progettuali e variabili prima di giungere a una forma architettonica stabile. Da ciò nasce una certa difficoltà nel pervenire alla conoscenza sintetica tipica della progettazione architettonica.

Le strategie attuabili per superare questa condizione di difficoltà decisionale sono diverse. Una riduzione dei parametri coinvolti nella progettazione permetterebbe alla forma architettonica delle possibilità di oscillazione minime, e di conseguenza, come già riconosciuto

da Luigi Moretti¹⁶⁸, condurrebbe alla possibilità di *dedurre* in modo scientifico la forma architettonica. Tuttavia, lo stesso Moretti riconosce come questa operazione di censura sulla variabilità del progetto rientra nel campo della tecnica, all'“*estremo limite di quella che io chiamo, e sostengo 'Architettura Parametrica'*”¹⁶⁹. Una seconda possibile soluzione è l'adagiarsi su soluzioni formali, funzionali, spaziali, tecniche che hanno già dimostrato la capacità di risolvere il problema architettonico con un apprezzabile grado di affidabilità e qualità. Questa strategia, seppur ampiamente praticata nella progettazione architettonica, risulta in chiaro contrasto con la volontà di continua *risemantizzazione* della forma architettonica che è alla base dello spirito della concezione parametrica del progetto.

Da una visione trasversale delle diverse applicazioni progettuali che nel tempo sono state annoverate come vicine all'approccio parametrico genericamente inteso, emerge la tendenza a superare questa difficoltà introducendo una ulteriore *complessificazione* del processo progettuale, cioè la valutazione della forma architettonica: i *form-finding* di Antoni Gaudì, le applicazioni CAAD di Mitchell, le contemporanee applicazioni degli *Evolutionary Multi Objective Algorithm* appaiono accomunati dalla definizione di modi per quantificare la qualità della forma architettonica. Si tratta di una tendenza sicuramente presente anche in approcci al progetto più tradizionali, tuttavia la valutazione nella concezione parametrica supera la considerazione del processo progettuale come un *Constraint satisfaction Problems*, termine matematico che indica il soddisfacimento di vincoli e limitazioni con una visione binaria, del tipo “soddisfatto” o “non-soddisfatto”, 1 e 0. Una intuizione propria dell'approccio parametrico è misurare il livello di soddisfacimento dei vincoli e delle limitazioni del problema progettuale in modo da fornire al progettista informazioni utili per orientare il progetto della forma architettonica.

Si propone di definire la quarta invariante come “valutabilità della forma”, riconoscendo la tendenza nell'ambito della pratica dell'approccio parametrico a costruire una dimensione informativa associata alle differenti alternative progettuali capace di fornire elementi su cui basare l'evoluzione del progetto di architettura. Ne deriva il dilagare dei processi di

¹⁶⁸ Moretti, L. (1956), “Forma come Struttura”, *Spazio*, estratti

¹⁶⁹ Moretti, L., “Forma come Struttura”. Su questo tema si consiglia la riflessione di Moretti sui temi per i quali l'architettura sia capace di esprimere un grado di “efficiente precisione”, cioè quei temi che implicano un elevato numero di parametri e “grandi numeri”. Moretti, L. (1971), “Ricerca matematica in architettura e urbanistica”, *Moebius*, a. IV, no.1, pp. 30-53.

formalizzazione, termine legato dal significato di forma architettonica che in ambiente informatico indica l'insieme delle operazioni per descrivere un sistema, analizzarne il comportamento, delinearne le caratteristiche chiave con lo scopo di orientare la sua progettazione con processi rigorosi ed efficienti¹⁷⁰.

Sarebbe sbagliato considerare l'invariante della valutabilità come un mero avvicinamento dell'approccio parametrico a una dimensione funzionale a causa dell'eterogeneità degli aspetti a cui possiamo associare una misura del livello di efficienza: radiazione solare incidente, deviazione standard degli elementi prefabbricati, rispondenza al programma funzionale, comportamento strutturale, minimizzazione dei materiali utilizzati e molto altro. In breve, ogni aspetto a cui è possibile associare una quantità è, teoricamente, adottabile come misura di valutazione della soluzione architettonica. Inoltre, è importante riconoscere che nell'ambito dell'approccio parametrico la valutazione assume un carattere multidisciplinare in quanto è possibile ricevere feedback da più discipline senza cambiare il medium nel quale si compie la progettazione.

In definitiva, la "valutabilità della forma" si manifesta nella pratica dell'approccio parametrico come un gradiente di possibilità, che vanno, a titolo di esempio, dalla delineazione di controlli che le soluzioni progettuali sono chiamati a soddisfare fino all'attuazione di analisi e simulazioni capaci di associare a ogni soluzione un livello di efficienza.

INVARIANTE N.5: OTTIMIZZAZIONE DELLA FORMA

La quinta invariante proposta è l'"ottimizzazione della forma". Essa si presenta con l'introduzione nel progetto di architettura di processi capaci di identificare le forme architettoniche più efficienti tra un numero considerevole di alternative progettuali. L'ottimizzazione può attuarsi attraverso un processo di induzione capace di derivare in modo scientifico l'alternativa progettuale più efficiente, oppure attraverso processi che calcolano alternative progettuali con un approccio *trial and error* producendo un'ingente quantità di

¹⁷⁰ La disciplina dell'ingegneria del software, a differenza della progettazione architettonica, ha individuato una soluzione alla complessificazione degli oggetti progettati nella standardizzazione dei processi progettuali. Per il significato di "formalizzazione" in questa disciplina tecnica vedasi: Hierons, R. M. et al. (2009), "Using formal specifications to support testing", *ACM Computing Surveys*, no. 41(2). Gaudel, M. C. (1994), "Formal specification techniques", *Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering*, pp. 223–227.

dati tra i quali ricercare la soluzione più performante¹⁷¹. Si tratta di processi presenti in modo diffuso nel progetto di architettura in quanto in esso è insita la tendenza a orientarsi verso una sua performance ottimale e verso un uso razionale delle risorse, in senso lato, utilizzate.

L'ottimizzazione nell'approccio parametrico è elevata a invariante in quanto è attuata non come bisogno intrinseco del progetto, bensì come intento progettuale esplicitato che richiede l'introduzione attiva di tecniche e strumenti interdisciplinari nel progetto di architettura e che, quindi, impatta profondamente l'evoluzione della forma. Inoltre, nella concezione parametrica dell'ottimizzazione si assiste a un processo di estremizzazione di caratteristiche già presenti nel progetto che possono essere sintetizzate nell'ingente aumento del numero di alternative progettuali indagate, nella maggiore complessità e quantità degli indicatori oggetto dell'ottimizzazione, nella contrazione della dimensione temporale con cui si perviene a una soluzione ottimizzata e nell'automazione dell'intero processo.

È evidente che la valutazione è propedeutica all'ottimizzazione in quanto descrive gli indicatori da considerare nella ricerca della configurazione più desiderabile della forma architettonica, ma queste due invarianti agiscono su due momenti diversi del progetto. La valutazione è una invariante capace di orientare il processo di ricerca della forma, agisce cioè nell'ambito dell'evoluzione dell'idea progettuale. L'ottimizzazione, invece, riguarda il processo decisionale in quanto è capace di fornire indicazioni discrete nella forma di un numero limitato di alternative progettuali più efficaci. Ciò è perseguibile introducendo nel progetto un numero considerevole di tecniche che saranno successivamente discusse, dai modelli di *form-finding* fino alle analisi agli elementi finiti, dalle iterazioni manuali fino alle ottimizzazioni evolutive.

Le tecniche richiamate, quando messe a sistema, non sono da considerarsi come degli strumenti neutrali, ma come strumenti che per loro stessa natura sono capaci di influenzare i modi con cui la forma architettonica è progettata. Essi mutano profondamente la figura del progettista a cui viene sottratto il compito di indagare l'idea progettuale. Ciò non conduce necessariamente all'eclissamento del progettista, il quale è comunque chiamato a gestire il processo decisionale a valle dell'ottimizzazione che non sempre restituisce una singola soluzione progettuale. Piuttosto, è opportuno parlare, nell'ambito dell'invariante

¹⁷¹ Per i due tipi di approcci all'ottimizzazione, vedi: Canestrino, G. (2021), "Considerations on Optimization as an Architectural Design Tool", *Nexus Network Journal*, no. 23, pp. 919–931.

dell'ottimizzazione, di un progettista che opera come un "allevatore di soluzioni progettuali"¹⁷² che si occupa di definire le modalità secondo cui le diverse alternative progettuali sono chiamate a competere tra di loro seguendo una metafora darwinista-evolutiva. In ogni caso, l'invariante dell'ottimizzazione stimola i processi di mescolamento e di ibridazione delle alternative progettuali con il fine di perseguire una maggiore efficienza della forma, e conduce il progettista ad assumere un ruolo di regia rispetto alla sua evoluzione.

INVARIANTE N.6: TEMPORALITÀ NON LINEARE

La sesta invariante proposta per l'approccio parametrico deriva da una riflessione sul tempo nel progetto di architettura. Più precisamente, si vuole riflettere sulla gestione del tempo nel processo della progettazione architettonica. Appare evidente la possibilità di considerare il tempo dedicato, o dedicabile al progetto, un *materiale* architettonico, in quanto la sua scarsità, o la sua sovrabbondanza, può contribuire a orientare il *dispiegarsi* del processo progettuale. Inoltre, il tempo nella progettazione può essere gestito in diversi modi, decidendo di assegnare maggiore o minore attenzione a precisi aspetti del progetto. La sesta invariante, denominata "temporalità non lineare", vuole delineare la particolare organizzazione del tempo proposta nell'approccio parametrico, la quale si ipotizza sia basata sull'*anticipazione* e sulla *contrazione*.

Per anticipazione si intende la condizione necessaria per poter attuare le invarianti proposte finora. Pensare la forma in termini di struttura implica una organizzazione del tempo del progetto sbilanciata verso le fasi istruttorie della forma stessa, le quali vanno affrontate con una particolare attenzione per poter delineare cosa è opportuno analizzare, misurare, ottimizzare. Inoltre, è nella fase istruttoria che si delinea il campo di variazione all'interno del quale sono contenute, implicitamente, le possibili alternative della forma. Ciò significa che la possibilità di esplorare una famiglia di forme architettoniche composta da un numero di soluzioni potenzialmente infinite si ottiene successivamente a un processo di progettazione estremamente oneroso in termini di tempo speso e competenze introdotte. Ne deriva che la forma architettonica è prefigurata con un certo ritardo rispetto ad approcci più tradizionali in

¹⁷² Questa metafora è stata indagata già nel 2002 da Manuel De Landa il quale parla, nell'uso di algoritmi di ottimizzazione evolutiva, di un progettista che agisce come un "allevatore di cavalli da corsa".
De Landa, M. (2002), "Deleuze and the use of the genetic algorithm in architecture", *AD - Architectural Design*, vol. 72, no. 1, pp. 9-13.

quanto l'approccio parametrico impone un incremento dei tempi necessari a dare concretezza a una idea progettuale.

La contrazione, invece, indica una riduzione del tempo necessario a modificare tale idea progettuale. Tradizionalmente, l'esplorazione della forma architettonica è condotta in una certa misura attraverso processi *trial and error*, basati cioè su modificazioni che per tentativi orientano il progettista verso una configurazione finale. Ogni tentativo progettuale ha necessità di essere valutato, e questa valutazione intercorre dopo un periodo più o meno lungo se si pensa all'uso di strumenti come plastici architettonici, disegni, semplici modelli digitali. L'approccio parametrico contrae la distanza tra la volontà di modificare una forma e la valutazione di cosa comporta questa modifica. Si sottolinea, tuttavia, che non è importante se il feedback tra azione e reazione sia istantaneo e repentino. Basti pensare, come sarà successivamente discusso, alle analisi parametriche di Luigi Moretti, le quali necessitavano di un processo di interpretazione prima di essere trasposte in forma architettonica. Importante, invece, è riconoscere che i ponti creati nell'ambito dell'approccio parametrico tra l'introduzione di una modifica e la sua manifestazione sulla forma tendono ad essere più brevi rispetto ad approcci più tradizionali.

La sesta invariante, quindi, riconosce che la gestione della forma architettonica in termini parametrici comporta una profonda riorganizzazione dei tempi del progetto, e più in generale, degli sforzi dedicati al progetto. Il tempo dedicato al progetto non è lineare ma si dilata e si contrae secondo le esigenze della strumentazione introdotta nella progettazione.

INVARIANTE N.7: DELEGA VERSO PROCESSI TECNICI

La settima invariante deriva da una intuizione apparentemente semplice: nella pratica dell'approccio parametrico non è necessario che il progettista si occupi direttamente di tutti gli aspetti del processo progettuale. Con ciò non si intende discutere della gestione e divisione dei compiti all'interno dell'organizzazione di uno studio di architettura, bensì della possibilità che parte dei compiti afferenti alla progettazione sia delegata a un processo tecnico in grado di compiere questi compiti con un elevato livello di automazione. La settima invariante, quindi, prende il nome di "delega verso processi tecnici".

Appare, tuttavia, evidente che la delega verso i processi tecnici rappresenta oggi una cifra caratteristica della nostra contemporaneità. Questo tema è indagato già da Mitchell nel

1975 il quale riconosce che il livello “meno ambizioso”¹⁷³ della delega di compiti verso una macchina afferisce all’ambito della rappresentazione, intesa da lui come la gestione e produzione di database di informazioni. Si può affermare, quindi, che delegare verso un qualsiasi processo tecnico aspetti quali la conservazione di informazioni, la produzione di disegni o l’analisi delle quantità non sia una invariante dell’Architettura Parametrica, bensì la naturale conseguenza della diffusione di una tecnica sempre più efficiente.

L’approccio parametrico, invece, delega attività che lambiscono la dimensione ideativa della progettazione architettonica, come la generazione di soluzioni architettoniche, la loro valutazione o l’individuazione delle soluzioni più performanti. Come già spiegato, il tentativo di parlare dell’approccio parametrico alla progettazione architettonica attraverso il riconoscimento di invarianti implica che queste invarianti possano essere attuate con diversi livelli di rigore e in diverse fasi del progetto. È sbagliato, quindi, considerare l’approccio parametrico come un semplice processo di automazione del progetto. Risulta più corretto, secondo chi scrive, riconoscere che all’interno di un processo progettuale affine all’approccio parametrico si instaura in modo più o meno consapevole un modello di divisione dei ruoli afferenti alla sfera ideativa tra il progettista, inteso sia come singolo che come organizzazione di persone, e un processo tecnico, che può assumere la forma dell’ideazione di un modello fisico, matematico, digitale e altro.

La possibilità di delegare parte della dimensione ideativa, allo stato attuale della tecnica, non risulta applicabile in modo indiscriminato a ogni modo di gestire, pensare, produrre, e progettare la forma architettonica. Ciò significa, a titolo di esempi, che per delegare il processo di valutazione è necessario aver formalizzato quali sono le modalità con cui analizzare la forma architettonica mentre per delegare la generazione di soluzioni architettoniche è necessario avere associato alla forma architettonica una struttura capace di generarla.

La previsione di instaurare un modello di divisione dei compiti tra il progettista e un processo tecnico, quindi, ha delle conseguenze dirompenti in quanto può orientare l’organizzazione dei materiali del progetto.

¹⁷³ Mitchell, W. J. (1975), “The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, no. 2(2), pp. 127–150.

1.6. CONCLUSIONI

IF YOU WANT TO GET THE MOST OUT OF A SKETCH, YOU NEED TO LEAVE BIG ENOUGH HOLES.¹⁷⁴

La delineazione delle invarianti proposta, risultato di un processo di sintesi di cosa, in quasi un secolo di architettura, sia stato associato alla concezione parametrica della forma, rappresenta un sistema di conoscenze che ambisce ad essere modificato, corretto, trasformato nel tempo. Ciò è una conseguenza della natura di ciò che ambisce a descrivere, cioè un tema di ricerca ancora aperto a subire processi di trasformazione in parte imprevedibili, come testimoniato dalle evoluzioni che i suoi strumenti continuano a sperimentare.

La forma di conoscenza proposta nelle invarianti è di tipo non-finito, termine con il quale non si intende incompleto, bensì *“passibile di crescita e mutamenti”*, *“[che punta] su un processo di formazione, non sulla forma”*, *“disposta a colloquiare con la realtà esterna, a sporcarsi”*¹⁷⁵. Inoltre, per catturare la condizione eterogenea plurale del parametrico, ipotesi alla base di questa ricerca, le invarianti assumono la forma d’opera aperta¹⁷⁶ in quanto predisposte a interpretazioni multiple. Ed è proprio tra le pieghe di queste interpretazioni multiple che le invarianti permettono di iniziare a costruire una personale organizzazione dei *materiali* del progetto¹⁷⁷, o, come sarà successivamente approfondito, una propria *narrativa parametrica*.

L’uso delle invarianti del parametrico qui proposte non è considerato né auspicabile, né tantomeno salvifico, ma piuttosto necessario per delineare una conoscenza trasmissibile da attuare sia nella lettura del progetto che nella sua pratica. È necessario chiarire che le invarianti ipotizzate sono degli orizzonti operativi giacché possono essere introdotte nel progetto con diversi livelli di rigidità. Esse si prestano ad essere ibridate, assumendo diversa rilevanza, valore e priorità nella gestione della forma. Può quindi essere assunto un numero limitato di invarianti come principi metodologici, assegnando a ulteriori invarianti un ruolo ausiliario e secondario nell’evoluzione del progetto. In ogni caso, si sottolinea che ogni

¹⁷⁴ Buxton, B. & Buxton, W. (2007), *Sketching user experiences: getting the design right and the right design*, Amsterdam: Morgan Kaufmann, p.115.

¹⁷⁵ Zevi, B., *Il Linguaggio moderno dell’architettura*, p.66.

¹⁷⁶ Eco, U. (1962), *Opera aperta: forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee*, Milano: Bompiani.

¹⁷⁷ Gregotti, V. (2018), *Il territorio dell’architettura*, 4° ed., Milano: Feltrinelli.

tentativo di applicare tutte le invarianti contemporaneamente in modo rigoroso non può che condurre verso un processo progettuale eccessivamente rigido, che difficilmente si presta alla pratica professionale. In modo analogo, nella lettura di progetti vicini al parametrico è necessario riconoscere che non sempre le invarianti sono state attuate in modo chiaro ed esplicitato.

Le invarianti individuate cercano di mettere a nudo il senso più intimo dell'approccio parametrico, e per fare questo non sono legate a particolari strumenti, siano essi di natura informatica, matematica, fisica o altro. Ambiscono ad essere valide per un periodo ragionevolmente lungo e, in una certa misura, ad avere un valore retroattivo nella lettura del progetto di architettura. Di conseguenza, presentano un certo livello di astrattezza che le rendono di difficile uso per un progettista che non è disposto a superare la concezione del parametrico come un fatto prettamente tecnico. Le invarianti proposte sono una strategia inedita per *parlare* parametrico in architettura¹⁷⁸.

¹⁷⁸ Assenza della preposizione "di" è voluta per richiamare le invarianti di Zevi. Egli scrive: "anziché parlare fino al tedio *di* architettura, finalmente parleremo architettura". Zevi, B., *Il Linguaggio moderno dell'architettura*, p. 12.

CAPITOLO 2

LE MOLTEPLICI IDENTITÀ DELL'APPROCCIO PARAMETRICO

Proposte per una ricognizione in divenire

Abstract

I diversi autori che si sono interessati alle origini dell'approccio parametrico nel progetto di architettura hanno individuato le sue radici in un complesso insieme di esperienze, non di rado divergenti, al cui interno è possibile annoverare innovazioni tecniche, posizioni filosofiche, pratica progettuale e molto altro. Non è quindi possibile individuare un approccio unificante e condiviso sulle origini di questo particolare modo di pensare e praticare il progetto.

Questo capitolo attribuisce questa diversificata situazione alla dimensione eterogenea e plurale dell'approccio parametrico già tracciata nel capitolo 1 e propone una prospettiva volta a ricomporre organicamente le diverse posizioni sulle origini dell'approccio parametrico.

Dopo aver brevemente presentato le posizioni esistenti sulle origini dell'approccio parametrico, quest'ultime sono ricondotte a tre tematiche identitarie tipiche di questo approccio: la formalizzazione, la variazione e il form-finding. Queste tre tematiche identitarie sono prima indagate come aspetti propri della progettazione architettonica, circoscrivendone l'origine e l'impatto con il fine di tracciare la loro rilevanza nell'ambito della cultura del progetto. Successivamente, esse sono particolarizzate rispetto a delle tematiche più puntuali che hanno delineato un preciso contributo nell'avanzamento delle possibilità offerte dall'approccio parametrico.

Da ciò deriva che l'approccio parametrico non è il prodotto di un insieme limitato di innovazioni e progressi dirompenti, bensì è la conseguenza di una stratificazione di conoscenza che è possibile far risalire fino alle origini della disciplina del progetto di architettura.

Abstract

Various authors who have been interested in the origins of the parametric approach in architectural design have identified its roots in a complex set of - not infrequently divergent - experiences, within which technical innovations, philosophical positions, design practice and much more can be counted. It is therefore not possible to identify a unifying and shared perspective on the origins of this particular way of thinking and practising design.

This chapter ascribes this divergent situation to the heterogeneous and plural dimension of the parametric approach already outlined in chapter 1 and proposes a framework to organically recompose the different positions on the origins of the parametric approach.

After briefly presenting existing positions on the origins of the parametric approach, these are traced back to three identity themes: formalisation, variation and form-finding. The three proposed identities are first investigated as proper aspects of architectural design, circumscribing their origin and impact to trace their relevance within the design culture. Subsequently, they are particularised for more specific topics that have outlined a precise contribution to the advancement of the possibilities offered by the parametric approach.

It follows that the parametric approach is not the product of a limited set of disruptive innovations and advances, but is the consequence of a stratification of knowledge that can be traced back to the origins of the discipline of architectural design.

Antonine Picon riconosce che i tentativi di tracciare una visione comprensiva dell'impatto delle Information Technology (IT) nel progetto di architettura sono spesso accomunati da un errore comune, cioè *"sottostimare il contributo della preistoria e della storia della cultura digitale"*¹⁷⁹ in architettura. Di conseguenza, nel suo *Digital Culture in Architecture* Picon dedica ampio spazio a numerose esperienze, dalla burocratizzazione della società fino alla nascita dell'epistemologia informatica, che hanno contribuito ad attribuire un ruolo centrale alle tecnologie digitali nella pratica del progetto di architettura. Questo secondo capitolo di tesi muove da una volontà simile a quella di Picon. Esso vuole infatti dimostrare che l'attuale approccio parametrico al progetto di architettura non è il prodotto di una repentina rivoluzione della tecnica, bensì il prodotto di una stratificazione di esperienze e di conoscenze con cui il progetto di architettura si confronta da ben prima della comparsa della strumentazione digitale.

Questo capitolo, dopo una ricognizione delle diverse posizioni sulle origini dell'approccio parametrico, propone di individuare tre principali *identità* da ricercare nelle origini dell'approccio parametrico, cioè la *formalizzazione*, la *variazione* e l'applicazione del *form-finding*. All'interno di queste tre identità sono fatte confluire le esperienze a cui diversi autori hanno attribuito il seme dell'origine del parametrico. Lo scopo di questa operazione è dimostrare che ai diversi modi di attuare la concezione parametrica corrispondono diverse radici culturali, le quali possono ancora avere una rilevanza nella costruzione di una personale narrativa progettuale. Se si assume che il progetto di architettura non sia esclusivamente il frutto di un lavoro personale, ma anche la continua rielaborazione di una conoscenza che ha radici lontane dal suo progettista, appare evidente che modifiche nelle tematiche identitarie di un approccio al progetto conducono potenzialmente a cambiamenti nei suoi apparati metodologici e tecnici. Questo capitolo, quindi, non ambisce a scrivere una nuova storia dell'approccio parametrico, ma propone di sistematizzare e ampliare le conoscenze esistenti in merito a quelle esperienze che sono state capaci di anticiparne i caratteri metodologici.

Un primo interrogativo da cui muove questo capitolo è se alle diverse declinazioni dell'approccio parametrico, ampiamente discusse nel capitolo 1, corrispondono altrettante diverse concezioni sulle origini di questa modalità di affrontare il progetto di architettura. Per

¹⁷⁹ Picon, A. (2010), *Digital Culture in Architecture. An introduction for the design professions*, Basilea: Birkhäuser, p. 210.

rispondere a questa domanda è quindi necessario discutere le posizioni individuabili nelle ricerche di quegli autori che, da Luigi Moretti fino alla contemporaneità, hanno già affrontato il tema della origini della dimensione parametrica nel progetto di architettura.

Luigi Moretti in diverse occasioni riconduce le origini della sua Architettura Parametrica alla possibilità di applicare i progressi di alcune nuove scienze, con particolare riferimento alla ricerca operativa¹⁸⁰. A questo riferimento più tecnico, capace di modificare i modi con cui sono gestiti i processi decisionali della pratica architettonica, Moretti affiancherà una serie di esperienze che contribuiscono a delineare ciò che egli chiama “*nuova forma mentis*”¹⁸¹ nell'affrontare la progettazione. La teoria dei giochi¹⁸², le ‘geometrie affini’ di D’Arcy Thompson¹⁸³, i computers e le loro “*possibilità [...] di esprimere in serie cicliche autocorrettive le soluzioni dei valori dei parametri e delle loro relazioni*”¹⁸⁴ definiscono per Moretti quel campo operativo a cui egli riconosce la possibilità di traghettare il progetto di architettura verso una sua gestione più scientifica.

Pochi anni più tardi, Mitchell, nel tracciare le origini del Computer-Aided Architectural Design, propone anch’egli una visione duale basata su progressi tecnici, capaci di modificare la pratica architettonica, e sul richiamo a diverse esperienze culturali che hanno contribuito a delineare una nuova *forma mentis* nell’approccio al progetto di architettura. Il progresso tecnico a cui guarda Mitchell è la possibilità di utilizzare il calcolatore per la risoluzione di problemi progettuali in ambito architettonico¹⁸⁵. Di conseguenza, per egli è il lavoro di alcuni pionieri del digitale, quali Gordon Pask, Nicholas Negroponte, Charles Eastman e altri autori che saranno approfonditi successivamente, a *creare* l’origine dell’approccio computazionale al progetto di architettura. Ma con Mitchell inizia un processo di progressivo ampliamento del numero di esperienze a cui, a vario titolo, è attribuito un ruolo nella costruzione del panorama culturale alle spalle dell’approccio parametrico. Mitchell infatti richiama le posizioni di Lady

¹⁸⁰ Moretti, L. & I.R.M.O.U. (eds.) (1960), *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, Milano: Arti grafiche Crespi, p.2.

¹⁸¹ Moretti, L. (1965), “Architecture 1965: Évolution ou Révolution. Réponses au Questionnaire”, *L'Architecture d'Aujourd'hui*, no. 119, pp. 48-51.

¹⁸² Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 10.

¹⁸³ Cfr.: Moretti, L. (1954), “Structure comme forme” (Structure as Forme), *United States Lines Paris Review*; Moretti, L. (1971), “Ricerca matematica in architettura e urbanistica”, *Moebius*, a. IV, no.1, pp. 30-53.

¹⁸⁴ Cfr. Moretti, L., “Ricerca matematica in architettura e urbanistica”

¹⁸⁵ Mitchell, W. J. (1975), “The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, no. 2(2), pp. 127–150.

Lovelace e Alan Turing, entrambi fondatori dell'informatica contemporanea, per riflettere sulla capacità creativa del calcolatore; traccia la storia dell'Arte Combinatoria per riflettere sulle origini della capacità generativa del calcolatore; richiama le posizioni di trattatisti dell'architettura, quali Sir John Summerson, Reyner Banham e Jean-Nicolas-Louis Durand, per tracciare analogie tra i funzionamenti dei primi software per l'architettura e un approccio alla composizione che egli definisce classico¹⁸⁶.

Il momento in cui l'approccio parametrico è riuscito ad assumere un ruolo centrale nel dibattito culturale del progetto di architettura, muovendo da una dimensione di sperimentazione e avanguardia verso una diffusione nella pratica professionale, coincide con l'avvento di ciò che Mario Carpo definisce il *Digital Turn*¹⁸⁷, il quale copre un arco temporale di 20 anni dal 1992 al 2012. Nella riflessione sulle origini del *Digital Turn*, Mario Carpo propone:

IL PARAMETRICISMO DIGITALE, COSÌ COME LO CONOSCIAMO OGGI, È NATO A PAGINA 26 DELLA PRIMA EDIZIONE DEL LIBRO DI GILLES DELEUZE "LA PIEGA", PUBBLICATO IN FRANCESE NEL 1988¹⁸⁸

Per Carpo, quindi, le origini del Parametricismo digitale sono da individuare in una intuizione, che Deleuze attribuisce a Leibniz: definire famiglie di curve attraverso *notazioni* che dipendono da parametri¹⁸⁹. Nella stessa pagina citata da Carpo, Deleuze delinea, con il contributo di Bernard Cachè, un concetto che sarà poi elevato a metafora del funzionamento dell'approccio parametrico: l'*objectile*, cioè la rappresentazione di un oggetto attraverso l'uso di una "definizione aperta" che, implicitamente e potenzialmente, contiene tutte le possibili variazioni assumibili dall'oggetto stesso. Anche Carpo, come Mitchell e Moretti, associa a una visione tecnica, capace di definire il funzionamento degli strumenti utilizzati per attuare l'approccio parametrico, una visione culturale, che traccia gli eventi che hanno contribuito all'evoluzione dell'approccio parametrico stesso. Per Carpo i prodromi di questo approccio si

¹⁸⁶ Mitchell, W. J. (2001), "Vitruvius Redux", in Antonsson, E. K. & Cagan, J. (eds.), *Formal Engineering Design Synthesis*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1-19.

¹⁸⁷ Carpo, M. (ed.) (2012), *The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012*, Chichester: Wiley.

¹⁸⁸ Tradotto da: "Digital Parametricism, as we know it today, was born on page 26 of the first edition of Gilles Deleuze's book *The Fold*, published in French in 1988"

Carpo, M. (2016), Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard, *AD – Architectural Design*, vol. 86, no. 2, pp. 24-29.

¹⁸⁹ Deleuze G. (1988), *Le pli: Leibniz et le baroque*, Paris: Editions de Minuit, p. 26.

sono manifestati ben prima dell'applicazione del digitale al progetto di architettura. Egli, infatti, individua una cifra parametrica, che sarà successivamente discussa, nei testi di Vitruvio, Matthäus Roriczer e Leon Battista Alberti, arrivando a parlare di "Parametricismo classico e medioevale"¹⁹⁰. Roberto Bottazzi, il cui interesse per l'approccio parametrico muove, in modo analogo a Carpo, dalle sue ricerche sulla relazione tra la cultura digitale e il progetto di architettura, individuerà invece le origini di questo approccio nel barocco romano. Scrive Bottazzi:

"FORSE LA PRIMA ESEMPLIFICAZIONE DEL PENSIERO PARAMETRICO IN ARCHITETTURA COINCIDE CON L'EMERGERE DELL'ARCHITETTURA BAROCCA A ROMA, NELLA PRIMA PARTE DEL XVII SECOLO"¹⁹¹.

Le visioni proposte da Carpo, che trovano le loro radici nelle tesi di *The Alphabet e The Algorithm*¹⁹², risultano in continuità con una posizione assunta da Bernard Cachè che suggerisce che le origini dell'approccio parametrico siano riconducibili alle radici della disciplina del progetto di architettura. Scrive Cachè:

"LA PROGETTAZIONE E LA MECCANICA PARAMETRICA NON SONO UNA NOVITÀ PER L'ARCHITETTURA: SONO INFATTI PRESENTI FIN DALLA COMPARSA DELLE FONTI SCRITTE NELLA NOSTRA DISCIPLINA. PER CAPIRE CIÒ, DOBBIAMO TORNARE AI CLASSICI, COME IL LAVORO DI EUCLIDE, PLATONE E VITRUVIO"¹⁹³.

Le posizioni richiamate finora individuano le origini del parametrico in un ampio campo culturale. Se si guarda al lavoro di Schumacher, invece, è possibile individuare delle tesi molto più decise e meno possibiliste. Afferma Schumacher con la sua "*thesis n. 59*":

¹⁹⁰ Carpo, M., *Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard*

¹⁹¹ Tradotto da: "*Perhaps the first accomplished exemplification of parametric thinking in architecture coincided with the emergence of baroque architecture in Rome in the first part of the seventeenth century*" Bottazzi, R. (2018), *Digital architecture beyond computers: fragments of a cultural history of computational design*, Londra: Bloomsbury Visual Art, p.90.

¹⁹² Carpo, M. (2011), *The alphabet and the algorithm*, Cambridge: MIT Press.

¹⁹³ Tradotto da: "*Parametric design and mechanics are not new in architecture: they were actually there from the very beginning of the written sources of our discipline. To understand this, we must return to classics such as works by Euclid, Plato, and Vitruvius*"

Cachè, B. (2012), *Instruments of Thought*, Cornell University [Trascrizione di conferenza] [Online].

http://events.cornell.edu/event/bernard_cache_lecture_instruments_of_thought (Ultima consultazione: 19 gennaio 2023)

Nonostante il Parametricismo di Schumacher si sia delineato all’interno del *Digital Turn*, l’attuale reggente dello studio Zaha Hadid propone una ulteriore visione sulle origini del parametrico. Egli attribuisce un ruolo così importante al lavoro di Frei Otto in quanto alcune sue sperimentazioni prevedevano l’uso di modelli capaci di mostrare proprietà auto-organizzanti rispetto a degli stimoli/parametri esterni. Questa visione, quindi, affianca la pratica del *form-finding* alle già numerose posizioni sulle origini dell’approccio parametrico. Con ciò si intende dire che Schumacher inquadra le origini del suo Parametricismo nell’uso di modelli, fisici e digitali, capaci di generare forme architettoniche in grado di ottimizzare le risposte ad alcuni particolari problemi progettuali, con particolare riferimento agli aspetti strutturali. A partire dal lavoro di Schumacher, inoltre, le origini dell’approccio parametrico non sono più ricercate in fenomeni esclusivamente tecnici o culturali, ma anche nell’evoluzione formale e funzionale del progetto di architettura. Schumacher afferma che le “*intuizioni funzionali*” del Parametricismo sono da rintracciarsi nella “*avanguardia Olandese di ispirazione OMA*”¹⁹⁵ mentre le “*intuizioni formali*” sono “*evolute principalmente nelle avanguardie americane di ispirazione Eisenman*”¹⁹⁶. Le origini del Parametricismo per Schumacher sono completate dall’introduzione dello scripting e della modellazione parametrica nel progetto di architettura¹⁹⁷ e dalle visioni teoriche di figure, come Rem Koolhaas, Greg Lynn, Jeff Kipnis e Winy Maas (MVRDV) che hanno frequentato l’Association School of Architecture (AA) di Londra nella seconda metà degli anni 90¹⁹⁸.

Le posizioni di Schumacher assegnano una centrale importanza al contributo di alcuni tipi di strumenti digitali e dell’informatica nell’evoluzione dell’approccio parametrico. Ciò non è un una posizione inedita in quanto Moretti aveva riconosciuto il potenziale di questi strumenti già negli anni 60 per l’applicazione della sua Architettura Parametrica. Tuttavia, le teorie di Moretti solo recentemente hanno iniziato ad acquisire una diffusione internazionale, come testimoniato dalle posizioni di diversi autori che avvicinano le origini dell’approccio

¹⁹⁴ Tradotto da: “*The work of Frei Otto is the only true precursor of Parametricism*”.

Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, Chichester: John Wiley and Sons, p. 680.

¹⁹⁵ Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 660.

¹⁹⁶ Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 660.

¹⁹⁷ Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 663.

¹⁹⁸ Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 660.

parametrico alla concezione del *Computational Aided-Architectural Design* e non all'Architettura Parametrica. Di conseguenza posizioni più affini al paradigma computazionale, come il lavoro teorico di Christopher Alexander, le applicazioni di Ivan Sutherland e Charles Eastman, le visioni di Gordon Pask e Nicholas Negroponte sono state avvicinate alle origini del parametrico da un numero consistente di autori tra i quali Bottazzi¹⁹⁹, Davis²⁰⁰ e Gerber²⁰¹.

Se si guarda ad autori più vicini alla visione algoritmica, procedurale e matematica emerge una posizione secondo cui è possibile individuare le origini dell'approccio parametrico in quei metodi di progettazione capaci di guidare la forma architettonica verso le sue configurazioni più desiderabili attraverso un processo in parte scientifico. Diversi autori, come Tedeschi²⁰² e i coniugi Burry²⁰³, condividono l'idea che i processi di ricerca della forma attraverso l'uso di modelli fisici, dalle superfici saponate fino alle catenarie, hanno anticipato le tecniche di ottimizzazione che possono essere effettuate su un modello parametrico. A seguito della diffusione di queste visioni, il lavoro autori che hanno ampiamente utilizzato tecniche di form-finding, come Antoni Gaudì, Frei Paul Otto, Heinz Isler, Pier Luigi Nervi, Sergio Musmeci e altri, è oggi annoverato tra quelle esperienze alle origini del parametrico.

Quanto detto finora dimostra che esistono diverse storie dell'approccio parametrico nel progetto di architettura, le quali, seppur con ricorrenti punti di sovrapposizione, propongono differenti origini di questo approccio. Nel tempo, le origini dell'Architettura Parametrica sono state ricondotte alla matematica, alla progettazione di strutture specialistiche, all'affermazione delle tecnologie digitali, alla ricerca operativa e altro.

Questo lavoro di tesi, quindi, non ambisce a scrivere una nuova storia dell'approccio parametrico suggerendo inediti orizzonti all'interno dei quali individuarne le origini. Si ritiene, invece, più utile sistematizzare le diverse ed eterogenee posizioni esistenti, attraverso

¹⁹⁹ Bottazzi, R., *Digital architecture beyond computers: fragments of a cultural history of computational design*.

²⁰⁰ Davis, D. (2013), *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, Melbourne: RMIT University, p. 15. [Tesi di dottorato] [Online]. <https://www.danieldavis.com/thesis/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

²⁰¹ Gerber D. J. (2007), *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, p. 125 [Tesi di dottorato] [Online]. https://www.researchgate.net/publication/279289656_Parametric_Practices_Models_for_Design_Exploration_in_Architecture (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

²⁰² Tedeschi, A. (2014), *AAD Algorithms-Aided Design, Parametric Strategies using Grasshopper*, Brienza: Le Penneur.

²⁰³ Burry, J., & Burry, M. (2010), "Optimization", in Burry, J., & Burry, M. (eds.), *The new mathematics of architecture*, Londra: Thames & Hudson, pp. 116-154.

l'individuazione di un numero limitato di tematiche ricorrenti. Ciò è propedeutico a dimostrare l'esistenza di analogie tra l'attuale condizione plurale dell'approccio parametrico e l'evolversi dei suoi caratteri identitari. Si propone, quindi, di utilizzare il concetto di *identità del parametrico*, dizione con cui si intende l'insieme dei caratteri e dei contesti culturali in cui nel tempo sono stati individuati le origini e i principi fondanti di questo particolare modo di approcciare il progetto di architettura. A partire dalle ricerche richiamate in apertura di questo capitolo, si ipotizza di individuare una prima identità nella *formalizzazione*, cioè nella propensione tipica dell'approccio parametrico a tradurre la pratica architettonica in un problema da risolvere, definito da requisiti, obiettivi, risorse e processi da attuare. Una seconda identità è individuata nella *variazione*, cioè nella tendenza a utilizzare metodi e processi che permettono l'esplorazione di un numero importante di soluzioni progettuali a partire da un'unica strategia risolutiva del problema architettonico. Un'ultima identità è individuata nel *form-finding*, cioè nell'applicazione di metodi e processi che permettono la generazione di soluzioni architettoniche in equilibrio rispetto a un sistema di stimoli e vincoli progettuali. Per ogni *identità* sono individuati ulteriori approfondimenti, (la ricerca operativa, i *pattern language*, la variazione analogica, la variazione digitale, il *form-finding* emergente e il *form-finding* assistito) per i quali sono sinteticamente tracciati il contributo nei confronti dell'evoluzione dell'approccio parametrico e la loro rilevanza della pratica architettonica contemporanea.

I successivi paragrafi dedicati alle *identità* proposte e ai loro approfondimenti non intendono essere delle ricostruzioni storiche precise, bensì delle riflessioni su come esse hanno influenzato l'approccio parametrico al progetto di architettura suggerendo orizzonti metodologici, delineando nuove possibilità formali, trasformando il ruolo del progettista, introducendo nuovi strumenti e tecniche.

2.1. IDENTITÀ DELLA FORMALIZZAZIONE. IL PROGETTO COME PROBLEMA

Lo studio sull'evoluzione di cosa nel tempo è stato considerato un fattore identitario dell'approccio parametrico al progetto di architettura non può che iniziare guardando al suo primo teorizzatore, Luigi Moretti. Egli ha più volte dichiarato che l'Architettura Parametrica si basa sull'introduzione del moderno pensiero scientifico nella progettazione architettonica,

individuando nella ricerca operativa²⁰⁴ diverse strumentazioni e procedure che avrebbero migliorato l'efficienza del processo di progettazione. Scrive Moretti²⁰⁵:

LA RICERCA OPERATIVA È UN METODO SCIENTIFICO PER FORNIRE AGLI ORGANI ESECUTIVI UNA
BASE QUANTITATIVA PER LE DECISIONI RIGUARDANTI LE OPERAZIONI SOTTO IL LORO CONTROLLO.

Ma, come sarà successivamente discusso, l'applicazione delle tecniche della ricerca operativa al progetto di architettura richiede uno sforzo preliminare, cioè la traduzione del fatto architettonico in un problema da risolvere. Questa ambizione, di ricondurre la pratica architettonica a una attività scientifica composta da procedure replicabili e fattori misurabili, è considerata come un orizzonte a cui tendere da diversi studiosi che, con diverse finalità, si sono nel tempo avvicinati all'approccio parametrico. Charles Jencks parla già nel 1971 della diffusione del metodo "*divide and conquer*"²⁰⁶, basato sulla delineaione di un problema e la sua successiva "*scomposizione in elementi e parametri più piccoli*" all'interno della "*Parametric School*"²⁰⁷. Mitchell, invece, riconosce una utilità nel considerare la progettazione architettonica come

"UNO SPECIALE TIPO DI PROCESSO DI RISOLUZIONE DI UN PROBLEMA E NEL DISCUTERE LA
PRATICA PROGETTUALE NELL'AMBITO DELLA TEORIA GENERALE DELLA RISOLUZIONE DEI
PROBLEMI"²⁰⁸.

Inoltre, nella trattazione di Schumacher la traduzione della pratica architettonica in problema da risolvere non è più considerata una possibilità, bensì una necessità. Egli afferma nella sua *thesis n.37*:

²⁰⁴ Moretti, L. (1956), "Forma come Struttura", *Spazio*, estratti. Già pubblicato come: Moretti, L. (1954), "Structure comme forme" (Structure as Forme), *United States Lines Paris Review*. Successivamente tradotto interamente: Moretti, L. (1957), "Form as Structure", *Arena*

²⁰⁵ Moretti, L. & I.R.M.O.U. (eds.), *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p.10.

²⁰⁶ Questa dizione è spesso usata nella lingua italiana nella sua traduzione latina: "*divide et impera*". La dizione indica un atteggiamento tipico del *problem-solving*, con particolare riferimento all'ambito matematico-informatico, basato sulla scomposizione di problemi complessi in sotto-problemi di più semplice risoluzione.

²⁰⁷ Jencks, C. (1971), *Architecture 2000: predictions and methods*, Londra: Studio Vista Limited, 105.

²⁰⁸ "For our purposes here it is useful to regard architectural design as a special kind of problem-solving process, and to discuss design within the framework of a general theory of problem solving"
Mitchell, W. J. (1975), "The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design", *Environment and Planning B: Planning and Design*, no. 2(2), pp. 127–150.

“ALL'INTERNO DI UNA TEORIA DEL PROCESSO PROGETTUALE CHE INTENDE INDAGARE E ACCRESCERE LA RAZIONALITÀ DELLA PROGETTAZIONE, IL PROCESSO PROGETTUALE DEVE ESSERE TEORIZZATO COME PROCESSO DI PROBLEM-SOLVING”²⁰⁹.

Appare lecito, quindi, individuare nella concezione del progetto come attività di *problem-solving* un ambito in cui ricercare un primo carattere identitario dell'approccio parametrico. Ciò è motivato da un interesse per questa visione condivisa da un numero considerevole di autori, solo in parte precedentemente citati, che hanno promosso l'approccio parametrico nel progetto di architettura dagli anni '60 fino alla contemporaneità.

Già a partire dagli anni '70²¹⁰ si diffondono degli apparati teorici che ambiscono a rendere espliciti i processi con cui si affronta la *progettazione*, la quale sarà definita da alcuni autori operanti in questo segmento di ricerca come “*una classe particolare di problemi*”. Eastman, autore di uno dei primi studi sulla concezione del progetto di architettura come una attività di *problem-solving*, nel 1962 afferma:

*PROGETTAZIONE È IL NOME DATO ALL'AMPIA CLASSE DI ATTIVITÀ DI PROBLEM SOLVING SVOLTE DA INGEGNERI, ARCHITETTI E ALTRI SOGGETTI CHE GENERANO UNA DESCRIZIONE DI UNA PARTE DELL'AMBIENTE FISICO*²¹¹.

Eastman inoltre riconosce che la *progettazione* è tradizionalmente insegnata attraverso la raccolta e l'esposizione di un numero considerevole di “casi-studio” ed è tradizionalmente praticata attraverso una sequenza canonica di attività: “*identificazione del problema, raccolta di informazioni, analisi, sintesi e valutazione*”²¹². Nei casi in cui questa attività di *istruttoria del problema architettonico* è compiuta con maggiore profondità e attenzione, essa può essere propedeutica a una gestione della progettazione che ambisce ad avere caratteri di

²⁰⁹ Tradotto da: “*within a design process theory that intends to probe and enhance the rationality of design, the design process must be theorized as problem-solving process.*”

Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 263.

²¹⁰ Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 266.

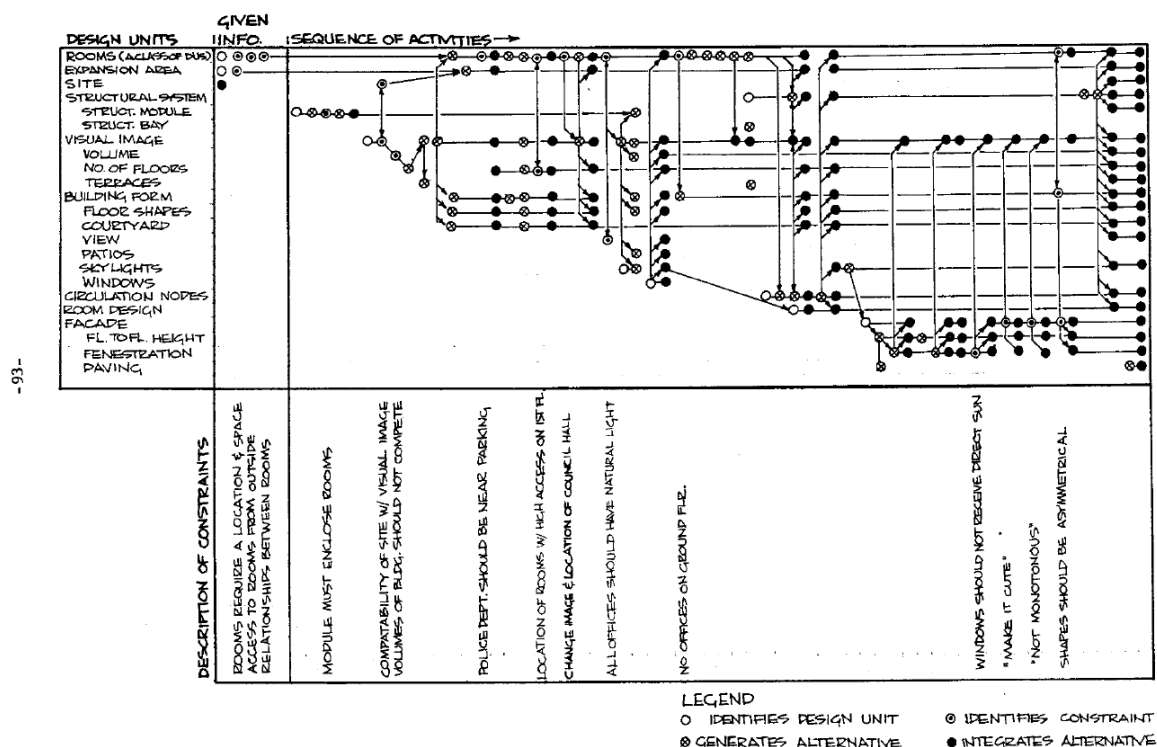
²¹¹ Tradotto da: “*Design is the name given to the broad class of problem solving activities carried out by engineers, architects, and others who generate a specification for some portion of the physical environment*”.

Eastman, C. (1968), “Explorations of the cognitive processes in design”, *Computer Science Department*, paper no. 1837, p.1.

²¹² Ibid. Più precisamente, Eastman cita: Hall, A. D. (1962), *A Methodology for Systems Engineering*, Princeton: D. von Nostrand.

comunicabilità, replicabilità e scientificità. Questa visione affida una maggiore rilevanza a una serie di step logici del processo della progettazione quali:

DETERMINAZIONE DI UN'ESIGENZA, IDENTIFICAZIONE DI PARAMETRI E CRITERI RILEVANTI,
 GENERAZIONE DI *CONCETTI* INIZIALI PER SOLUZIONI PLAUSIBILI E VALUTAZIONE PRELIMINARE DI
 QUESTE ULTIME IN TERMINI DI REALIZZABILITÀ FISICA E FATTIBILITÀ FINANZIARIA²¹³



ACTIVITY GRAPH OF CASE STUDY REPORT
 CIVIC CENTER PROJECT

Fig. 2 – Lista delle attività condotte per la risoluzione del problema progettuale riguardante la progettazione di un centro civico secondo Charles Eastman.

Ciò si traduce nella pratica progettuale nell'esecuzione di una serie di *attività* correlate, come l'"*identificazione del modulo strutturale*", la "*generazione di alternative volumetriche*", l'"*identificazione dei vincoli relativi ai layout*", l'"*integrazione degli infissi nel volume*"²¹⁴, che conducono alla risoluzione del problema architettonico.

²¹³ Tradotto da: "determination of a need, identification of the relevant parameters and criteria, generation of initial concepts for plausible solutions, and preliminary evaluation of them in terms of physical realizability and financial feasibility"

Eastman, C., "Explorations of the cognitive processes in design", p.1.

²¹⁴ Eastman, C., "Explorations of the cognitive processes in design", p.93.

Tuttavia, Eastman riconosce, al pari di Moretti, che una visione così rigida e consequenziale della progettazione non trova spazio nella prassi professionale e che la progettazione architettonica è spesso governata da processi più empirici e intuitivi che impediscono un avanzamento della cultura del progetto. Più precisamente, un'eccessiva empiricità e intuitività impedisce alla progettazione architettonica di assumere i caratteri di un processo scientifico *verificabile, replicabile e comunicabile*.

Trattasi di posizioni analoghe alle premesse con cui Schumacher introduce nella sua trattazione il concetto del “*processo progettuale come processo di elaborazione di informazioni*”²¹⁵. Nello specifico, Schumacher individuerà un interesse particolare nell'investigare “*i processi di pensiero*”, e di conseguenza il “*problem-solving architettonico*”, attraverso una analogia con il funzionamento dei computer²¹⁶. Questa visione aggiunge ulteriori riferimenti nella costruzione di un possibile apparato identificativo dell'approccio parametrico, come le ricerche sulla *psicologia della progettazione* di Omer Akin²¹⁷ e sulla *logica dell'architettura* di Mitchell²¹⁸

È possibile rintracciare in ulteriori ricerche recenti la considerazione dell'approccio parametrico come un particolare modo di risolvere il *problema della progettazione architettonica*. Malcolm McCullough, nel tracciare un'evoluzione ventennale (dal 1986 al 2006) dello *scripting* applicato al progetto di architettura, riconosce che la vera essenza del software è dare una rappresentazione astratta a un problema attraverso l'uso di variabili, condizioni, interazioni e procedure. Di conseguenza, la pratica del progetto di architettura attraverso il software ha condotto, per McCullough, verso

“UN APPROCCIO DIMENSIONALE CHE È DIVENTATO NOTO SEMPLICEMENTE COME
'PARAMETRICO'. SI TRATTA PRINCIPALMENTE DI ESPRIMERE COMPUTAZIONALMENTE I PROBLEMI DI

²¹⁵ Tradotto da “*the design process as information-processing process*”

Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 264.

²¹⁶ Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 265.

²¹⁷ Akin, O. (1986), *Psychology of Architectural Design*, Londra: Pion Limited.

²¹⁸ Mitchell, W. J. (1990), *The Logic of Architecture. Design, Computation and Cognition*, Cambridge: MIT Press.

PROGETTAZIONE O, PIÙ SPECIFICAMENTE, FAMIGLIE FORMALI, IN TERMINI DI UN LIMITATO INSIEME DI VARIABILI PROGETTUALI INDIPENDENTI, IN PARTICOLARE LE DIMENSIONI”²¹⁹

Le ricerche citate in questo capitolo condividono una visione possibilista sull’*elevare* la progettazione architettonica a una pratica di “*problem-solving*”. Tuttavia, questa visione, che deriva da riflessioni sul funzionamento degli strumenti digitali, come nel caso di McCullough, o da desideri di rinnovamento dell’approccio alla progettazione architettonica, come nel caso di Moretti e Schumacher, presenta delle oggettive difficoltà nel trasferimento dalle speculazioni teoriche verso la pratica progettuale. Trattasi di una situazione che ricorda la già citata posizione di Terzidis²²⁰ sulla diffusa preferenza del paradigma computerizzato, cioè l’usare strumenti basati su una logica informatico-matematico, rispetto al paradigma computazionale, cioè il pensare in termini informatici-matematici. Inoltre, con il fine di sottolineare la necessità di un equilibrio tra gli aspetti empirici-intuitivi e gli aspetti di scientificità, si ricorda che già Moretti denunciava un alone di sfiducia verso una applicazione troppo rigida nel *problem-solving* nella progettazione in quanto egli riconosce l’esistenza di aspetti architettonici non riconducibili a meri ‘parametri’²²¹.

Le ricerche richiamate, inoltre, dimostrano l’esistenza di diverse *declinazioni* del ruolo che nel tempo è stato assegnato al *problem-solving* nell’approccio parametrico. Queste diverse declinazioni si sono tradotte nella pratica progettuale nell’uso di strumenti e tecniche che permettono la descrizione della forma architettonica, la simulazione del suo comportamento, l’analisi delle sue prestazioni e, in definitiva, un supporto alla sua progettazione. Un gran numero di applicazioni contemporanee dell’approccio parametrico, quindi, ambiscono a risolvere scientificamente il *problema progettuale*, ma nell’attuazione pratica si fermano a una sua definizione che sia utile a orientare la progettazione oppure a permettere l’applicazione di *scripting*, *algoritmi* e *software specializzati*.

Sistematizzando le posizioni finora richiamate e utilizzando un termine proprio della progettazione di codici informatici, disciplina avvicinata all’approccio parametrico già in

²¹⁹ Tradotto da: “a dimensionally driven approach that became known simply as ‘parametrics’. This is mainly a matter of expressing design problems or, more specifically, formal types, computationally in terms of a short set of independent design variables”.

McCullough, M. (2006), “20 years of scripted space”, *AD – Architectural Design*, no. 76, vol. 4 pp. 12-15.

²²⁰ Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press.

²²¹ Cfr. Moretti, L., “Ricerca matematica in architettura e urbanistica”.

alcune suggestioni di Moretti²²², è possibile affermare che un aspetto identitario sotteso allo sviluppo dell'approccio parametrico nel progetto di architettura è la *formalizzazione*²²³. In ambito informatico si definisce *specifica formale* come

“L'ESPRESSIONE [...] DI UN INSIEME DI PROPRIETÀ CHE UN SISTEMA DOVREBBE SODDISFARE.

UNA SPECIFICA È FORMALE SE È ESPRESSA IN UN LINGUAGGIO COMPOSTO DA TRE COMPONENTI: REGOLE PER DETERMINARE LA CORRETTEZZA (TRAD. “WELL-FORMEDNESS”) GRAMMATICALE DELLE FRASI (LA SINTASSI); REGOLE PER INTERPRETARE LE FRASI IN MODO PRECISO E SIGNIFICATIVO ALL'INTERNO DEL DOMINIO CONSIDERATO (LA SEMANTICA); E REGOLE PER INFERIRE INFORMAZIONI UTILI DALLA SPECIFICA”²²⁴.

Quindi con il termine *formalizzazione* non si intende riconoscere che le prime manifestazioni dell'approccio parametrico e alcune applicazioni contemporanee sono legate a questioni di forma architettonica, bensì che esse sono precedute da una attività di “istruttoria” del problema progettuale. Questa istruttoria, che in ambito informatico prende il nome di *formalizzazione*, è compiuta con il fine di ricavare una visione logica del progetto che sia chiara e utile al progettista, ma che sia anche propedeutica all'uso di particolari tecniche e strumenti di progettazione.

I successivi paragrafi presentano due particolari modi di *formalizzare* il problema architettonico: l'applicazione della ricerca operativa, la quale mira a una ottimale gestione dei processi decisionali nella pratica progettuale, e le teorie di Christopher Alexander, che hanno contribuito all'ideazione di metodi per risolvere problemi progettuali attraverso la loro scomposizione e ricomposizione.

²²² Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 48.

²²³ La disciplina dell'ingegneria del software, a differenza della progettazione architettonica, ha individuato una soluzione alla complessificazione degli oggetti progettati nella standardizzazione dei processi progettuali. Per il significato di “formalizzazione” in questa disciplina tecnica vedasi:

Hierons, R. M. et al. (2009), “Using formal specifications to support testing”, *ACM Computing Surveys*, no. 41(2). Gaudel, M. C. (1994), “Formal specification techniques”, *Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering*, pp. 223–227.

²²⁴ Tradotto da: “a formal specification is the expression [...] of a collection of properties some system should satisfy. A specification is formal if it is expressed in a language made of three components: rules for determining the grammatical well-formedness of sentences (the syntax); rules for interpreting sentences in a precise, meaningful way within the domain considered (the semantics); and rules for inferring useful information from the specification”.

van Lamsweerde, A. (2000), “Formal specification: a roadmap”. In *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering (ICSE '00)*. New York: Association for Computing Machinery, pp. 147–159.

Contributi dalla ricerca operativa. Un approccio tecnico

La ricerca operativa²²⁵ è un campo della matematica applicata che fornisce metodi scientifici per governare con efficienza e tempestività i processi decisionali da intraprendere per l'ottimale risoluzione di un problema o gestione di un processo. Essa ambisce a evitare i pericoli derivanti da processi decisionali empirici in cui l'intuizione e la prassi hanno un ruolo predominante. Per fare ciò, attraverso la creazione di Team con competenze interdisciplinari, la ricerca operativa utilizza un ampio spettro di metodi di *problem-solving*, dalla teoria della probabilità fino alle tecniche di simulazione, per ricercare soluzioni ottimali intese come l'insieme di decisioni che permettono la migliore prestazione sul piano economico, sociale, politico, *etc.* Ogni applicazione della ricerca operativa prevede l'attuazione di una serie di step logici che mirano ad acquisire una profonda e imparziale conoscenza su un particolare problema progettuale. Questa conoscenza, che prende forma nella definizione di vincoli progettuali, obiettivi da ottimizzare, risorse utilizzabili e altro, è posta alla base della costruzione di una soluzione al problema stesso. La ricerca operativa, quindi, propone di risolvere i problemi progettuali attraverso una serie ben definita di fasi logiche quali:

1. FORMULAZIONE DEL PROBLEMA
2. IDENTIFICAZIONE DELLE VARIABILI E DEI VINCOLI
3. COSTRUZIONE DI UN MODELLO DEL PROBLEMA A SEGUITO DELL'INDIVIDUAZIONE DELLE
RELAZIONI TRA VARIABILI E VINCOLI
4. IDENTIFICAZIONI DELLE POSSIBILI SOLUZIONI AL PROBLEMA
5. VALUTAZIONE DELLE POSSIBILI SOLUZIONI
6. SELEZIONE DELLA SOLUZIONE OTTIMALE
7. ATTUAZIONE DELLA SOLUZIONE
8. DEFINIZIONE DI STRATEGIE DI CONTROLLO, IMPLEMENTAZIONE E MANTENIMENTO DELLA
SOLUZIONE²²⁶

Di particolare importanza in questo orizzonte metodologico è il concetto di *modello*. Nella ricerca operativa il modello assume il significato e il ruolo di descrizione matematica o teoretica delle diverse variabili di un sistema capaci di rappresentare alcuni aspetti di un

²²⁵ La disciplina si traduce in *Operational Research* in inglese britannico, *Operations Analysis* in ambito AirForce. Può essere usato il termine *Management Science* come sinonimo.

²²⁶ Rama Murthy P. (2007), *Operations Research*, 2° ed., New Dehli: New Age International, p.13.

problema progettuale. Il modello, inoltre, acquista un carattere operativo in quanto è il luogo nel quale condurre una serie di esperimenti (con approcci che vanno dal *trial-and-error* fino alla programmazione lineare) che comportano la manipolazione delle sue variabili e delle sue *strutture* con il fine di costruire una soluzione ottimale al problema in questione²²⁷.

Nel discutere i campi di applicazione della ricerca operativa è necessario chiarire che essa nasce, a cavallo tra le due guerre mondiali, come una scienza prettamente militare. Essa è, nelle sue prime storiche applicazioni, capace di dare risposte più performanti a problemi pratici tipici delle attività belliche. Utilizzando a titolo di esempio i casi pratici discussi da Moretti²²⁸ in occasione della sua famosa mostra sull'*Architettura Parametrica e ricerca matematica e operativa*, quest'ultima può essere utilizzata per individuare i parametri ottimali di un bombardamento ma anche, in ambito urbanistico, per effettuare zonizzazioni del territorio, per risolvere problemi legati alla pianificazione e alla gestione del traffico, per massimizzare i profitti derivanti da investimenti immobiliari. Ulteriori campi di applicazione canonici della ricerca operativa riguardano la supply chain, i layout industriali e in generale la ricerca della ottimale programmazione di sistemi di attività.

Per gli obiettivi di questa ricerca è importante interrogarsi sul rapporto tra la ricerca operativa e l'approccio parametrico al progetto di architettura. Si propone, quindi, l'individuazione degli autori che si sono interessati a questa relazione e una sintesi di come lo sviluppo e l'affermarsi della ricerca operativa abbia modificato la cultura del progetto di architettura.

Un primo punto di contatto esplicito e rilevante tra la ricerca operativa e l'approccio parametrico è individuabile negli studi di Luigi Moretti, il quale nel 1957²²⁹ fonda l'I.R.M.O.U., Istituto Nazionale di Ricerca Matematica e Operativa per l'Urbanistica. Nelle pagine del Catalogo, si dichiara che l'I.R.M.O.U., tra i cui scopi vi è proprio approfondire l'intuizione di Moretti per un progetto di architettura basato su metodi logico-matematici²³⁰, si avvale delle

²²⁷ Rama Murthy P., *Operations Research*, p.15.

²²⁸ Moretti, L. & I.R.M.O.U., Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica, p. 10.

²²⁹ Moretti, L. & I.R.M.O.U., Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica, p. 8.

²³⁰ Moretti, L. & I.R.M.O.U., Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica, p. 8.

competenze di studiosi e ricercatori nei campi della matematica, fisica, elettronica, biologia, psicologia, sociologia, economia²³¹. Moretti intende la ricerca operativa come:

“UN METODO SCIENTIFICO PER FORNIRE AGLI ORGANI ESECUTIVI UNA BASE QUANTITATIVA PER LE DECISIONI RIGUARDANTI LE OPERAZIONI SOTTO IL LORO CONTROLLO”²³².

La vicinanza tra l'Architettura Parametrica e la ricerca operativa è ribadita sulle pagine di *Informazioni Urbanistiche*, rivista diretta da Moretti che ha dato ampio spazio ad applicazioni di ricerca operativa a scala urbana e territoriale. Nel primo numero, in un articolo dedicato al convegno indetto dall'I.R.M.O.U. presso la Triennale, Moretti afferma che egli “*aspirasse e tendesse*” alla ricerca operativa ancor prima di dare un nome alla sua Architettura Parametrica²³³. Nel catalogo, infatti, si riconosce per l'applicazione del metodo dell'Architettura Parametrica

“LA INDISPENSABILITÀ DELL'APPORTO DELLE VARIE COMPETENZE E QUINDI DELLE VARIE METODOLOGIE SCIENTIFICHE, SECONDO I CRITERI DELLA RICERCA OPERATIVA, NELLA DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI CONDIZIONANTI E DELLE RELAZIONI FRA LE LORO GRANDEZZE”²³⁴.

Si può notare che lo “*schema generale della ricerca*” proposto da Moretti per l'Architettura Parametrica, precedentemente richiamato al paragrafo 1.1 risulta estremamente prossimo alla sequenza logica per l'applicazione della ricerca operativa²³⁵. Da ciò deriva che è possibile attribuire la sua generale diffidenza verso le decisioni empiriche e intuitive, nonché il bisogno di tracciare le relazioni tra i vari parametri che condizionano il progetto di architettura, proprio allo sviluppo e alla diffusione della ricerca operativa. Ma la

²³¹ Cfr. Viati Navone, A. (2010), ““Un nuovo linguaggio per il pensiero architettonico”. Ricerca operativa e architettura parametrica”, in Reitchin B. & Tedeschi L. (eds.), Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività fra barocco e informale, Milano: Electa, pp. 409-419.

Si copia il testo della nota. 29 dell'articolo:

“Presidente dell'IRMOU è Luigi Moretti, vicepresidente il matematico Bruno de Finetti. Il comitato scientifico era formato dai fisici Anna Cuzzer, Aroldo De Tivoli, Franco Lepri, Vittorio Somenzi; dal matematico Mario de Benedicty, dall'architetto Ezio De Felice, dagli statistici Vittorio Castellano e Raffaele D'Addario, dallo psicologo Leandro Canestrelli, dal professore di geometria Giuseppe Pompily. A essi si unirono Cristoforo Bertuglia, Giuseppe Brenci, Giovanni Cordella, Dario Fiirst, Giuseppe Vaccaro, Tiziana Zelaschi.”

²³² Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 10.

²³³ “Mostra e Convegno alla Triennale di architettura parametrica e di ricerca operativa in urbanistica”, *Informazioni Urbanistiche*, a. 1, n. 1, pp. 24-25.

²³⁴ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 11.

²³⁵ Vedi nota n. 226

ricerca operativa, nelle teorie di Moretti, non ha solo plasmato un nuovo orizzonte culturale per la progettazione, perchè ha anche definito l'orizzonte tecnico all'interno del quale ricercare gli strumenti per gestire le eterogenee competenze richieste da un progetto di architettura sempre più complesso.

È necessario sottolineare che l'Architettura Parametrica di Moretti non è la semplice trasposizione della ricerca operativa nella pratica del progetto di architettura. È infatti più volte ribadita da Moretti la necessità di ricavare, tra gli aloni di indeterminazione delle indagini scientifiche, spazio per la libertà di decisione e di espressione dell'architetto. Ciò costituisce un aspetto in contrasto con i dettami della prima ricerca operativa di natura bellica secondo la quale un rigido rigore scientifico deve essere mantenuto anche nelle fasi di 'decisione'.

Si può rilevare che le applicazioni della ricerca operativa nella pratica professionale da parte di Moretti risultano assolutamente marginali e, soprattutto, limitate alle fasi istruttorie del problema progettuale. Già tra 1937 e il 1940 è possibile, grazie a degli appunti a margine dei disegni per il progetto dello Stadio Olimpico, rintracciare una primordiale applicazione della ricerca operativa, con particolare riferimento alla possibilità di *"istruire in modo scientifico"* un problema architettonico. Più precisamente, in questi appunti Moretti parla proprio di *"problemi architettonici"*, come l'individuazione della soluzione migliore, e di *"problemi di meccanismo generale"*, come il corretto posizionamento dei collegamenti verticali e orizzontali. La risoluzione di questi problemi non conduce alla forma architettonica, bensì a una sezione di massima dello stadio ottenuta a seguito di verifiche sulla *"visibilità assoluta"* da compiersi *"graficamente"* e *"algebricamente"*²³⁶.

²³⁶ Cfr. la nota a margine dell'elaborato grafico in ACSRo, Fondo Luigi Moretti, prog. no. 62, *"Progetto dello stadio olimpico ed esecuzione fino al secondo anello delle gradinate"*, 37/48/5or.

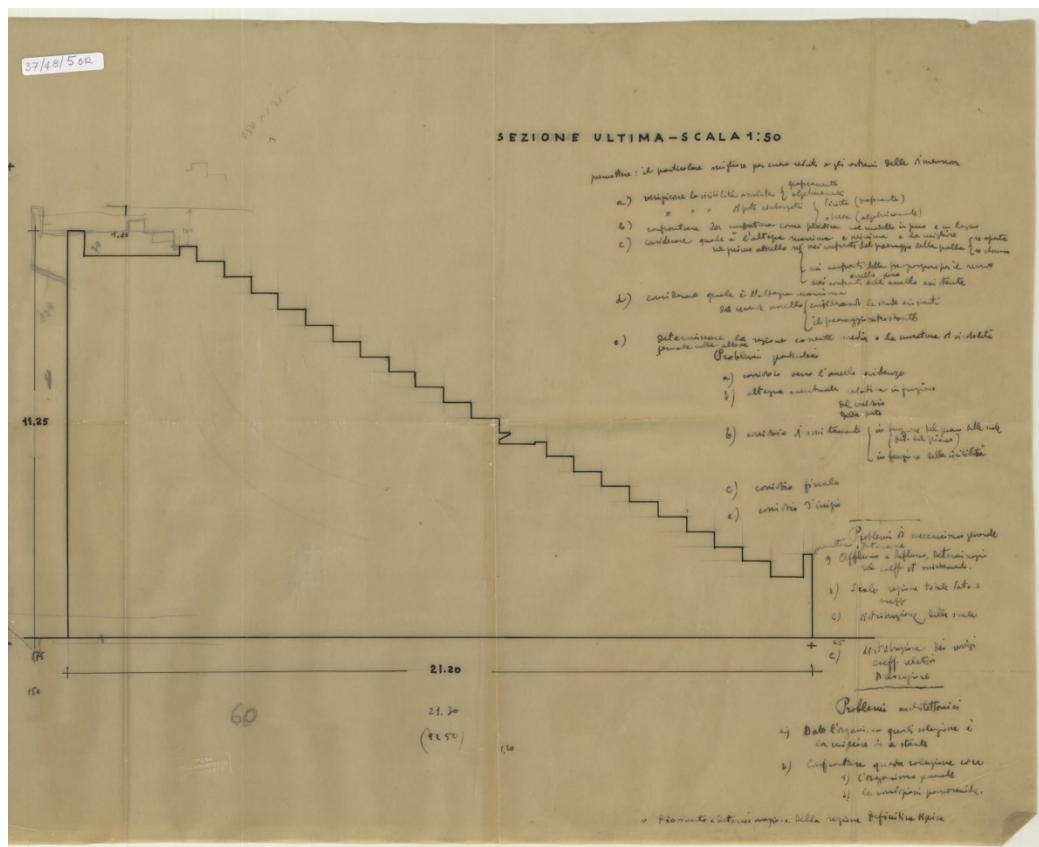


Fig. 3 – Luigi Moretti, appunti a margine dei disegni per il progetto dello Stadio Olimpico²³⁷

Una seconda applicazione della ricerca operativa nella pratica professionale di Moretti è rintracciabile nel concorso per il parcheggio di Villa Borghese, ancora una volta nelle fasi di analisi propedeutiche alla progettazione. Attraverso l'I.R.M.O.U., Moretti attua una campagna di osservazione, analisi, interviste e, in generale, di raccolta di informazioni riguardanti l'area oggetto di concorso che porterà, come si legge in vari carteggi, ad avere *“la presunzione che nessun altro concorrente abbia affrontato il tema con tale serietà”*²³⁸. Queste indagini propedeutiche comprendono osservazioni delle caratteristiche del traffico in corrispondenza di alcune aree più problematiche sul perimetro dell'area di progetto.

²³⁷ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, 37/48/5or.

²³⁸ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, busta no.27, prog. no. 226, *"Parcheggio sotterraneo a Villa Borghese"* Cfr. carteggio dell'ing. Marino Balzarini.

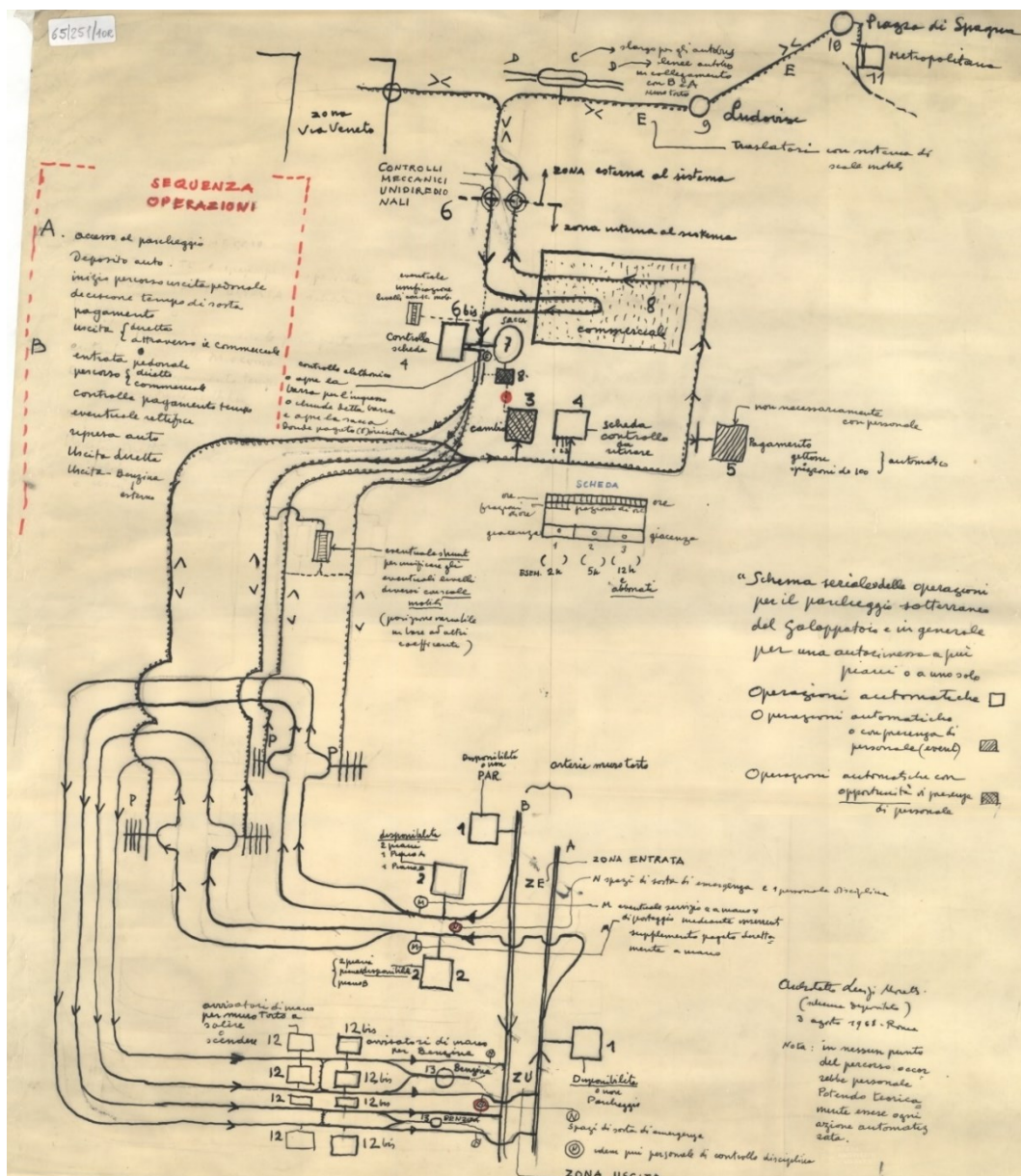


Fig. 6 - Schema operativo del parcheggio di Villa borghese²⁴¹

Una ulteriore applicazione di ricerca operativa è descritta da Moretti sulle pagine di Moebius²⁴² e riguarda la raccolta di informazioni sulle attività compiute dai giocatori durante una partita di calcio. Moretti spiega che attraverso un rilievo fotogrammetrico effettuato a cadenza regolare (un fotogramma ogni 2 secondi) è possibile annotare le posizioni di tutti i giocatori durante una partita di calcio con il fine di orientare la progettazione architettonica

²⁴¹ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, busta no.27, prog. no. 226, "Parcheggio sotterraneo a Villa Borghese", 65/251/1or

²⁴² Moretti, L., "Ricerca matematica in architettura e urbanistica"

di uno stadio verso forme capaci di ottimizzare la visibilità delle zone di campo in cui c'è una maggiore frequenza di "eventi" e "attività"²⁴³.

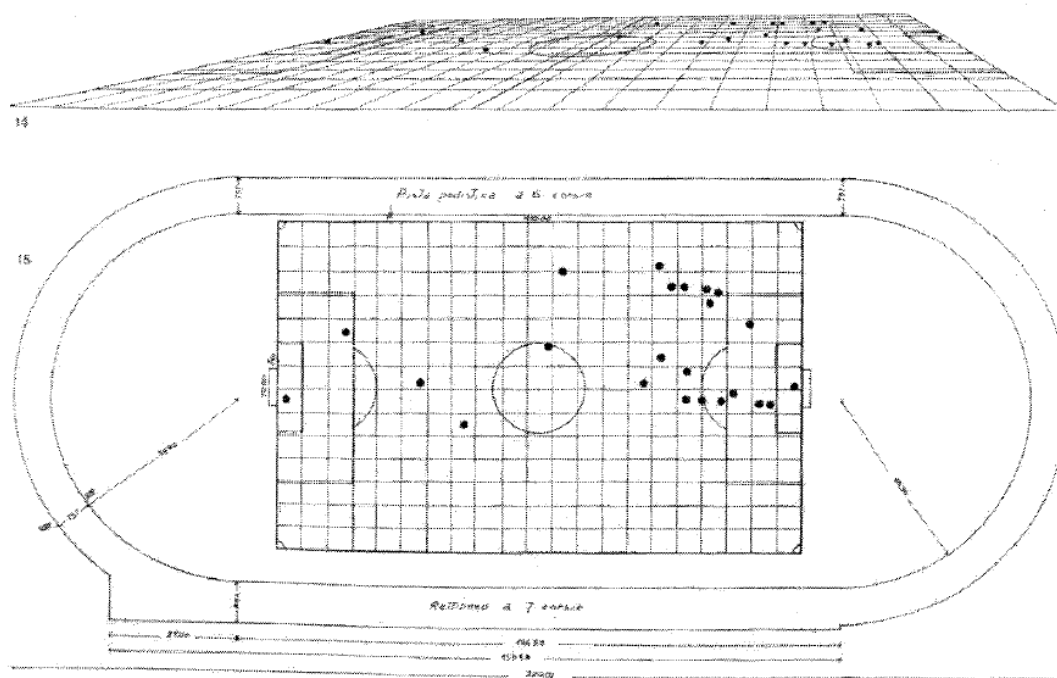


Fig. 7 – Luigi Moretti, Schema per il rilievo delle attività durante una partita di calcio.

È necessario sottolineare che il merito di ripensare il progetto di architettura alla luce delle innovazioni portate dalla ricerca operativa non può essere attribuito esclusivamente alle ricerche di Moretti. Si può riconoscere, infatti, che il panorama edilizio del secondo dopoguerra, caratterizzato da una diffusa obsolescenza degli edifici esistenti a cui era associata una grande domanda di nuovi edifici, rappresentava un privilegiato e naturale campo di applicazione per la ricerca operativa. In questo panorama, è possibile attribuire all'influenza della ricerca operativa sul progetto di architettura il diffondersi di una maggiore attenzione verso il rapporto tra produttività e costi nell'edilizia. Più precisamente, se si guarda al panorama anglofono in cui la ricerca operativa ha le sue radici, si assiste nel secondo dopoguerra alla diffusione di ricerche volte a identificare quei fattori che influenzano la produttività nel campo dell'*Architecture Engineering and Construction*, per promuovere una meccanizzazione e industrializzazione in questo campo, per studiare l'incidenza dei costi di gestione degli edifici, per meglio definire le prestazioni progettuali che un'opera di

²⁴³ Moretti, L., "Ricerca matematica in architettura e urbanistica"

architettura o ingegneria deve soddisfare²⁴⁴. Ciò ha condotto a introdurre nel progetto di architettura, con diversi livelli di rigorosità, strumentazioni e tecniche proprie della matematica applicata e della statistica, ma soprattutto alla diffusione di una speranza di scientificità per la pratica architettonica. Non è un caso, quindi, che nelle fondamenta teoriche del Computer-Aided Design tracciate da Mitchell, di cui è stata già discussa la prossimità all'approccio parametrico, sia presente il vocabolario proprio della ricerca operativa, come testimoniato dalle analogie tra i tipi di modelli individuati da Mitchell e i tipi di Modelli in uso nella ricerca operativa²⁴⁵.

A partire dalle esperienze richiamate, che coprono l'arco temporale dalla nascita della ricerca fino ai primi anni '70, è possibile individuare alcune tematiche progettuali che continuano ad avere un profilo di attualità e rilevanza in alcune modalità di applicazione dell'approccio parametrico nel progetto di architettura. Il contributo della ricerca operativa appare centrale per l'affermarsi di una tendenza tipica dell'approccio parametrico, cioè l'associazione del progetto di architettura a un modello da analizzare con il fine di ricavare informazioni da porre alla base di processi decisionali. La ricerca operativa, inoltre, assegna un ruolo centrale ad alcune modalità di ricerca delle soluzioni progettuali predominanti nell'approccio parametrico, come la sistematica esplorazione delle alternative progettuali, la loro valutazione e la loro ottimizzazione. Inoltre, la ricerca operativa promuove un progetto di architettura in cui vi è un chiaro modello di divisione dei ruoli tra il progettista, che definisce il problema progettuale e genera le prime ipotesi risolutive, e la tecnica matematica, che ricerca soluzioni ottimali. Infine la ricerca operativa, al pari di alcune declinazioni dell'approccio parametrico, ambisce a ricondurre la progettazione architettonica a una sequenza di azioni consequenziali che, se eseguite con rigore scientifico, conducono a una soluzione progettuale che soddisfa tutti i vincoli progettuali che le sono stati imposti.

²⁴⁴ Knox, J. (1951), "Operational Research in the Building Industry", *Operational Research Quarterly*, vol. 2, no. 1, pp. 5-10.

²⁴⁵ Mitchell parla di modelli analogici, iconici e simbolici per la risoluzione di problemi architettonici. Questa catalogazione è presente anche nella manualistica della ricerca operativa. Cfr. Mitchell, W. J., "The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design"; Rama Murthy P., *Operations Research*, p.16.

Nonostante la ricerca operativa non si sia interessata dei problemi della forma architettonica ma solo dei problemi afferenti alle decisioni che la generano, si può riconoscere che essa abbia rappresentato per il progetto di architettura una promessa di speranza e rinnovamento. Una promessa, cioè, capace di condurre a un migliore impiego delle risorse utilizzate nel settore all'*Architecture, Engineering and Construction* e, più in generale, una risposta nei confronti dell'impoverimento del rigore con cui sempre più spesso è condotta la pratica progettuale.

Contributi dai “pattern language”. Un approccio umanistico²⁴⁶

A *PATTERN LANGUAGE* È IL SECONDO DI UNA SERIE DI LIBRI CHE DESCRIVONO UN ATTEGGIAMENTO COMPLETAMENTE NUOVO NEI CONFRONTI DELL'ARCHITETTURA E DELLA PIANIFICAZIONE. QUESTI LIBRI SONO CONCEPITI PER FORNIRE UN'ALTERNATIVA DI LAVORO COMPLETA ALLE NOSTRE ATTUALI IDEE SULL'ARCHITETTURA, L'EDILIZIA E LA PIANIFICAZIONE - UN'ALTERNATIVA CHE, CI AUGURIAMO, SOSTITUIRÀ GRADUALMENTE LE IDEE E LE PRATICHE ATTUALI²⁴⁷.

Questa parte della trattazione propone di ragionare sul portato identitario della teoria e della pratica dei “*pattern language*”, sviluppata da Christopher Alexander, nei confronti dell'approccio parametrico. I *pattern language* di Alexander sono di estrema rilevanza per questo studio in quanto sono stati avvicinati da altri autori alle origini del parametrico, sono stati d'ispirazione per lo sviluppo dei linguaggi di programmazione ‘*object oriented*’ usati nella modellazione parametrica e, infine, la monografia in cui essi sono esposti è ritenuta da diversi autori²⁴⁸ il trattato architettonico più letto di sempre. Di conseguenza, appare utile una

²⁴⁶ Il termine umanistico, assunto per il titolo di questo paragrafo, deriva da una posizione di Paola Coppola Pignatelli in uno dei primi testi che ha permesso la diffusione delle idee di Christopher Alexander in lingua italiana. Scrive Coppola Pignatelli: “*Alexander propone difatti una visione dell'architettura assai più ampia e articolata, una visione ‘umanistica’ della progettazione che prende in considerazione il contributo della storia e indaga sul processo di formazione dell'ambiente urbano e della città antica riscoprendo, pur col solito rigore del matematico, il valore della tradizione*”. Coppola Pignatelli, P. (1977), “Introduzione”, in Alexander, C., *Un esperimento di progettazione democratica. L'Università dell'Oregon, Traduzione di Coppola Pignatelli, P.*, Roma: Officina Edizioni, p. 9.

²⁴⁷ Tradotto da: “*A pattern language is the second in a series of books which describe an entirely new attitude to architecture and planning. The books are intended to provide a complete working alternative to our present ideas about architecture, building, and planning - an alternative which will, we hope, gradually replace current ideas and practice*”.

Alexander, C. (1977), *A pattern language*, New York: Oxford University Press, seconda di copertina.

²⁴⁸ Cfr. Dawes, M. J., Ostwald, M. J. (2017), “Christopher Alexander's *A Pattern Language*: analysing, mapping and classifying the critical response”, *City, Territory and Architecture*, vol. 4:17.

Altri autori che hanno affermato che “*a pattern language*” è il trattato di architettura più letto di sempre sono:

riflessione su come i *pattern language* hanno contribuito a delineare l'orizzonte operativo e metodologico dell'approccio parametrico.

La relazione tra il lavoro di Alexander e l'approccio parametrico è riconosciuta già a partire dal 1971, anno in cui Jencks associa il lavoro di Alexander alla cultura della "*parametric school*"²⁴⁹. All'interno di questa "scuola" Jencks racchiude ricerche che affrontano la progettazione architettonica con un approccio "*divide et impera*". Jencks considera Alexander l'ideatore di un modo particolare di affrontare la progettazione che prevede una razionale frammentazione del *problema architettonico* con il fine di definirne gli elementi e i parametri fondanti. Successivamente, sempre secondo Jencks, questi parametri sono depurati da ogni appesantimento culturale per permettere al progettista di operare libero da ogni *bias*. Infine, a questi parametri è associata una rete di relazioni propedeutica alla delineazione di un 'diagramma di forma' o di un 'modello fisico'. Questa lettura di Jencks sul ruolo dei parametri all'interno della ricerca di Alexander chiarisce l'importanza di quest'ultimo nei confronti delle origini dell'approccio parametrico. Inoltre, permette di delineare una visione dell'approccio parametrico in cui la forma è centrale, in quanto sin dai suoi primi scritti, Alexander afferma che:

L'OBIETTIVO FINALE DELLA PROGETTAZIONE È LA FORMA²⁵⁰

Lea, D. (1994) "Christopher Alexander: an introduction for object-oriented designers", *Software Engineering Notes*, vol.19(1), pp. 39–46; Alexander, C. (1996) "Patterns in architecture", in Anderson, L. & Copelin, J. (eds), *OOPSLA—conference on object-oriented programming systems languages and applications*, San Jose: Association for Computing Machinery; Mehaffy, M. W. (2008), *Generative methods in urban design: a progress assessment*, *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, vol.1(1), pp. 57–75.

²⁴⁹ Jencks, C., *Architecture 2000: predictions and methods*, pp. 105-106.

²⁵⁰ Tradotto da: "*the ultimate object of design is form*".

Alexander, C. (1964), *Notes on the synthesis of form*, Cambridge: Harvard University Press, p. 15.

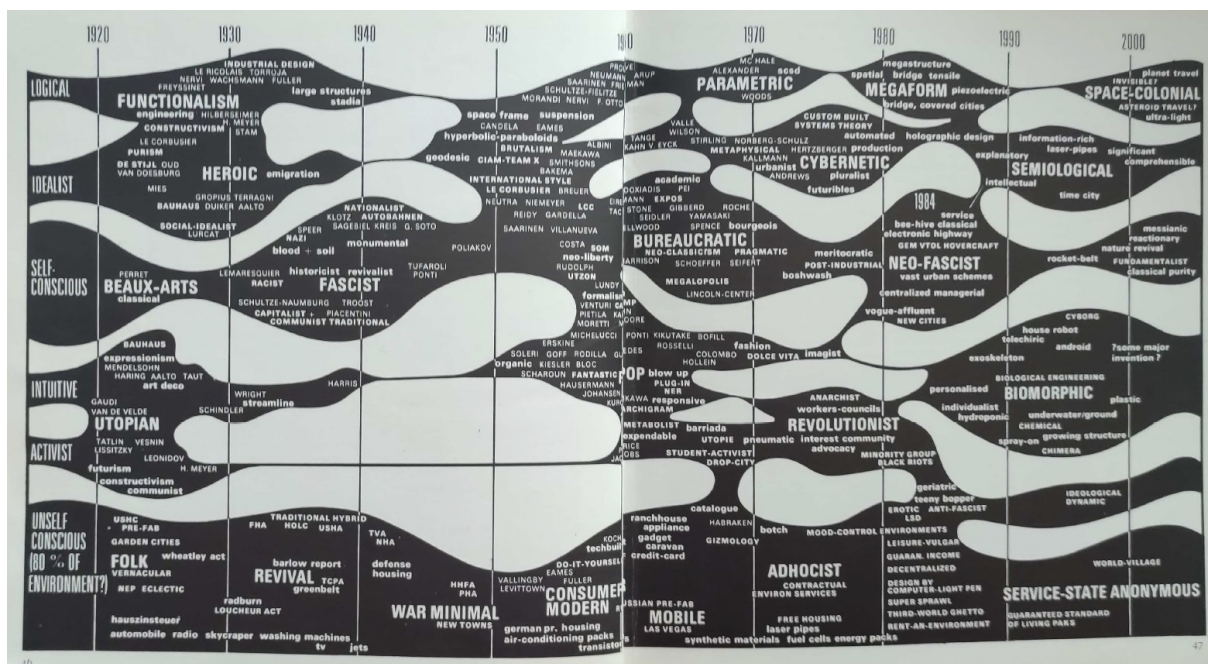


Fig. 8. Charles Jencks, "diagramma evolutivo fino all'anno 2000"²⁵¹.

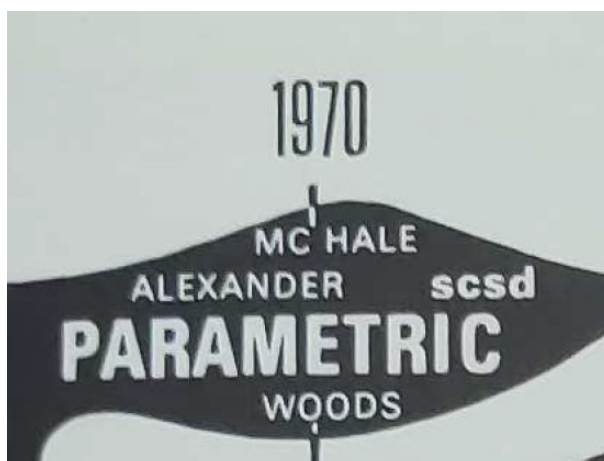


Fig. 9. Charles Jencks, prossimità del lavoro di Alexander alla visione "parametrica" del progetto e all'interno della "tradizione logica" del progetto²⁵².

Una discussione isolata del concetto di *pattern language*, tuttavia, non sarebbe in grado di restituire le pluralità dei modi con cui il lavoro di Alexander ha contribuito a creare un orizzonte culturale nel quale attuare una gestione parametrica della forma. Si propone, quindi, di sintetizzare l'imponente lavoro di Alexander in tre momenti attraverso i quali tracciare la sua rilevanza nella costruzione dell'approccio parametrico nel progetto di architettura. Questi tre momenti, che Alexander considera tre diverse teorie della progettazione architettonica,

²⁵¹ Jencks, C., *Architecture 2000: predictions and methods*, pp. 46-47.

²⁵² Jencks, C., *Architecture 2000: predictions and methods*, pp. 46-47.

corrispondono ad altrettante monografie: *Notes on the Synthesis of the Form*, in cui si discute il processo con cui la forma emerge raggiungendo un equilibrio con le *forze* esterne che la condizionano, *A Pattern Language*, in cui si propone un metodo progettuale per ottenere questo equilibrio e *The Nature Of Order*, in cui si approfondiscono gli aspetti geometrici di questo metodo.

Una prima teoria sull'“*architectural beauty*” è presentata da Alexander nell'ambito della sua tesi di dottorato, che successivamente sarà pubblicata nella monografia *Notes on the Synthesis of the Form*²⁵³. In questa monografia Alexander inizia a delineare la sua idea di diagramma, che chiamerà poi *pattern* nelle ricerche successive²⁵⁴. Il diagramma è considerato da Alexander uno schema di relazioni capace di dare una soluzione a un limitato sistema di forze in interazione e in contrasto tra di loro. Il diagramma, quindi, risulta essere indipendente rispetto alle forze esterne ad esso e, soprattutto, rispetto ad altri diagrammi. Attraverso la composizione di singoli diagrammi elementari è possibile dare una soluzione a problemi progettuali complessi. Alexander non trae l'ispirazione di questa idea di *atomizzazione* del processo progettuale esclusivamente dai progressi dell'informatica, ma anche dal volere individuare una maggiore *bellezza*²⁵⁵ nell'architettura prodotta da “*società tradizionali*” rispetto a quella prodotta da “*società moderne*”. L'“*architettura della tradizione*”, secondo Alexander, fornisce soluzioni ai problemi progettuali attraverso l'uso di condivise strategie architettoniche che si sono lentamente sedimentate nel tempo nella memoria collettiva. Più precisamente, queste ancestrali strategie architettoniche nell'atto della progettazione sono adattate e modificate per meglio rispondere agli stimoli e alle condizioni al contorno dell'ambiente che ospita la progettazione. Un primo aspetto di rilevanza di questa visione della progettazione è da rintracciare nella concezione *associativa* della forma architettonica, aspetto che sarà poi ripreso, pur non sempre dichiarando una continuità rispetto alle ricerche di Alexander, da un numero consistente di studiosi che si sono interessati all'approccio

²⁵³ Alexander, C., *Notes on the synthesis of form*.

²⁵⁴ Scrive Alexander nella prefazione alla 7° ristampa: “*These diagrams, which, in my more recent work, I have been calling patterns, are the key to the process of creating form*” (trad. “*questi diagrammi che, nei miei lavori più recenti ho chiamato patterns, sono fondamentali nel processo di creazione della forma*”). Alexander, C. (1973), *Notes on the Synthesis of the Form*, 7° ristampa, Cambridge: Harvard University Press, prefazione.

²⁵⁵ Il termine “*beauty*” è ampiamente utilizzato nella trattazione di Alexander. Si ricorda che Alexander richiama spesso nei suoi scritti una proprietà che l'architettura dovrebbe avere, cioè “*quality without a name*”.

parametrico²⁵⁶. Si può rilevare, quindi, che da *Notes on the Synthesis of the Form* emerge una chiara caratteristica di ciò che oggi consideriamo affine all'approccio parametrico, cioè l'idea che la forma architettonica può essere il prodotto di più strategie elementari che si combinano, si concatenano e si relazionano tra di loro. Questa idea sarà definita da Alexander come "*la più importante scoperta di questo libro*"²⁵⁷. Un secondo aspetto di rilevanza delle prime teorie di Alexander rispetto all'approccio parametrico è da individuare nelle modalità con cui egli propone di *ricercare* la soluzione progettuale. La concatenazione dei *diagrammi-pattern-strategie* non conduce a una singola soluzione progettuale, bensì a un campo di possibili soluzioni. Più precisamente, una concatenazione di diagrammi può rispondere allo stesso problema progettuale con un numero potenzialmente infinito di soluzioni, le quali rispondono alle esigenze progettuali con diversi livelli di performance. Se si sposta l'attenzione dalle differenze tra le diverse soluzioni verso le differenze nei parametri²⁵⁸ che hanno condotto alla generazione delle soluzioni, è evidente che la progettazione si attua agendo su un piano astratto, lontano dalla forma architettonica. Più precisamente, per Alexander si può progettare attraverso la ricerca dei parametri che generano la forma ottimale, e non solo attraverso la modificazione diretta della forma. In ciò non può che leggersi un aspetto di anticipazione di diverse caratteristiche affini all'approccio parametrico, dalla generazione della forma attraverso la concatenazione di procedure fino alla ricerca della forma attraverso l'esplorazione delle possibilità derivanti da una procedura.

²⁵⁶ Cfr. Gerber D. J., *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, p. i; Tedeschi, A., *AAD Algorithms-Aided Design, Parametric Strategies using Grasshopper*, p.20; Davis, D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, p. 14.

²⁵⁷ Alexander, C. (1973), *Notes on the Synthesis of the Form*, 7^a ristampa, Cambridge: Harvard University Press, prefazione.

²⁵⁸ In *Notes on the Synthesis of the Form* Alexander usa ampiamente il termine "*variabile*" nella prima parte del testo che assume un carattere più discorsivo. Nella seconda parte del testo, in cui viene dedicato ampio spazio a dimostrazioni matematiche, preferisce usare il termine "*parametri*".

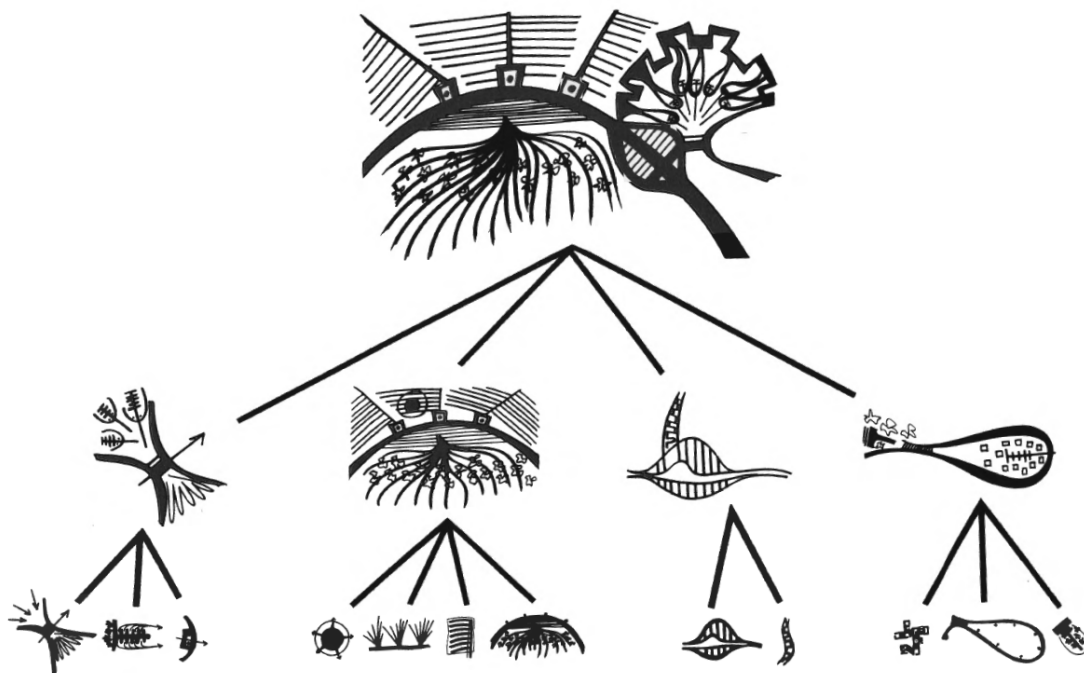


Fig. 10. Christopher Alexander, diagramma ad albero per la “determinazione dei componenti per un villaggio indiano”²⁵⁹

Quanto discusso finora corrobora l’idea che la progettazione architettonica possa tendere a una *formalizzazione* che esplicita le modalità con cui è valutata la correttezza delle soluzioni progettuali e le modalità con cui sono generate le diverse soluzioni progettuali. Tuttavia, Alexander riconosce nelle sue ricerche successive che i tentativi di trasferire queste idee nella pratica progettuale risultano eccessivamente complessi e dispendiosi²⁶⁰.

Come risposta a ciò, in una seconda fase dell’evoluzione delle sue teorie, Alexander ricercherà un diverso equilibrio tra una visione scientifica e processuale della progettazione e gli aspetti intuitivi, informali e collaborativi alle sue spalle. Il corpus teorico di questa fase, individuabile in *The Oregon Experiment*²⁶¹, *A pattern Language*²⁶² e *The Timeless Way of Building*²⁶³, va inserito quindi in un più ampio panorama di critica verso l’assenza di attenzione da parte del modernismo verso la dimensione intuitiva dell’architettura. Il lavoro sviluppato negli anni ‘70 da Alexander può infatti leggersi in continuità con l’affermarsi di nuove visioni

²⁵⁹ Alexander, C. (1973), *Notes on the Synthesis of the Form*, p.152.

²⁶⁰ Cfr. Dawes, M. J., Ostwald, M. J., “Christopher Alexander’s A Pattern Language: analysing, mapping and classifying the critical response”.

²⁶¹ Alexander, C. et al. (1975), *The Oregon Experiment*, New York: Oxford University Press.

²⁶² Alexander, C., *A pattern language*.

²⁶³ Alexander, C. (1979), *The Timeless Way of Building*, New York: Oxford University Press.

per il progetto, quali l'interesse per l'inconscio e il vernacolare di Bernard Rudofsky²⁶⁴ e con l'interesse per la dimensione sociale e cognitiva in Kevin Lynch²⁶⁵ e Jane Jacobs²⁶⁶. Ciò condurrà Alexander a riconoscere che

ESISTE UNA QUALITÀ CENTRALE CHE È IL CRITERIO FONDAMENTALE DELLA VITA E DELLO SPIRITO
DI UN UOMO, DI UNA CITTÀ, DI UN EDIFICIO O DI UNA REGIONE SELVAGGIA. QUESTA QUALITÀ È
OGGETTIVA E PRECISA, MA NON PUÒ ESSERE NOMINATA²⁶⁷

La ricerca di questa qualità, a cui spesso Alexander attribuisce degli aloni esoterici i quali saranno oggetto di diverse critiche²⁶⁸, è da intendersi come uno dei motivi che hanno condotto alla definizione di un approccio alla progettazione più democratico ma che al contempo non disconosce completamente la visione diagrammatica anticipata in *Notes on the synthesis of the form*. Uno dei modi per raggiungere "qualità senza un nome" è la progettazione attraverso la costruzione di un linguaggio alla cui base vi sono i *pattern*. Secondo Christopher Alexander:

OGNI *PATTERN* DESCRIVE UN PROBLEMA CHE SI PRESENTA IN CONTINUAZIONE NEL NOSTRO
AMBIENTE E POI DESCRIVE IL NUCLEO DELLA SOLUZIONE A QUEL PROBLEMA, IN MODO TALE DA
POTERLO UTILIZZARE UN MILIONE DI VOLTE, SENZA MAI FARLO ALLO STESSO MODO DUE VOLTE.²⁶⁹

UN *PATTERN LANGUAGE* DÀ A OGNI PERSONA CHE LO USA IL POTERE DI CREARE UNA VARIETÀ
INFINITA DI EDIFICI NUOVI E UNICI, PROPRIO COME IL SUO LINGUAGGIO ORDINARIO GLI DÀ IL POTERE
DI CREARE UNA VARIETÀ INFINITA DI FRASI.²⁷⁰

²⁶⁴ Rudofsky, B. (1964), *Architecture without architects: a short introduction to non-pedigreed architecture*, New York: Museum of Modern Art.

²⁶⁵ Lynch, K. (1960), *The image of the city*, Cambridge: MIT Press.

²⁶⁶ Jacobs, J. (1961), *The death and life of great American cities*, New York: Random House,

²⁶⁷ Tradotto da: "there is a central quality which is the root criterion of life and spirit in a man, a town, a building, or a wilderness. this quality is objective and precise, but it cannot be named"
Alexander, C. *The timeless way of building*, p. 19.

²⁶⁸ Cfr. Dawes, M. J., Ostwald, M. J., "Christopher Alexander's A Pattern Language: analysing, mapping and classifying the critical response".

²⁶⁹ Tradotto da: "Each pattern describes a problem which occurs over and over again in our environment, and then describes the core of the solution to that problem, in such a way that you can use this solution a million times over, without ever doing it the same way twice"
Alexander, C., *A pattern language*, p. x.

²⁷⁰ Tradotto da: "A pattern language gives each person who uses it the power to create an infinite variety of new and unique buildings, just as his ordinary language gives him the power to create an infinite variety of sentences"
Alexander, C., *The Timeless Way of Building*, p. xi.

Alexander propone quindi 253 *pattern* presentati seguendo la progressiva riduzione della loro scala di applicazione: regioni territoriali, reti di città, città, quartieri, edifici, singole abitazioni, unità ambientali. In questa articolazione verticale i singoli pattern spaziano tra tematiche inerenti alla pianificazione, alla progettazione, alla costruzione e alla gestione di tutti gli aspetti che possono interessare “comunità di persone”. A titolo di esempio, i pattern possono agire su una dimensione programmatica come nel caso di “mosaico culturale” o “rete di negozi” oppure su una dimensione estremamente pragmatica come nel caso di “spazi verdi accessibili” o “balconi di 1.80 metri”.

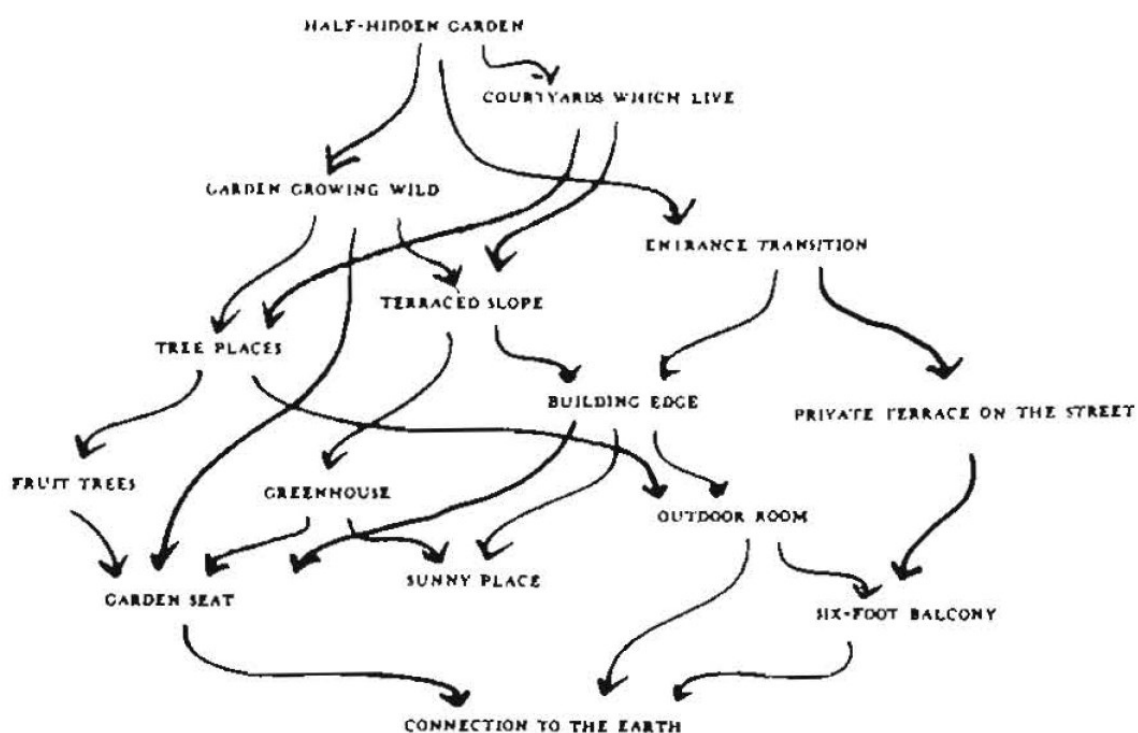


Fig. 11. Christopher Alexander, esempio di connessioni tra diversi pattern che, insieme, compongono un pattern language²⁷¹.

L'analisi delle caratteristiche ricorrenti nella definizione dei singoli *pattern* permette di comprendere che l'approccio parametrico presenta un chiaro debito nei confronti di Alexander. Ogni *pattern* è presentato attraverso una figura che ambisce, con modalità archetipiche, a fornire un chiaro esempio di applicazione del *pattern* stesso. Successivamente, sono delineati il campo di applicazione del *pattern* indicando anche le relazioni con altri

²⁷¹ Alexander, C., *The Timeless Way of Building*, p. 314.

pattern a scala più ampia. Sono poi definite le azioni per poter attuare il *pattern* e, infine, sono indicati ulteriori *pattern*, che interessano anche scale più ridotte, capaci di favorire la costruzione di un *pattern language*. Un importante numero di *pattern* presenta un chiaro approccio algoritmico alla ricerca delle soluzioni progettuali: attraverso l'esecuzione di azioni concatenate, presentate da Alexander in forma testuale e non matematica²⁷², è possibile generare una soluzione progettuale che dipende esplicitamente da parametri esterni (requisiti da rispettare, vincoli, condizioni ambientali etc.). La soluzione al problema architettonico, quindi, è ottenuta attraverso un processo ripercorribile e replicabile ma che al contempo presenta dei margini di adattabilità rispetto alle volontà progettuali di chi applica i *pattern*, che nella visione di Alexander non coincide necessariamente con un architetto-progettista.

²⁷² Per chiarire la natura algoritmica dei pattern, si riportano un esempio di istruzioni da *"combinare e ricombinare per costruire un'infinita varietà di fienili"*.

Alexander, C., *The Timeless Way of Building*, p. 179-181.

"Here are some of the patterns for traditional California barns.

Make a barn in the shape of a rectangle, 30-55 feet wide, 40-250 feet long, the length at least 3x feet, where x is the number of cows the barn has to hold.

Orient the barn so that its ends connect easily with the paths where cows come in from the fields, and with the local road.

Divide the inside of the barn into three parallel aisles: two cow milking aisles down the outer sides, and a central hay-storage aisle.

Make the central aisle 16-38 feet wide, and the outer aisles 10-16 feet wide. In certain cases, one of the side aisles can be shorter than the central aisle, thus taking a notch out of the rectangle.

Between the outer edge of the central aisle and the two outer aisles, place two rows of columns. The columns are equally spaced, and the distance between the last column and the end wall is equal to the distances between columns. Choose a column spacing between 7 and 17 feet.

If the column spacing is 10 feet, make the columns 4 x 4's. If the column spacing is 10-14 feet, make the columns 6 x 6's. If the column spacing is 14-17 feet, make the columns 8 x 8's. The columns are tied together, along the length of the barn, by the main purlins sitting on top of the columns.

Make the roof of the barn a symmetrical pitched roof, and make the pitch over the outer aisles flatter, or equal to, the pitch over the central aisle-so that the pitch will usually break over the main columns along the purlins. Both pitches are between 20 and 40 degrees to the horizontal.

If the length of the barn is less than 150 feet, place the main doors at the ends, roughly on the center line of the central aisle. If the barn is more than 150 feet long, place the main doors in the side walls, roughly halfway along, and let the side aisles be interrupted by the doors.

If the two rows of columns which define the central aisle are more than 18 feet apart, tie them together by horizontal tie beams, all at the same height, and within 3 feet of the tops of the columns.

Make the side walls 7-10 feet high, and the peak of the roof 15-25 feet high.

Frame the side walls by a system of vertical studs, connected by horizontal sill (bottom) and plate (top), and, if you wish, by a middle horizontal member-all these members 2 x 4's.

Place the studs in the side walls to line up with the columns of the central aisle and place the main rafters in the same planes as the studs and columns, sitting on the plates and purlins which run over these members.

Place rafters from opposite sides of the roof, meeting the main ridge beam.

Brace every corner in the framing of the side walls with a diagonal 2 x 4, about 3 feet long.

Connect the tie beams running across the central aisle to the main columns, by diagonal braces.

Connect the main purlins to the main columns, with diagonal braces 3-4 feet long. If the column spacing is more than about 21 feet also use double braces, the outer ones about 6 feet long."

Nel passaggio da singoli *pattern* verso la costruzione di un *pattern language* è possibile individuare un particolare modo di attuare l'approccio parametrico caratterizzato dall'essere legato dall'onere di ricercare in modo scientifico la soluzione progettuale. Si può ritenere che la generazione di soluzioni progettuali attraverso la composizione di più *pattern*, che possono essere sviluppati e modificati in modo indipendente, permette la costruzione di una memoria collettiva, condivisa e diffusa, nella quale trovano spazio quelle strategie che hanno dimostrato di esser in grado di risolvere pratici problemi progettuali. Infine, questa "compartimentazione" tra i diversi *pattern* anticipa alcune caratteristiche presenti nei linguaggi informatici, come *Lisp*, *Python* e *Visual Basic*, che per anni sono stati lo strumento più diffuso per una gestione parametrica della forma architettonica. Diverse ricerche, come quelle di Doug Lea²⁷³, si interesseranno proprio a chiarire la vicinanza tra i *Pattern* di Alexander e le concezioni informatiche "orientate agli oggetti", individuando caratteri di analogia nell'ambito della progettazione collettiva e partecipatoria, della decentralizzazione, dell'incapsulabilità, della generatività, dell'astrazione e della componibilità del codice informatico.

Si segnala un terzo momento nell'evoluzione delle teorie di Alexander²⁷⁴ in cui egli riconosce una non adeguata attenzione dei suoi precedenti studi rispetto alle tematiche della geometria²⁷⁵. Il concetto di *pattern* sarà quindi sostituito dal generico concetto di "centres" i quali presenteranno una minore attenzione verso i temi sociali alle spalle dell'architettura. Nonostante questo, è possibile affermare che la teoria dei *pattern* continuerà ad essere la ricerca di Alexander più diffusa e soprattutto, per i fini di questa tesi, una teoria che ha contribuito alla costruzione di una identità condivisa per l'approccio parametrico.

²⁷³ Lea, D. (1994) "Christopher Alexander: an introduction for object-oriented designers", *Software Engineering Notes*, vol.19(1), pp. 39–46

²⁷⁴ Questo momento fa riferimento alla serie di libri "The nature of order":

Alexander, C. (2002), *The nature of order: an essay on the art of building and the nature of the universe. Vol I, The phenomenon of life*, Berkley: Centre for Environmental Structure.

Alexander, C. (2002), *The nature of order: an essay on the art of building and the nature of the universe. Vol II, The process of creating life*, Berkley: Centre for Environmental Structure.

Alexander, C. (2004), *The nature of order: an essay on the art of building and the nature of the universe. Vol IV, The luminous ground*, Berkley: Centre for Environmental Structure.

Alexander, C. (2005), *The nature of order: an essay on the art of building and the nature of the universe. Vol III, A vision of a living world*, Berkley: Centre for Environmental Structure.

²⁷⁵ Cfr. Dawes, M. J., Ostwald, M. J., "Christopher Alexander's A Pattern Language: analysing, mapping and classifying the critical response".

Rileggere il concetto dei *pattern* alla luce delle invarianti proposte in questa ricerca permette quindi di comprendere che essi hanno delineato una particolare modalità di attuare l'approccio parametrico in cui la tecnica subisce un processo di umanizzazione e democratizzazione. Questa modalità presenta ancora caratteri di rilevanza nella contemporanea pratica progettuale in quanto a essa sono affiancabili quelle metodiche di costruzione del progetto in cui l'approccio parametrico non è attuato attraverso l'uso di strumenti digitali o di tecniche matematiche, bensì attraverso una diversa *forma mentis* nei confronti del processo progettuale.

2.2. IDENTITÀ DELLA VARIAZIONE. IL PROGETTO COME TRASFORMAZIONE

Diverse posizioni richiamate nell'introduzione a questo capitolo, come l'interesse per le "geometrie affini" da parte di Moretti o l'*objectile* di Deleuze e Cachè, suggeriscono di individuare un aspetto identitario dell'approccio parametrico nel tema della *variazione*, intesa come l'elevazione a metodo di progetto della predisposizione a mutare, cambiare, trasformare. Si propone quindi una riflessione sull'importanza della variazione all'interno dell'approccio parametrico, tracciando il ruolo che essa ha per la dimensione teorica e pratica di questo particolare metodo progettuale. Inoltre, si propone di tracciare il ruolo della variazione nell'ambito dei paradigmi cognitivi alle spalle della progettazione architettonica.

La centralità del concetto di variazione nell'approccio parametrico è testimoniata, inoltre, dall'uso dei suoi sinonimi all'interno delle definizioni di questo particolare approccio progettuale. Secondo Davis, la diffusa consapevolezza che una caratteristica osservabile di un modello parametrico è il rapporto di consequenzialità tra il cambiamento di un parametro e un cambiamento della soluzione progettuale ha condotto diversi autori a sostenere che "*il cambiamento è parametrico*"²⁷⁶. Tra questi autori vi è uno dei massimi esponenti della visione computazionale dell'approccio parametrico, Robert Woodbury, il quale apre l'introduzione di *Elements of Parametric Design* affermando che

LA PROGETTAZIONE È MUTAMENTO. LA MODELLAZIONE PARAMETRICA RAPPRESENTA
MUTAMENTO²⁷⁷.

²⁷⁶ Davis, D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, p. 24.

²⁷⁷ Tradotto da: "*Design is change. Parametric modelling represents change.*" Woodbury, R. (2010), *Elements of parametric design*, New York: Routledge, p.7.

Con questa affermazione Woodbury vuole riconoscere che nella pratica progettuale è fondamentale la possibilità di apportare variazioni alle soluzioni progettuali fino a pervenire a uno stato di equilibrio. Inoltre, nella trattazione di Woodbury, si individua un carattere essenziale della modellazione parametrica nella sua tendenza a variare. Di conseguenza, la predisposizione a variare è utilizzata per definire un carattere essenziale del parametrico. Questo carattere essenziale, sempre secondo Woodbury, acquista una dimensione pratica nella possibilità di “*variare in modo coordinato*”²⁷⁸ presente nei modelli parametrici.

Nella trattazione di Woodbury, quindi, la variazione è usata per definire *cosa è e cosa fa* la modellazione parametrica. Per una maggiore comprensione sulla rilevanza del concetto di variazione, si suggerisce anche di riflettere sugli scopi per i quali un progettista può decidere di avvicinarsi all’approccio parametrico. Un passaggio dalla dimensione della modellazione verso la dimensione della progettazione è rintracciabile in Gerber, il quale afferma che

PROGETTARE CON I PARAMETRI ATTRAVERSO UN “APPROCCIO PARAMETRICO” È DA INTENDERSI COME LA CREAZIONE DI MODELLI DI PROGETTAZIONE CHE PRESENTANO LA QUALITÀ DI VARIARE²⁷⁹.

A partire da questa posizione, Gerber argomenta e chiarisce che la modellazione parametrica è solo una parte dell’approccio parametrico, in quanto essa potrebbe essere utilizzata anche senza riconoscergli una esplicita “*intenzione [progettuale] di variazione, cambiamento, o associazione*”²⁸⁰.

All’interno delle eterogenee posizioni del *Digital Turn*, la variazione continua ad avere una estrema rilevanza nell’ambito metodologico dell’approccio parametrico, arrivando a impattare temi di linguaggio e forma architettonica. Una prima posizione intermedia, che lega aspetti di metodo con aspetti di linguaggio, è rintracciabile in Schumacher. Egli affida un ruolo

²⁷⁸ Woodbury, R. (2010), *Elements of parametric design*, New York: Routledge, p.11.

²⁷⁹ Tradotto da: “designing with parameters through a “parameterized expression” is to be understood as creating design models with means of variance”

Gerber D. J. (2007), *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, p. 125 [Tesi di dottorato] [Online].

https://www.researchgate.net/publication/279289656_Parametric_Practices_Models_for_Design_Exploration_in_Architecture (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

²⁸⁰ Tradotto da: “*The modeling is only one piece of the design protocol and can be done without the intention to vary, change, or associate.*”

Gerber D. J., *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, p. 125.

centrale alla possibilità di variare nella sua proposta di transizione dalle “*rigide ed ermetiche*” primitive geometriche del classico e del moderno, quali cubi, cilindri e sfere, verso le nuove primitive del Parametricismo²⁸¹. Quest’ultime primitive, che annoverano *splines, nurbs, subdiv, blobs, metaball* e altro, grazie alle loro capacità “*dinamiche, adattive e interattive*” permettono per Schumacher la progettazione di una architettura implicitamente predisposta alla variazione, e di conseguenza, più adatta a rispondere alle complesse richieste del Parametricismo²⁸². Una seconda posizione sulla rilevanza della variazione, meno rigida sul piano del metodo progettuale e più vicina a questioni legate alla forma architettonica, è rintracciabile nel lavoro di Lynn. Nella sua visione di parametrico, Lynn affida un minore peso agli aspetti “prestazionali”, basati sul ricevere informazioni sulla qualità delle soluzioni progettuali attraverso *feedback* provenienti da simulazioni. Egli arriva a definire metodi progettuali eccessivamente legati alle analisi come “teoreticamente ingenui” in quanto incapaci di catturare l’aspetto più interessante dell’approccio parametrico, cioè

LA POSSIBILITÀ [DI] PRODURRE UN INSIEME PROFONDAMENTE ARTICOLATO E UNA VARIAZIONE
INFINITESIMALE TRA LE SUE PARTI²⁸³

Si può riconoscere che le posizioni di Schumacher e Lynn, seppur separate da una distanza importante sul piano teorico, assegnano un ruolo primario all’interno di differenti declinazioni dell’approccio parametrico alla predisposizione a variare da parte della forma architettonica. Questa visione, a causa della rilevanza e diffusione delle posizioni di Schumacher e Lynn nonché a causa dell’impatto culturale del *Digital Turn*, sarà affiancata da un’ulteriore visione della variazione, più informale e slegata da questioni di metodo. Si possono infatti identificare i processi di democratizzazione e diffusione subiti dalla strumentazione propria dell’approccio parametrico all’interno del progetto di architettura che hanno condotto, nella coscienza collettiva, a definire come “parametriche” quelle forme che, su un piano esclusivamente formale, comunicano una certa predisposizione a variare. Si può

²⁸¹ Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 564.

²⁸² Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 564.

²⁸³ Estratto e tradotto da: “*I find this theoretically naive and it avoids the most interesting thing about parametrics, and that is the ability to fuse the hierarchy of parts and whole to produce a deeply modulated whole as well as infinitesimal variation among parts*”.

Rocker, I. (2004), “Calculus-Based Form. An interview with Greg Lynn”, *AD - Architectural Design*, vol. 76, no. 4, pp. 88-96.

quindi individuare un'ultima posizione, proposta da Yessios e libera da ogni sovrastruttura teorica, secondo la quale

“OGGI [PARAMETRICO] È USATO PER INDICARE CHE UNA ENTITÀ UNA VOLTA GENERATA PUÒ ESSERE FACILMENTE VARIATA”²⁸⁴.

Per ricercare quelle esperienze che hanno condotto ad affidare un ruolo così importante al concetto di variazione nell'ambito dell'approccio parametrico, è necessaria un'ultima riflessione sulle modifiche cognitive imposte da un processo progettuale in cui la possibilità di variare non solo è centrale, ma può essere elevata ad aspetto di metodo e di linguaggio.

Nell'ambito della *Rivoluzione Informatica in Architettura*, Antonino Saggio definisce un cambio di paradigma cognitivo che, per i fini di questa trattazione, si ritiene utile particolarizzare rispetto all'approccio parametrico. Saggio riconosce che la *Rivoluzione Informatica* ha comportato nell'ambito del progetto di architettura un passaggio da un pensiero prettamente lineare e consequenziale, di stampo *induttivo*, verso un pensiero basato sulla formulazione di ipotesi da verificare, di stampo invece *deduttivo*²⁸⁵. Questo cambio di paradigma si manifesta anche nei modi con cui si conduce la progettazione architettonica: all'approccio progettuale di tipo “*if->then*”, tipico del pensiero induttivo e che permette di costruire la forma architettonica come una logica sommatoria di esigenze, è stato affiancato un approccio di tipo “*what-if*”, tipico del pensiero deduttivo e che invece propone di costruire la forma architettonica per mezzo di un processo iterativo di tipo *trial-and-error*²⁸⁶. Si può quindi riconoscere che la variazione ricopre un ruolo fondamentale nell'approccio parametrico in quanto rappresenta il fattore abilitante per attuare una progettazione architettonica basata sul paradigma deduttivo del “*what-if*”. Sul piano operativo, ciò significa che l'approccio parametrico non ricerca una soluzione progettuale attraverso la delineazione di un numero limitato di alternative progettuali costruite con un ragionamento logico e induttivo (“*if->then*”) bensì ricerca all'interno di una grande quantità di “*ipotesi progettuali*” quelle soluzioni che riescono a soddisfare i requisiti imposti dal problema progettuale. Di conseguenza, in alcune declinazioni più estreme dell'approccio parametrico assume una

²⁸⁴ Tradotto da: “*today it is used to imply that the entity once generated can easily be changed*”

Yessios, C. (2003), “Is There More to Come?”, Kolarevic, B. (ed.), In *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, New York: Spon Press, pp. 356–364.

²⁸⁵ Cfr. Saggio, A. (2007), *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, Roma: Carocci, pp. 80-81.

²⁸⁶ Cfr. Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 80-81.

importanza maggiore la capacità di generare un elevato numero di soluzioni (per mezzo della variazione) rispetto a genere singole soluzioni valide. È il caso del paradigma del *form-searching*, delineato da Carpo²⁸⁷ nell'ambito dell'uso dei più moderni strumenti di computazione, in cui si riconosce la tendenza a progettare attraverso la generazione di un ingente numero di alternative progettuale tra le quali ricercare una soluzione progettuale.

I successivi paragrafi analizzano la rilevanza del tema della variazione nei modi con cui si attua l'approccio parametrico proponendo una narrazione divisa tra l'esperienza analogica e l'esperienza digitale. Le esperienze riconducibili alla dimensione analogica permettono di tracciare una modalità di progetto, ancora attuale, in cui la forma architettonica è ricercata per mezzo di un approccio "combinatorio", basato cioè sull'indagine esaustiva delle diverse variazioni assumibili da un processo che genera una forma. Le esperienze riconducibili alla dimensione digitale, oltre a rinnovare la *forma mentis* propria della dimensione analogica, permettono di delineare come l'approccio parametrico richieda lo sforzo di pensare la forma architettonica secondo la logica del "*linguaggio delle macchine*".

Contributi della variazione analogica. Un approccio combinatorio

In questa parte di ricerca si intende continuare a dimostrare che è possibile individuare esperienze affini all'approccio parametrico lontane, in termini temporali e tecnici, da quel *Digital Turn* che ha posto i prodotti e i metodi di questo approccio al centro del dibattito architettonico internazionale. È proprio il teorizzatore del *Digital Turn*, Carpo, che, oltre ad assegnare un ruolo centrale al lavoro di Deleuze nella definizione del "*Parametricismo digitale*"²⁸⁸, si spinge ad affermare che il Parametricismo ha radici ben lontane dalle suggestioni del digitale e del cibernetico. Carpo afferma che

"IL VERO PRECEDENTE DELL'ODIERNA VARIABILITÀ COMPUTAZIONALE VA RICERCATO NELLA
TEORIA ARCHITETTONICA DELLE CIVILTÀ PRE-MECCANICHE, CHE IN OCCIDENTE COMPRENDONO
L'ANTICHITÀ CLASSICA E IL MEDIOEVO"²⁸⁹

²⁸⁷ Carpo, M. (2015), "The New Science of Form-Searching", *AD – Architectural Design*, vol. 85, no.5, pp. 22-27.

²⁸⁸ Carpo, M. (2016), "Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard", *AD – Architectural Design*, vol. 86, no. 2, pp. 24-29

²⁸⁹ Tradotto da: "*the true precedent to today's computational variability must be found in the architectural theory of pre-mechanical civilisations, which in the West include classical antiquity as well as the Middle Ages*"
Carpo, M., *Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard*.

Se si guarda a una delle tesi proposta da Carpo in *The Alphabet and The Algorithm*²⁹⁰, cioè che una pratica chiave della modernità è da individuare nella possibilità di creare copie identiche di *media* di qualsiasi natura, emerge chiaramente che la trasmissione della cultura architettonica sia spesso avvenuta attraverso approcci parametrici in cui i limiti della variazione hanno assunto un ruolo centrale. I manoscritti di Vitruvio, infatti, erano scritti per poter essere copiati limitando l'uso di immagini o illustrazioni²⁹¹. Ciò ha condotto alla necessità di tramandare la forma architettonica esclusivamente attraverso una sua descrizione di tipo testuale. Carpo riconosce che questa descrizione testuale è stata proposta da Vitruvio anche nella forma di regole particolarmente sofisticate caratterizzate dall'uso di sequenze *if-then*²⁹² che, alla luce di quanto discusso nel capitolo 1, possono essere considerate dei primitivi algoritmi procedurali. Nel *De Architettura*, l'illustrazione dei singoli elementi architettonici è infatti sostituita da una serie di istruzioni, che, una volta eseguite, restituiscono una geometria progettuale. A titolo di esempio, si richiamano le istruzioni di Vitruvio per la progettazione di un architrave:

“LA GIUSTA PROPORZIONE [DEGLI ARCHITRAVI] È LA SEGUENTE: SE LE COLONNE SARANNO PER LA MINORE ALTEZZA DI PIEDI XII IN XV L'ALTEZZA DELL'ARCHITRAVE SIA PER LA METÀ DELLA GROSSEZZA INFERIORE DELLA COLONNA. SE DI XV A XX, DIVISA L'ALTEZZA DELLA COLONNA IN TREDICI PARTI, D'UNA DI QUESTE SIA L'ALTEZZA DELL'ARCHITRAVE. COSÌ SE DA XX A XXV PIEDI, SI DIVIDERÀ L'ALTEZZA IN DODICI PARTI E MEZZO, ED UNA DI QUESTE SIA L'ALTEZZA DELL'ARCHITRAVE. SE DI XXV A XXX, SI DIVIDA IN DODICI PARTI, ED UNA DI QUESTE SI DÀ ALL'ARCHITRAVE. E COSÌ A PROPORZIONE DELL'ALTEZZA DELLA COLONNA COLLA STESSA REGOLA DEBBONSÌ RICAVERE LE ALTEZZE DEGLI ARCHITRAVI”²⁹³.

Queste istruzioni assumono una valenza progettuale in quanto dipendono dai requisiti che la forma architettonica deve rispettare, come la luce da coprire. Inoltre, queste istruzioni permettono di costruire un quadro di relazioni parametriche tra i diversi elementi che compongono la forma architettonica, come i pilastri e gli architravi. Infine, se si analizzano le

²⁹⁰ Carpo, M., *The alphabet and the algorithm*.

²⁹¹ Carpo, M. (1998), “Vitruvio, testo e immagini”, in Carpo, M., *Architettura nell'età della stampa. Oralità, scrittura, libro stampato e riproduzione meccanica dell'immagine nelle storie delle teorie architettoniche*, Milano: Jaca Book, pp. 21-28.

²⁹² Carpo, M., *Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard*

²⁹³ Vitruvio, *De Architettura*, libro III, capo III.

istruzioni di Vitruvio da un punto di vista informatico, è evidente la *nidificazione* di strutture “if-then” associabili all’approccio parametrico.

Carpo, continuando a riflettere sulla “dimensione parametrica” nell’opera dei primi trattatisti dell’architettura, arriva ad affermare che

NEI TRATTATI DI VITRUVIO E DELL'ALBERTI, IL CAPITELLO CORINZIO, AD ESEMPIO, NON È UN OGGETTO, MA UNA CLASSE DI OGGETTI, MATEMATICAMENTE DEFINITI DA REGOLE GENERATIVE - IN TERMINI ODIERNI, UN *OBJECTILE* (ANCHE SE DEFINITO DA VARIAZIONI DISCRETE, NON CONTINUE)²⁹⁴

Parafrasando termini introdotti da Gottfried Semper²⁹⁵, solo apparentemente lontani dal lessico odierno dell’approccio parametrico, si può sostenere che l’applicazione di queste regole proposte dai trattatisti conduce alla creazione di artefatti architettonici che appartengono a uno stesso *genus* ma che comunque non sono mai identici tra di loro in quanto ognuno rappresenta una *species*.

La trasmissione della conoscenza architettonica per mezzo di una versione testuale dell’approccio parametrico in cui il concetto di variazione, variabilità e adattabilità sia centrale, è secondo Carpo una risposta a un problema pratico. Carpo infatti riconosce che l’assenza di metodi per copiare in modo efficiente le illustrazioni, continuerà a persistere fino al medioevo e condiziona quei processi di trasmissione orale delle regole geometriche da seguire nella costruzione degli edifici²⁹⁶. Oltre al problema dell’efficienza, è necessario considerare anche il problema dell’affidabilità. Già nel 1998, oltre un decennio prima della delineazione del *Digital Turn*, in una monografia centrata sui temi dell’“oralità, scrittura, libro stampato e riproduzione meccanica dell’immagine nella storia delle teorie architettoniche”, Carpo riconosceva che “l’architetto pretipografico sapeva che l’immagine era un vettore a rischio. Ed agiva di conseguenza”²⁹⁷.

²⁹⁴ Tradotto da: “Thus in Vitruvius's and Alberti's treatises the Corinthian capital, for example, is not an object, but a class of objects, mathematically defined by generative rules – in today's terms, an *objectile* (albeit one defined by discrete, not by continuous variations)”.

Carpo, M., *Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard*

²⁹⁵ Cfr. Semper, G. (1860), *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik*.

²⁹⁶ Carpo, M. (2011), “Geometry, Algorism, and the Notational Bottleneck”, in Carpo, M., *The alphabet and the algorithm*, Cambridge: MIT Press, pp. 28-34.

²⁹⁷ Carpo, M., *Architettura nell’età della stampa. Oralità, scrittura, libro stampato e riproduzione meccanica dell’immagine nelle storie delle teorie architettoniche*, p. 35.

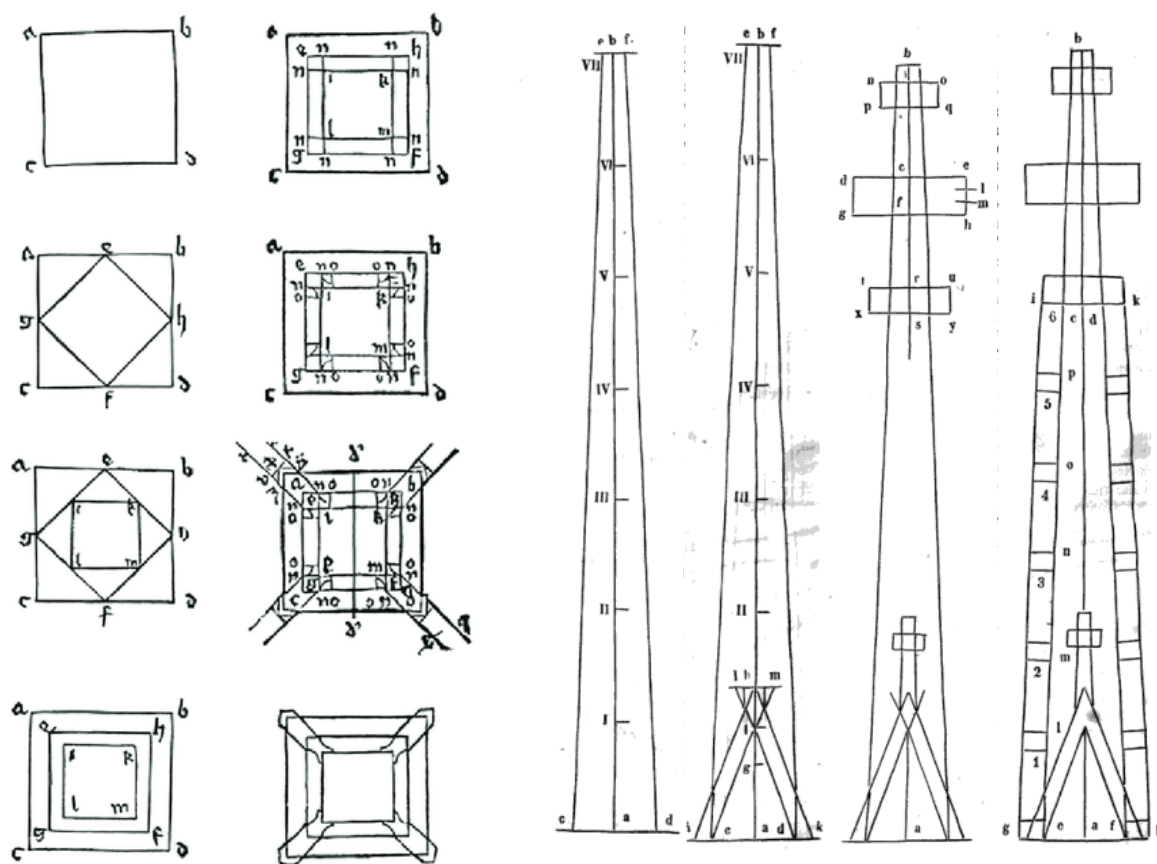


Fig. 12 – Immagini dal *Das Büchlein von der Fialen Gerechtigkeit* di Matthäus Roriczer (1486)²⁹⁸. In questo testo, che secondo Carpo è il primo libro illustrato stampato in ambito architettonico²⁹⁹, i diagrammi che mostrano in step successivi la costruzione di un pinnacolo continuano a basarsi sulla definizione di regole geometriche concatenate tra di loro.

Queste procedure, dalle istruzioni di progetto dei layout delle corti in Vitruvio fino ai processi di delineazione geometrica di guglie e pinnacoli nell'architettura gotica (vedi Fig. 12), non sono portatrici solo di una modalità di comunicazione della forma architettonica ma, inevitabilmente, anche di una modalità di pensare la forma architettonica a partire dalla definizione dei modi con cui essa potrà variare. È interessante, inoltre, notare che questa modalità di pensiero continuerà ad essere praticata anche dopo il superamento delle limitazioni tecniche tracciate da Carpo.

²⁹⁸ Roriczer, M. (1486), *Das Büchlein von der Fialen Gerechtigkeit*

²⁹⁹ Carpo, M., *Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard*

La ricerca di un precedente dell'approccio parametrico nelle fondamenta della cultura occidentale del progetto di architettura può ritenersi un interesse condiviso dai protagonisti del *Digital Turn* in quanto esso è sostenuto, oltre che da Carpo, da altre figure chiave per questa ricerca, quali William J. Mitchell e Bernard Cache³⁰⁰.

Con particolare riferimento a Mitchell, egli individua una certa "*predisposizione computazionale*" nella codifica dell'"*approccio classico*" al progetto di architettura. Questa "*predisposizione computazionale*", derivante dalle modalità con cui la forma architettonica è prima composta e poi sottoposta a processi di variazione e adattamento, sarà mantenuta nei primi strumenti digitali affini all'approccio parametrico, che saranno successivamente richiamati in questo paragrafo.

Mitchell, quindi, afferma che la codifica dell'"*approccio classico*" al progetto di architettura è basato sulla

SISTEMATICA ESPLORAZIONE DEI DIVERSI MODI CON CUI VARI ELEMENTI DI UN BEN DEFINITO VOCABOLARIO POSSONO ESSERE ASSEMBLATI IN DIFFERENTI COMBINAZIONI PER GENERARE LA FORMA ARCHITETTONICA³⁰¹.

Richiamando il contributo alla cultura del progetto offerto da Summerson³⁰² e Banham³⁰³, Mitchell afferma che questo "*approccio classico*" alla progettazione architettonica è stato formalizzato all'interno delle *Ecole Polytechnique* e delle *Ecole des Beaux-Arts* durante il diciannovesimo secolo ed è chiaramente individuabile nei trattati utilizzati in queste scuole. In particolare, Mitchell cita due trattati: *Precis des Lecons d'Architecture* di Durand³⁰⁴ e *Elements et Theorie de l'Architecture* di Guadet³⁰⁵. Nella prefazione al secondo tomo dell'opera di Durand, è possibile rintracciare un passaggio in cui è dichiarata l'ambizione a

³⁰⁰ Cache, B. (2012), *Instruments of Thought*, Cornell University [Trascrizione di conferenza] [Online]. <http://events.cornell.edu/event/bernard-cache-lecture-instruments-of-thought> (Ultima consultazione: 19 gennaio 2023)

³⁰¹ Estratto e tradotto da: "*The classical approach to architectural design, as it was formalized in the textbooks of the Ecole Polytechnique and the Ecole des Beaux-Arts during the nineteenth century, was also based upon systematic exploration of alternative ways in which various elements from a fixed vocabulary could be assembled in different combinations to generate architectural forms*"

Mitchell, W. J., "The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design";

³⁰² Summerson, J. (1963), *The Classical Language of Architecture*, Cambridge: MIT Press.

³⁰³ Banham, R., (1967), *Theory and Design in the First Machine Age*, 2° ed., New York: Praeger

³⁰⁴ Durand, J. N. L. (1802), *Precis des Lecons d'Architecture*

³⁰⁵ Guadet, J. (1902), *Elements et Theorie de l'Architecture*, Parigi: Librairie de la Construction Moderne.

sviluppare un metodo di progettazione basato sulla delineazione delle relazioni che devono sussistere tra elementi noti. Scrive Durand:

ESSENDO BEN NOTI TUTTI GLI OGGETTI CHE POSSONO ENTRARE NELLA COMPOSIZIONE DEGLI EDIFICI, [...] ABBIAMO CERCATO COME DOVEVANO ESSERE COMBINATI TRA LORO, COME DOVEVANO ESSERE DISPOSTI IN RELAZIONE L'UNO CON L'ALTRO, SIA ORIZZONTALMENTE CHE VERTICALMENTE: CONOSCENDO QUESTE VARIE COMBINAZIONI, LE ABBIAMO IMPIEGATE NELLA FORMAZIONE DELLE DIVERSE PARTI DEGLI EDIFICI, COME PORTICI, PORTICATI, VESTIBOLI, SCALE, STANZE DI VARIO TIPO, CORTILI, ECC. INFINE, COMBINANDO A TURNO LE DIVERSE PARTI DEGLI EDIFICI, SIAMO ARRIVATI ALLA COMPOSIZIONE DEL LORO INSIEME IN GENERALE³⁰⁶.

Mitchell, pur non attribuendo un ruolo centrale all'approccio *Beaux-Arts* nella pratica architettonica a lui contemporanea, afferma che *"la progettazione attraverso la sistematica generazione di combinazioni di elementi standardizzati è ancora ampiamente utilizzata"*³⁰⁷. In questa affermazione si può riconoscere che un modo di praticare (e pensare) il progetto di architettura si basa quindi sul variare i modi con cui è possibile combinare un "vocabolario" di primitive architettoniche. Ciò rappresenta una visione, e soprattutto di una modalità di progetto, basata sulla concatenazione di relazioni, dagli elementi architettonici più minuti fino alla costruzione della forma urbana³⁰⁸. Questa visione prima "combinatoria" e poi "variazionale" dell'"approccio classico" al progetto è rintracciabile anche nelle posizioni di Banham, il quale ne descrive il funzionamento pratico nei seguenti termini:

"PICCOLI ELEMENTI STRUTTURALI E FUNZIONALI (ELEMENTI DELL'ARCHITETTURA) VENGONO ASSEMBLATI PER CREARE VOLUMI FUNZIONALI, E QUESTI (ELEMENTI DELLA COMPOSIZIONE)

³⁰⁶ Tradotto da: *"Tous les objets qui peuvent entrer dans la composition des édifices étant bien connus, nous avons cherché dans la seconde partie comment on devait les combiner entre eux, comment on devait les disposer les uns par rapport aux autres, tant horizontalement que verticalement : familiarisés avec ces diverses combinaisons, nous les avons employées à la formation des différentes parties des édifices, telles que les portiques, les porches, les vestibules, les escaliers, les salles de diverses espèces, les cours, etc.; enfin, combinant à leur tour les différentes parties des édifices, nous sommes parvenus à la composition de leur ensemble en général"*

Durand, J. N. L., *Precis des Leçons d'Architecture*

³⁰⁷ Tradotto da: *"Although the ideology and specific formal devices of Beaux-Arts design have long since been rejected by architects, the technique of design by systematic generation of combinations of standardized elements is still widely employed."*

Mitchell, W. J., *"The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design"*

³⁰⁸ Scrive Durand: *"De même que les murs, les colonnes, etc., sont les éléments dont se composent les édifices, de même les édifices sont les éléments dont se composent les villes"*. Trad.: *"Come i muri, le colonne, ecc. sono gli elementi di cui sono composti gli edifici, così gli edifici sono gli elementi di cui sono composte le città"* Durand, J. N. L. (1802), *Precis des Leçons d'Architecture*

VENGONO ASSEMBLATI PER CREARE EDIFICI INTERI. FARE QUESTO SIGNIFICA COMPORRE NEL SENSO LETTERALE E DERIVAZIONALE DEL TERMINE, METTERE INSIEME”³⁰⁹.

Si può riconoscere che la prossimità tra l’approccio parametrico e il pensiero architettonico dei grandi trattatisti occidentali supera la dimensione teorica in quanto diversi autori si sono interessati, con diverse finalità e con diversi strumenti, a tradurre nel linguaggio digitale i numerosi *objectiles* contenuti nei trattati classici e medievali. Si registrano infatti numerose sperimentazioni, compiute su trattatisti come Vitruvio³¹⁰, Palladio³¹¹ e Roriczer³¹² (ma anche sul lavoro di progettisti del Novecento³¹³) che riconducono a logiche parametriche dei processi di generazione della forma architettonica di tipo descrittivo-testuale. Già a partire dalle prime applicazioni degli anni 70, nonostante la limitata potenza computazionale a disposizione, emerge in tutte le applicazioni richiamate l’uso del digitale come strumento per indagare con maggiore velocità tutte le possibili variazioni (o meglio, combinazioni) assumibili da una forma generata a partire da un qualche tipo di regola. Queste ricerche, che sono mosse dall’ambizione di costruire efficaci strumenti e nuovi metodi di progetto, presentano quindi diversi prodromi dell’approccio parametrico. In particolare, per rispondere agli obiettivi di questo paragrafo, si riconosce che esse delegano a un generico processo tecnico la fase di generazione e variazione delle soluzioni progettuali.

È necessario riconoscere che la risoluzione di un problema attraverso metodi “combinatori” non è diffusa esclusivamente nel campo della progettazione architettonica, ma

³⁰⁹ Tradotto da: “*small structural and functional members (elements of architecture) are assembled to make functional volumes, and these (elements of composition) are assembled to make whole buildings. To do this is to compose in the literal and derivational sense of the word, to put together.*”

Banham, R., *Theory and Design in the First Machine Age*, 2° ed., p.20

³¹⁰ Cfr. Mitchell, W. J. (1975), “*Vitruvius computatus*”, in Hawkes, D. (ed.), *Models and Systems in Architecture and Building*, Lancaster: The Construction Press, pp. 53-59.

Cachè, B. (2009), *Fortuito supra acanthi radice: Essai de lecture contemporaine du De Architectura de Vitruve*, Università di Parigi [Tesi di Dottorato].

³¹¹ Cfr. Stiny, G. & Mitchell, W. J. (1978), “The Palladian grammar,” *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol 5., no. 1, pp. 5-18.

Spallone, R. & Calvano, M. (2019), “Roots of ‘parametric thinking’ in Palladio’s Villas. Surveying, interpreting and visual programming the plates from I quattro libri di Architettura”, In *Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, Proceedings of the International Conference MetroArchaeo*, pp. 217–222.

³¹² Mitchell, W. J. (2001), “*Vitruvius Redux*”, in Antonsson, E. K. & Cagan, J. (eds.), *Formal Engineering Design Synthesis*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1-19. (NB: nonostante il nome del paper, ampio spazio è dedicato da Mitchell delle indagini sulle famose istruzioni di Roriczer per la costruzione geometrica di pinnacoli).

³¹³ Cfr. Koning, H. & Eizenberg, J. (1981), “The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 8, no.3, pp.295-323.

Duarte, J. P. (2005). “Towards the Mass Customization of Housing: The Grammar of Siza’s Houses at Malagueira”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 32 no. 3, pp. 347–380.

si tratta di un approccio che possiamo far risalire alle origini della logica, e di conseguenza è una “modalità di pensiero”. Come notato da Mitchell³¹⁴, già Aristotele nella *Politica* aveva indagato la possibilità di generare nuovi artefatti attraverso la ricombinazione delle caratteristiche assumibili dalle proprietà degli artefatti stessi³¹⁵, affermando che le diverse organizzazioni di città derivassero da diversi modi di ricombinare le caratteristiche delle parti che formano la città. In questa idea di Aristotele si può riconoscere un *potenziale di progettualità*, in quanto attraverso una esaustiva elencazione delle combinazioni assumibili dalle caratteristiche è possibile generare nuovi artefatti. Al pensiero di Aristotele sarebbe possibile associare oltre un millennio di sperimentazioni, sia teoriche che pratiche³¹⁶, ma per gli obiettivi di questa tesi risulta utile soffermarsi sul contributo di Leibniz all’*Ars Combinatoria*, principalmente per vie delle riletture che saranno poi effettuate da Deleuze. Nella *Dissertatio De Arte Combinatoria* del 1666, Leibniz esplora modalità per scomporre idee complesse in frammenti più semplici, da ricombinare con il fine di generare nuove idee. Risulta necessario sottolineare che le modalità per generare nuove idee usate da Leibniz sono in realtà delle applicazioni elementari di calcolo combinatorio, ma il suo lavoro è importante per le ambizioni che, a posteriori, ha instillato nella cultura progettuale. Se si guarda alle riletture di Leibniz compiute da Lynn, si può riconoscere che il filosofo tedesco ha contribuito a delineare parte di quella *forma mentis* che accomuna un gran numero di ricerche richiamate in questa tesi. Scrive Lynn:

“L'ARS COMBINATORIA DI LEIBNIZ DEL 1666 HA INAUGURATO UNA TRADIZIONE
ALTERNATIVA, CHE NON ESCLUDE UNA TEORIA DELLA COMBINAZIONE DALLE DISCUSSIONI

³¹⁴ Mitchell, W. J., “The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design

³¹⁵ “Per esempio, se volessimo classificare le specie di animali, in primo luogo dovremmo determinare ciò che necessariamente ogni animale deve possedere, come ad esempio alcuni degli organi sensoriali, le parti per digerire e assumere il cibo, come bocca e stomaco, e inoltre le parti con cui ciascuno di essi si muove. Se dunque fossero solo queste le parti e di esse ci fossero comunque differenze – intendo ad esempio più tipi di bocca, di stomaco, di organi sensoriali, e inoltre di organi motori – il numero delle loro combinazioni di necessità produrrà numerosi generi di animali, perché infatti lo stesso animale non ha più tipi di bocca, né, del resto, di orecchie, cosicché quando si saranno considerate tutte le unioni possibili di queste forme, esse forniranno le specie dell’animale e tante specie dell’animale quante sono le combinazioni delle parti necessarie: allo stesso modo quindi avverrà anche per le costituzioni anzidette. E infatti le città sono composte non da una ma da più parti, come spesso si è detto”

Aristotele, *Politica*, libro IV, 1290b.

³¹⁶ A titolo di esempi non esaustivi, si segnalano le seguenti letture:

Rossi, P. (1960), *Clavis universalis. Arti della memoria e logica combinatoria da Lullo a Leibniz*, Milano-Napoli: Riccardo Ricciardi Editore; Lullo, R. (1277 ca.), *Ars compendiosa inveniendi veritatem seu ars magna et maior*; Peters, J. (1678), *Artificial Versifying: A New Way to Make Latin Verses*; Masterman, M. (1971), "Computerized Haiku", in Reichardt, J. (ed.), *Cybernetics, Art and Ideas*, Greenwich: New York Graphic Society, pp. 175-183.

SULL'ORDINE, MA CHE FA DELL'ATTO COMBINATORIO LA MODALITÀ PRINCIPALE SIA DELLA COMPOSIZIONE SIA DELLA DIFFERENZIAZIONE DELL'IDENTITÀ. MENTRE IL CARTESIANESIMO È ASSOCIATO ALL'ISOLAMENTO E ALLA RIDUZIONE DEI SISTEMI ALLE LORO IDENTITÀ COSTITUTIVE, L'UNIVERSO COMBINATORIO DI LEIBNIZ SI FONDA SUI CAMBIAMENTI DI IDENTITÀ CHE SI VERIFICANO CON GRADI MAGGIORI DI COMPLESSITÀ E CONNESSIONE”³¹⁷.

L'opportunità di ciò è da leggersi nella possibilità di pensare-progettare attraverso l'elencazione di tutte le variazioni assumibili dall'idea-progetto. Si tratta di una visione che ritroviamo, con diversi livelli di rigore e con diverse finalità, chiaramente e trasversalmente in un elevato numero di ricerche nell'ambito dell'approccio parametrico, da Mitchell fino ad Alexander. Nel pensiero di Leibniz, quindi, si può sintetizzare quell'ambizione, propria dell'approccio parametrico, a ricondurre l'azione progettuale a un fatto matematico analizzabile, esplorabile, ricostruibile, comunicabile e, in una certa misura, scientifico.

Quanto detto finora in questo paragrafo non vuole essere un tentativo di tracciare una solida tradizione storica per l'approccio parametrico con il fine di legittimarne l'uso nella pratica progettuale contemporanea. Si è, invece, inteso dimostrare, attraverso il richiamo delle posizioni sul concetto di variazione offerte da diversi autori fondamentali nella costruzione della cultura progettuale occidentale, che è possibile parlare di approccio parametrico slegando quest'ultimo dai temi legati alla tecnica, al digitale e agli strumenti progettuali.

Contributi della variazione nei pionieri del digitale. Un approccio codificante

In questa parte di trattazione si prendono in esame le modalità di progetto e sintesi della forma architettonica proposte nelle sperimentazioni informatiche che hanno anticipato il *Digital Turn*. Queste sperimentazioni non sono richiamate con il fine di ricostruire una *timeline* sull'evoluzione della strumentazione digitale a supporto del progetto di architettura, per la quale si rimanda ad altre ricerche³¹⁸. Si ambisce, invece, a tracciare le modalità con cui queste

³¹⁷ Tradotto da: “*Leibniz's Ars Combinatoria of 1666 quietly inaugurated an alternative tradition, one that does not exclude a theory of combination from discussions of order but instead makes the act of combination the primary mode of both the composition and the differentiation of identity. While Cartesianism is associated with the isolation and reduction of systems to their constitutive identities, Leibniz's combinatorial universe is founded on the changes in identity that take place with greater degrees of complexity and connection*”.

Lynn, G. (1996), “Blobs: Why Tectonics is Square and Topology is Groovy”, ANY, no. 14.

³¹⁸ Per approfondire vedi sezione di bibliografia tematica sulla storia dell'implementazione del digitale nella progettazione architettonica

sperimentazioni hanno contribuito a costruire un peculiare modo di pensare e progettare la forma architettonica, basato sul rinnovare i modi con cui essa si può prima combinare e poi variare, che confluirà più tardi nell'approccio parametrico. Inoltre, si propone anche di tracciare i modi con cui il lavoro dei primi pionieri del digitale ha contribuito a costruire le contemporanee aspettative nei confronti dell'utilità dell'approccio parametrico nel progetto di architettura.

Si può riconoscere la generale tendenza da parte degli studiosi della dimensione digitale applicata al progetto di architettura a individuare nello *Sketchpad* di Ivan Sutherland³¹⁹ uno dei primi strumenti che ha condotto al contemporaneo uso del digitale nella progettazione architettonica. Restringendo il campo di ricerca a quegli studiosi che si sono interessati all'approccio parametrico, si può riconoscere una tesi condivisa ancora più precisa: lo *Sketchpad* di Sutherland rappresenta il primo esempio di uno strumento digitale ideato per pensare e progettare la forma in termini parametrici³²⁰. Nonostante *Sketchpad* non sia un software pensato specificatamente per l'ambito *Architecture Engineering and Construction*, in esso si può riconoscere un paradigma fondamentale dell'approccio parametrico, cioè la costruzione della forma per mezzo della definizione delle relazioni e delle proprietà che la generano. L'intuizione alla base di *Sketchpad*, che contribuirà alla formalizzazione del paradigma di programmazione "*orientata agli oggetti*"³²¹, risiede nel riconoscere che un elevato numero di disegni (e quindi, per estensione, di forme architettoniche) sono riconducibili a composizioni di alcune primitive geometriche, le quali sono presenti più volte in disegno assumendo di volta in volta delle proprietà diverse. L'importanza di *Sketchpad* per

³¹⁹ Sutherland, I. E. (1963), *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology [Tesi di dottorato] [Online].

<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/14979> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

³²⁰ Si riportano gli estremi di alcune ricerche che riconoscono questo pensiero:

"The first computer-aided design system was parametric. Ivan Sutherland's PhD thesis on Sketchpad (1963) provided both a propagation-based mechanism and a simultaneous solver based on relaxation", In Woodbury, R., *Elements of parametric design*, p. 11;

"Sketchpad, considered the first graphical user interface and arguably the first associative parametric computer-aided design prototype" in Gerber D. J., *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, p. 64;

"Ivan Sutherland (1963) created the first parametric software, Sketchpad." In Davis, D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, p.22.

³²¹ "Sutherland's Sketchpad is often considered the first example of OOP" in Cardoso Llach, D. (2015), *Builders of the Vision. Software and the Imagination of Design*, Londra: Routledge, p. 159

il progetto di architettura, quindi, è da individuarsi nel cambio di paradigma che esso impone nell'approccio alla forma architettonica.

Con *Sketchpad* è introdotta nella progettazione architettonica una prassi tipica dell'approccio parametrico, cioè lo scollamento tra la rappresentazione della forma e il processo che la ha generata. Se si guarda al funzionamento operativo di *Sketchpad*, emerge che esso impone un modo di pensare che si sviluppa su un doppio livello. In un primo livello, è necessario definire le primitive grafiche, cioè i *master*³²², attraverso la cui combinazione è generata una forma. Su un secondo livello, invece, è necessario definire i modi con cui queste primitive sono scalate, associate, ruotate e posizionate nello spazio, cioè le *instances*³²³. Di conseguenza, le modifiche alla forma architettonica non sono compiute agendo direttamente sulla sua manifestazione finale, bensì andando a modificare i parametri dei *master* e delle *instances* che la hanno generata. Si può affermare, quindi, che a partire da *Sketchpad*, pensare una forma architettonica destinata ad essere rappresentata in software può essere un processo profondamente differente dal pensare una forma destinata ad essere rappresentata con il disegno tradizionale.

³²² Dal glossario della tesi di Sutherland: "*Master: Master A picture which is used to done the visible internal structure of an instance*". (trad. "*Master: Un'immagine utilizzata per creare la struttura interna visibile di un'istanza*"). Sutherland, I. E. (1963), *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*, p.143.

³²³ Dal glossario della tesi di Sutherland: "*Instance: A fixed geometry subpicture represented very compactly in storage by reference to a master and indication by four numbers of the size, rotation, and location of the subpicture. Internal structure of an instance is visible and may contain other instances, but since it is identical in appearance to the master it cannot be changed without changing the master. Except for size, rotation, and location, all instances of one master look the same*" (trad. "*Istanza: Un'immagine secondaria a geometria fissa rappresentata in modo molto compatto nella memoria con riferimento a un master e con l'indicazione di quattro numeri di dimensione, rotazione e posizione dell'immagine secondaria. La struttura interna di un'istanza è visibile e può contenere altre istanze, ma essendo identica nell'aspetto al master non può essere modificata senza cambiare il master. Tranne che per le dimensioni, la rotazione e la posizione, tutte le istanze di un master hanno lo stesso aspetto.*" Sutherland, I. E. (1963), *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*, p.142

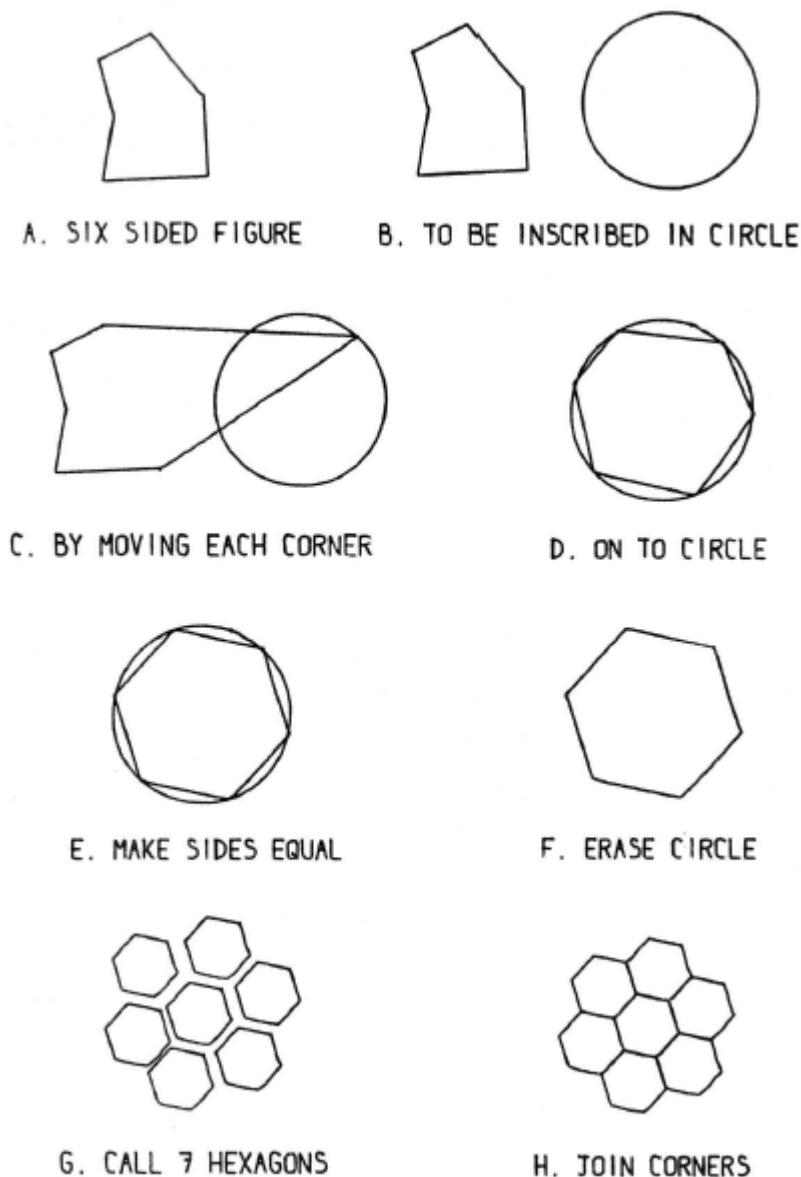


FIGURE 1.5. ILLUSTRATIVE EXAMPLE

Fig. 13 - Operazioni Elementari in Sketchpad³²⁴.

A partire da *Sketchpad* si diffonde la convinzione che per sfruttare pienamente la “promessa di automazione” portata dal digitale è necessario, innanzitutto, sforzarsi di pensare in termini *digitali*. Ciò rappresenta un tema che possiamo fare risalire già al lavoro di Ada Lovelace sulla costruzione dei primi computer meccanizzati risalente al 1843. La matematica britannica, infatti, riconosce che il principale limite del *digitale* è da attribuirsi proprio alla

³²⁴ Sutherland, I. E. (1963), *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*, p.23.

capacità dell'uomo di esprimere un problema in una forma comunicabile a una macchina. Lovelace parla dell'"*Analytical Engine*", da molti riconosciuto come il primo esempio moderno di computer, nei seguenti termini:

IL MOTORE ANALITICO NON HA ALCUNA PRETESA DI DARE ORIGINE A QUALCOSA. PUÒ FARE TUTTO CIÒ CHE NOI SIAMO IN GRADO DI SPIEGARGLI. PUÒ ESEGUIRE ANALISI, MA NON HA IL POTERE DI ANTICIPARE ALCUNA RELAZIONE O VERITÀ ANALITICA. IL SUO COMPITO È QUELLO DI AIUTARCI A RENDERE DISPONIBILE CIÒ CHE GIÀ CONOSCIAMO³²⁵.

Il pensiero di Lovelace può essere particolarizzato per l'approccio parametrico riconoscendo che esistono alcune strategie progettuali e alcune forme dell'architettura che presentano una maggiore predisposizione ad essere espresse in "termini parametrici". A partire da questa consapevolezza, è possibile riconoscere che le sperimentazioni successive a *Sketchpad* non vanno valutate esclusivamente nei confronti delle innovazioni portate nelle *computer science*, ma anche rispetto alle innovazioni nei modi con cui hanno proposto di pensare la forma architettonica, nei modi con cui hanno automatizzato alcune parti della progettazione e, infine, nei modi con cui hanno offerto un supporto al progettista nella risoluzione dei problemi architettonici.

Si può affermare che la ricerca sul software digitale seguirà dopo *Sketchpad* quella già richiamata dicotomia tra il paradigma computerizzato e il paradigma computazionale³²⁶. Ciò condurrà da un lato a software che propongono una digitalizzazione del disegno manuale e dall'altro a software che mirano ad assumere un ruolo di assistenza attivo nella progettazione. Quest'ultimo approccio, del quale è stata chiarita nel capitolo 1 la rilevanza rispetto all'approccio parametrico, troverà la sua massima esemplificazione nel lavoro di Nicholas Negroponte e del suo *Architecture Machine Group* presso il MIT, a cui saranno dedicate due monografie considerate oggi come pietre miliari del *Computer Aided Architectural Design: The*

³²⁵ Tradotto da: "*the analytical engine has no pretensions whatever to originate anything. It can do whatever we know how to order it to perform. It can follow analysis; but it has no power of anticipating any analytical relations or truths. Its province is to assist us in making available what we are already acquainted with.*"

Menabrea, L. F. & Lovelace, A. (1843). "Sketch of the Analytical Engine invented by Charles Babbage with notes by the translator. Translated by Ada Lovelace". In Taylor, R. (ed.). *Scientific Memoirs*. Vol. 3. London: Richard and John E. Taylor. pp. 666–731.

³²⁶ Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press.

*Architecture Machine*³²⁷ e *Soft Architecture Machine*³²⁸. Queste monografie raccolgono le sperimentazioni, condotte da un gran numero di studiosi, alle quali sono associate alcune riflessioni più generali, capaci di delineare alcune tematiche ricorrenti in una serie di strumenti apparentemente sconnessi tra di loro. Alla base del lavoro di Negroponte vi è la consapevolezza che una macchina può supportare il processo progettuale con diverse modalità. In particolare, Negroponte individua tre modalità di interazione tra il progettista architettonico e una macchina:

(1) LE PROCEDURE ATTUALI POSSONO ESSERE AUTOMATIZZATE, VELOCIZZANDO E RIDUCENDO I COSTI DELLE PRATICHE ESISTENTI; (2) I METODI ESISTENTI POSSONO ESSERE MODIFICATI PER ADATTARSI ALLE SPECIFICHE E ALLA COSTITUZIONE DI UNA MACCHINA [...]; (3) IL PROCESSO DI PROGETTAZIONE, CONSIDERATO EVOLUTIVO, PUÒ ESSERE PROPOSTO A UNA MACCHINA, ANCH'ESSA CONSIDERATA EVOLUTIVA, POTENDO COSÌ SVILUPPARE UNA RECIPROCA CONOSCENZA, RESILIENZA E CRESCITA³²⁹.

³²⁷ Negroponte, N. (1970), *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment*, Cambridge: MIT Press.

³²⁸ Negroponte, N. (1976), *Soft Architecture Machines*, Cambridge: MIT Press.

³²⁹ Tradotto da: "(1) current procedures can be automated, thus speeding up and reducing the cost of existing practices; (2) existing methods can be altered to fit within the specifications and constitution of a machine, where only those issues are considered that are supposedly machine-compatible; (3) the design process, considered as evolutionary, can be presented to a machine, also considered as evolutionary, and a mutual training, resilience, and growth can be developed."

Negroponte, N., *Architecture Machines*, prefazione.

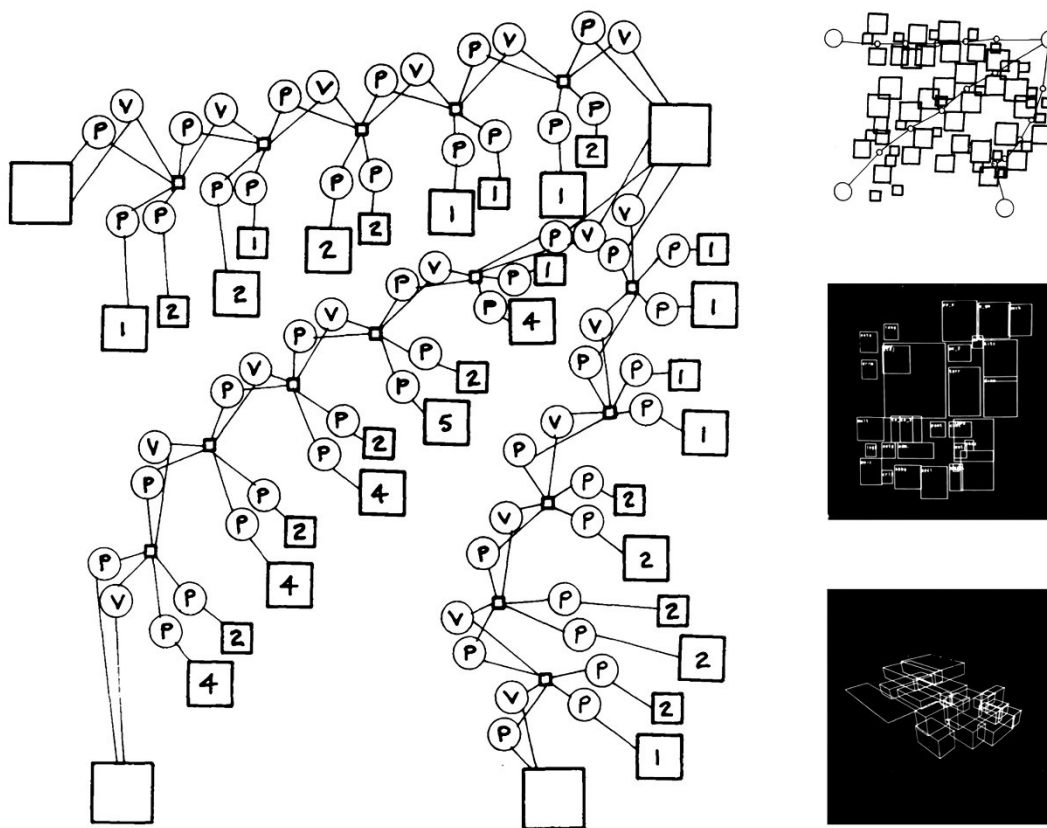


Fig. 14 – Illustrazioni del software IMAGE contenute in *Soft Architecture Machine*³³⁰. Da sinistra: schematizzazione dei vincoli progettuali, esempio di output per la risoluzione a-spaziale del problema progettuale, esempio di layout spaziale, esempio di vista tridimensionale in wireframe.

Il contributo, implicito, dato da Negroponte allo sviluppo dell'approccio è da rintracciarsi nelle modalità con cui le sperimentazioni da lui coordinate hanno allargato il campo operativo del digitale in architettura, che da strumento per aumentare l'efficienza dell'azione progettuale ambisce ora a operare nella sfera creativa del progetto, proponendo soluzioni, analizzando alternative progettuali e, in generale, supportando o prendendo decisioni al posto del progettista. Tutto ciò è accompagnato, da parte dell'Architecture Machine Group, da un generale clima di fiducia nei confronti di questa delega verso il digitale, in forte contrasto con

³³⁰ Negroponte, N., *Soft Architecture Machines*, p. 174.

la diffusa paura che una macchina in grado di generare soluzioni architettoniche sia intrinsecamente “*immorale, impossibile*” in quanto essa “*favorisce la disoccupazione degli architetti*”³³¹.

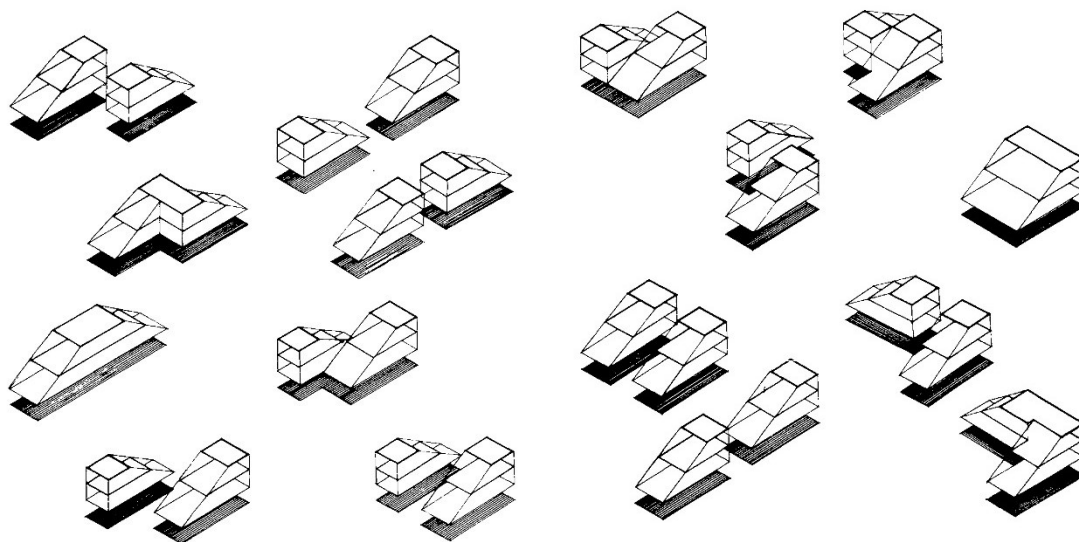


Fig. 15. Illustrazioni contenute in *Soft Architecture Machine*. Possibili variazioni di una soluzione architettonica.

Per gli obiettivi di questa trattazione, è necessario però concentrarsi non solo sui nuovi temi introdotti da Negroponte nel dibattito architettonico, ma anche sul perché le modalità di sintesi della forma architettonica proposte nelle sperimentazioni dell’Architecture Machine Group hanno contribuito allo sviluppo dell’approccio parametrico. Rispetto a ciò, è necessario attribuire un ruolo centrale all’approccio *trial-and-error*, puramente randomico o guidato da una tecnica di ottimizzazione, nella risoluzione di un problema architettonico. Ciò non significa porre in primo piano il valore dell’accidentalità nella progettazione, bensì individuare nella possibilità di indagare un elevato numero di alternative, ben più di quanto sia possibile fare in tempi ragionevoli con la strumentazione analogica, un aspetto caratterizzante della progettazione assistita dal calcolatore. Di conseguenza, è elevato a principio metodologico l’interessarsi a quelle soluzioni architettoniche che offrono una maggiore possibilità di essere variate, ricombinate e modificate. Un secondo contributo attribuibile all’Architecture Machine Group riguarda la centralità della *modificabilità* e *indeterminatezza* da attribuire alle forme oggetto della progettazione. Senza un alone di indeterminatezza, all’interno del quale il software possa effettivamente ricercare una soluzione a un problema, risulta infatti

³³¹ Negroponte, N., *Architecture Machines*, p. 39.

impossibile sfruttare pienamente le possibilità offerte dal digitale. Un ultimo contributo è attribuibile a una più matura considerazione del ruolo dell'ottimizzazione nella progettazione architettonica. Essa è infatti affrontata con una più profonda consapevolezza matematica (Negroponte più volte associa l'attività della progettazione a particolari tipi di problemi matematici, come i problemi 'underconstrained'³³² o 'overconstrained'³³³) e, soprattutto, con delle aspettative che siano effettivamente applicabili nella pratica progettuale. Negroponte, richiamando il termine "soddisfacimento" in contrasto ad "ottimizzazione", afferma nell'ambito degli obiettivi delle applicazioni da lui presentate:

"LO SPIRITO È QUELLO DI CERCARE BUONE SOLUZIONI, NON NECESSARIAMENTE LE MIGLIORI. QUESTO SEMBRA MOLTO PIÙ APPROPRIATO PER I PROBLEMI ARCHITETTONICI, PERCHÉ CI DÀ L'OPPORTUNITÀ DI CONSIDERARE E VISUALIZZARE UNA VARIETÀ DI SOLUZIONI, OGNUNA DELLE QUALI PUÒ DERIVARE DA UN'INTERPRETAZIONE MOLTO DIVERSA DI "BUONO". E, COSA PIÙ IMPORTANTE, QUESTE VARIAZIONI DI "BONTÀ" NON DERIVANO DA VARIAZIONI NELLA PONDERAZIONE DEI PARAMETRI, MA DAL CONTESTO"³³⁴.

Con il fine di far emergere l'intrinseca interrelazione tra le identità richiamate in questo capitolo, si segnala come Negroponte riconosca un legame tra i processi di "decomposizione" e "subottimizzazione" da lui attuati nei confronti dei problemi di progettazione architettonica e le prime teorie di Alexander³³⁵. Inoltre, Negroponte suggerisce di guardare alla ampia letteratura sulla ricerca operativa per una visione più consapevole sulle possibilità delle ottimizzazioni, pur considerando la ricerca operativa come "estremamente antagonista rispetto alla natura dell'architettura"³³⁶.

³³² Con questo termine Negroponte si riferisce a quei problemi che presentano un elevato numero di soluzioni in quanto i criteri progettuali sono soddisfatti da diverse alternative. In questo tipo di problemi, il ruolo del progettista è ricercare la soluzione progettuale tra quelle soluzioni che soddisfano i vincoli progettuali.

³³³ Con questo termine Negroponte si riferisce a quei problemi per i quali, a causa di un eccessivo numero di vincoli, non può essere individuata una soluzione progettuale completamente soddisfacente. In questo tipo di problemi, il ruolo del progettista è ricercare nella soluzione progettuale un compromesso tra i vari vincoli ad essa richiesta.

³³⁴ Tradotto da: "the spirit is to look for good solutions, not necessarily the best. This sounds much more appropriate to architectural problems because it gives us the opportunity to consider and to display a variety of solutions, each of which may stem from a very different interpretation of "good." And, most important, these variations in "goodness" come, not from variations in parameter weighting, but from context".

Negroponte, N., *Soft Architecture Machines*, p. 187.

³³⁵ Negroponte si riferisce a Notes on the Synthesis of the Form di Alexander.

Negroponte, N., *Soft Architecture Machines*, p. 187.

³³⁶ Negroponte, N., *Soft Architecture Machines*, p. 189.

Per completare il panorama d'innovazione portato dai pionieri del digitale nel progetto di architettura, alla forma "*orientata agli oggetti*" proposta da Sutherland e alla forma "*procedurale, sperimentale e partecipata*" proposta dall'Architecture Machine Group, è necessario associare anche la forma "*come database*" proposta da Charles Eastman. Anche Eastman, nelle cui sperimentazioni è diffusamente riconosciuta l'origine del BIM³³⁷, propone un processo basato sulla creazione di primitive tridimensionali, dipendenti da parametri, da associare e relazionare per comporre la forma architettonica con un processo *bottom up*, cioè da segni elementari verso l'artefatto finale. Scrive Eastman nel 1975 a proposito del funzionamento del suo *Building Description System* (BDS):

"UN EDIFICIO PUÒ ESSERE CONCEPITO COME UN INSIEME DI ELEMENTI TRIDIMENSIONALI DISPOSTI NELLO SPAZIO. GLI ELEMENTI POSSONO INCLUDERE [TRAVI] 2'x4', BARRE RINFORZATE, PANNELLI PREFABBRICATI O UNA STANZA. UNA RAPPRESENTAZIONE DETTAGLIATA DELL'EDIFICIO POTREBBE ESSERE FORNITA DA UN COMPUTER SE ESSO FOSSE IN GRADO DI MEMORIZZARE LE DESCRIZIONI DI UN NUMERO MOLTO ELEVATO DI ELEMENTI DIVERSI DISPOSTI NELLO SPAZIO. LA PROGETTAZIONE CONSISTEREBBE NEL DEFINIRE INTERATTIVAMENTE GLI ELEMENTI, IN BASE ALLA LORO FORMA E AD ALTRE PROPRIETÀ, E NEL DISPORLI, COME SI FAREBBE CON UN MODELLO DI LEGNO DI BALSÀ"³³⁸.

In un articolo dedicato al *BDS* e basato sulla tesi che è più conveniente *modellare* un edificio anziché disegnarlo, Eastman intuisce ciò che oggi sono considerate caratteristiche del BIM ma che altri autori hanno già ricondotto all'approccio parametrico³³⁹: l'automatizzazione

³³⁷ Cfr. "The earliest documented example I have found for the concept we know today as BIM was a working prototype "Building Description System" published in the nowdefunct AIA Journal by Charles M. "Chuck" Eastman". (trad.: "Il primo esempio documentato che ho trovato del concetto che oggi conosciamo come BIM è stato un prototipo funzionante del "Building Description System" pubblicato nell'ormai defunto AIA Journal da Charles M. "Chuck" Eastman").

Laiserin, J. (2007), "Foreword", in Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008), *BIM Handbook. A guide to building information modeling for Owners, Managers, Designer, Engineers and Contractors*, Hoboken: John Wiley & Sons, p. xi-xiii.

³³⁸ Tradotto da: "A building can be conceived, though a collection of three-dimensional elements arranged in space. Elements might include 2x4s, reinforced bars, precast panels or a room. A detailed building representation might be provided by a computer, if it could store descriptions of a very large number of different elements arranged in space. Designing would consist of interactively defining elements, according to their shape and other properties, arranging them, much as one would a balsa-wood model".

Eastman, C. (1975), "The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design", *AIA Journal*, no. 63, pp. 46-50.

³³⁹ Cfr. Andia, A., & Spiegelhalter, T. (2015), *Post-Parametric Automation in Design and Construction*, Londra: Artech House.

della produzione di elaborati progettuali, la propagazione delle modifiche progettuali dal modello verso gli elaborati di progetto, l'automazione delle verifiche di normativa, l'aggiunta di informazioni alle primitive geometriche (colori, materiali, costi etc.), l'automazione dei *quantity take-off* e altro.

La documentazione tecnica alle spalle del *BDS* permette di comprendere le modalità con cui questo software, e per estensione le declinazioni dell'approccio parametrico più vicine al BIM, impone di pensare la forma architettonica. Il *BDS* suggerisce la scomposizione del solido architettonico in vertici, spigoli e facce le cui proprietà, espresse in termini di dimensioni, rotazioni, distorsioni e posizionamento nello spazio, diventano un primo oggetto della progettazione. I limiti formali del sistema, riconosciuti da Eastman³⁴⁰, sono evidenti in quanto vi sono forme architettoniche, come parallelepipedi e cilindri, che presentano una maggiore predisposizione ad essere prima scomposti e poi "parametrizzati". Un secondo paradigma suggerito dal *BDS* riguarda la centralità della visione *topologica* degli elementi architettonici, cioè rendere le "*relazioni tra vertici, spigoli, e facce*"³⁴¹ l'oggetto stesso della progettazione architettonica. A partire da Eastman, quindi, si delinea quella visione *topologica* della forma architettonica, ampiamente richiamata da autori come Lynn³⁴² e Schumacher³⁴³, secondo la quale "*una trave 2" per 4" di otto piedi, una porta, un supporto motore in gomma e un pilastro di cemento*"³⁴⁴ sono riconducibili a una unica primitiva grafica a cui vengono associati diversi parametri (Fig. 16).

³⁴⁰ Eastman, C. (1974), *An outline of the building description system*, Research Report N. 50, Pittsburgh: Carnegie-Mellon University.

³⁴¹ Eastman, C., "The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design".

³⁴² Lynn, G. (1996), "Blobs: Why Tectonics is Square and Topology is Groovy", *ANY*, no. 14.

³⁴³ Schumacher, P. (2018), "The Progress of Geometry as Design Resource", *Log*, no. 43, pp. 105-118.

³⁴⁴ Eastman, C., *An outline of the building description system*.

PATTERN LEVEL

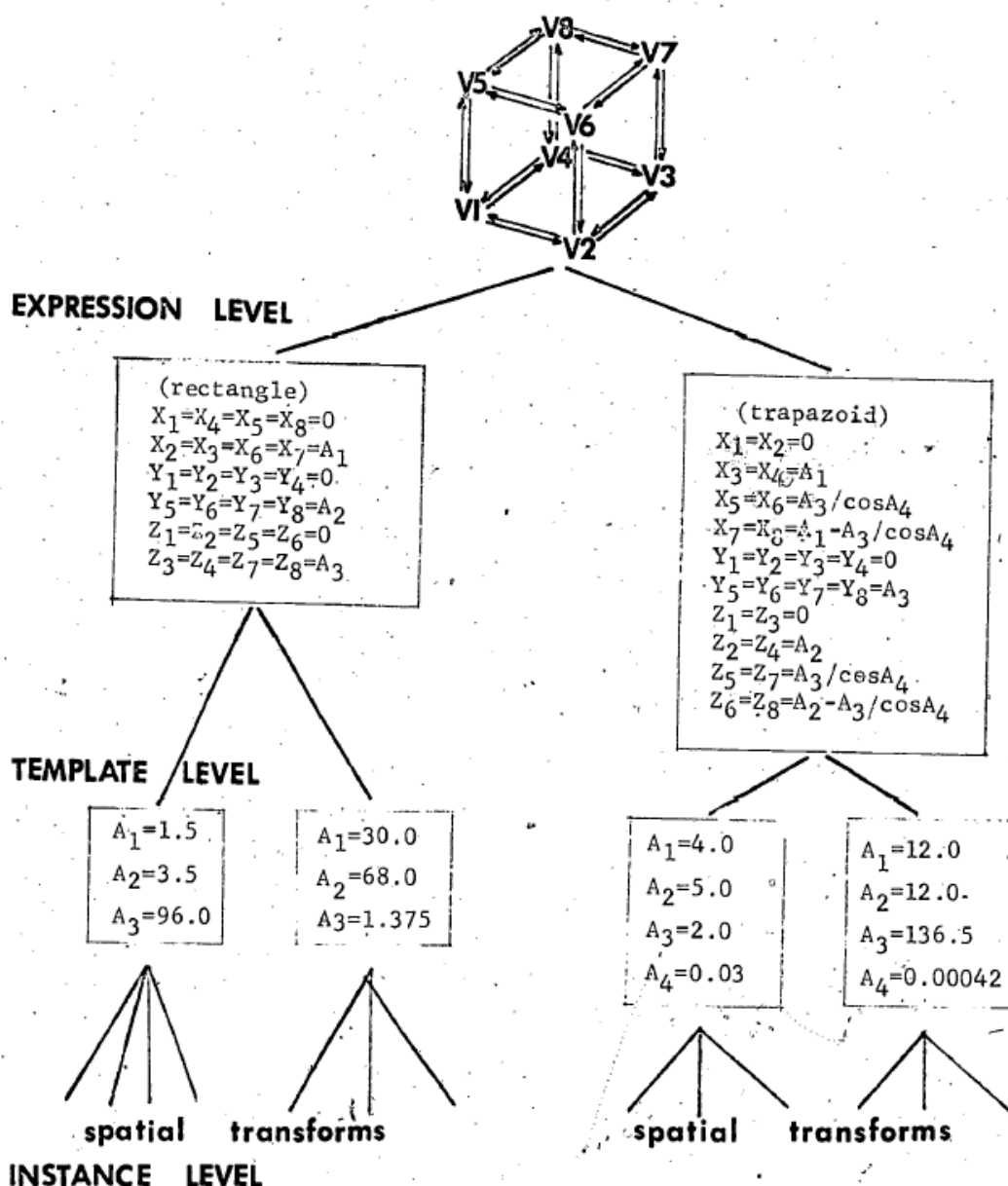


Fig. 16 – Eastman, livelli gerarchici della forma all'interno del Building Description System³⁴⁵.

Dalle prime sperimentazioni sull'uso del digitale come supporto per la pratica architettonica emerge che non vi sono stati esclusivamente tentativi di usare il software come uno strumento, ma che diverse ricerche hanno proposto di ripensare l'intero processo progettuale riconducendolo alle logiche del "linguaggio del digitale". Daniel Cardoso-Llach nel parlare dell'ambizioso *Computer-Aided Design Project* del MIT, che ospiterà, tra gli altri, anche Sutherland e Negroponte, riconosce un generale tentativo di "progettare nel linguaggio

³⁴⁵ Eastman, C., *An outline of the building description system*.

delle macchine”³⁴⁶ e non solo usando le macchine. Si può riconoscere che la possibilità di parlare il “*linguaggio delle macchine*” è stata ottenuta attraverso una semplificazione del registro linguistico della forma architettonica, il quale è stato ricondotto a quelle primitive geometriche di stampo euclideo, le quali si prestano con maggiore intuitività ad essere descritte informaticamente. A titolo di esempio, Eastman riconosce come il *BDS* sia adatto a progettare esclusivamente attraverso l’uso di solidi chiusi, con facce planari, rispettosi della formula dei poliedri di Eulero³⁴⁷. Questo chiaro caso di “pregiudizio formale” non è visto da Eastman come una particolare limitazione. Scrive Eastman:

“IL NASTRO DI MÖEBIUS E LE BOTTIGLIE DI KLEIN [...] NON POSSONO ESSERE RAPPRESENTATE NELLA NOSTRA STRUTTURA DI DATI (MA NON SONO COMUNQUE FORME ARCHITETTONICHE SIGNIFICATIVE)”³⁴⁸.

Questa affermazione è stata ampiamente smentita nel *Digital Turn*.

L’esperienza dei pionieri del digitale, quindi, permette di comprendere che l’approccio parametrico al progetto di architettura non si esaurisce nell’uso passivo di un particolare software ma richiede anche uno sforzo attivo nella creazione di strumenti ad-hoc finalizzati alla risoluzione di particolari problemi progettuali. Nell’esperienza dei pionieri del digitale, questi strumenti sono accomunati dal proporre un reiterato processo di frammentazione e ricomposizione della forma architettonica. Questa operazione sulla forma architettonica rappresenta il fattore abilitante affinché il progetto di architettura possa essere condotto attraverso la sistematica esplorazione delle diverse variazioni assumibili dalla forma architettonica. Infine, le ricerche dei pionieri del digitale richiamate in questa parte di trattazione permettono una riflessione sul rapporto tra tecnica digitale e progettazione architettonica. Utilizzando delle parole di Mitchell risalenti al 1975, possiamo riconoscere che, allora come oggi:

³⁴⁶ Cardoso Llach, D. (2013), “Algorithmic Tectonics: How Cold War Era Research Shaped Our Imagination of Design”, *AD - Architectural Design*, vol. 83 no. 2, pp. 16-21.

³⁴⁷ Eastman, C., *An outline of the building description system*.

³⁴⁸ Tradotto da: “*Möbius bands and Klein bottles are not solid in this sense and thus cannot be represented in our data structure (but these are not meaningful architectural shapes anyway)*” Eastman, C., *An outline of the building description system*.

I SISTEMI INFORMATICI NON POSSONO ESSERE CONSIDERATI STRUMENTI FORMALMENTE NEUTRI NEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE³⁴⁹.

2.3. IDENTITÀ DEL FORM-FINDING. IL PROGETTO COME SPERIMENTAZIONE

Questa parte del testo si interessa a un ulteriore paradigma di gestione del progetto di architettura, il *form-finding*, che è stato capace di definire le modalità operative per l'approccio parametrico in termini di possibilità tecniche, formali e metodologiche. Esso può essere definito nei seguenti termini:

IL FORM-FINDING È UN PROCESSO IN CUI PARAMETRI SONO CONTROLLATI ESPPLICITAMENTE E DIRETTAMENTE PER RICERCARE LA GEOMETRIA OTTIMALE DI UNA STRUTTURA IN EQUILIBRIO STATICO CON UN CARICO DI PROGETTO³⁵⁰.

Questa definizione, più vicina alla tradizione dell'ingegneria strutturale che al progetto di architettura, suggerisce nella progettazione per *form-finding* la centralità delle forze, o in senso più lato degli stimoli, a cui sarà sottoposta la forma architettonica. Una particolarizzazione di questo paradigma all'interno dell'approccio parametrico è fornita da Tedeschi, il quale considera il *form-finding* un approccio progettuale emerso a partire dal diciannovesimo secolo, basato sulla

RICERCA DI STRUTTURE NUOVE E OTTIMIZZATE OTTENUTE ATTRAVERSO RELAZIONI COMPLESSE E ASSOCIATIVE TRA MATERIALI, FORMA E STRUTTURE³⁵¹.

Questa definizione, seppur ancora eccessivamente legata all'ambito strutturale, chiarisce che *form-finding* si attua creando una dipendenza tra la forma architettonica e i requisiti che essa deve rispettare. Parallelamente a Tedeschi, Woodbury individua nella

³⁴⁹ Tradotto da: "computer systems cannot be regarded as formally neutral tools in the design process". Mitchell, W. J., "Vitruvius computatus

³⁵⁰ Tradotto da: "*form finding is a forward process in which parameters are explicitly/directly controlled to find an 'optimal' geometry of a structure which is in static equilibrium with a design loading*". Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (2014), *Shell structures for architecture - form finding and optimization*, Oxon: Routledge, p. 2.

³⁵¹ Tradotto da: "*form-finding - emerged in architecture in late 19th century - which aimed to investigate novel and optimized structures found through complex and associative relations between materials, shape and structures*". Tedeschi, A., *AAD Algorithms-Aided Design, Parametric Strategies using Grasshopper*, p.18.

modellazione parametrica un possibile strumento di attuazione del *form-finding*, che viene da egli definito come

L'USO DI UN'INFLUENZA ESTERNA PER GUIDARE LA FORMA FISICA E LA COMPOSIZIONE DEI MATERIALI DI UN PROGETTO³⁵².

Generalizzando il concetto di "*influenza esterna*", Veenendaal e Block³⁵³ distinguono un "*form-finding classico*", legato principalmente a stimoli di natura statico-fisica, da un "*form-finding moderno*", legato a un più ampio numero di possibili stimoli esterni da considerare nella progettazione. In entrambi gli approcci si può riconoscere che nel *form-finding*, come nell'approccio parametrico, non si progetta direttamente la soluzione progettuale, bensì un processo capace di generarla. Di conseguenza, la ricerca di nuove soluzioni progettuali non avviene modificando soluzioni esistenti, bensì modificando i processi che le hanno generate oppure modificando il sistema dei requisiti, che assumono il valore di parametri, che esse devono rispettare.

È possibile ottenere una maggiore chiarezza sul paradigma di *form-finding* se esso viene contrapposto al paradigma del *form-making* come proposto da Jerry Laiserin. Egli propone la seguente distinzione:

IL *FORM-MAKING* [...] È UN PROCESSO DI ISPIRAZIONE E PERFEZIONAMENTO (LA FORMA PRECEDE L'ANALISI DELLE INFLUENZE PROGRAMMATICHE E DEI VINCOLI PROGETTUALI) MENTRE IL *FORM-FINDING* È UN PROCESSO [...] DI SCOPERTA E MODIFICA (LA FORMA EMERGE DALL'ANALISI). L'ESTREMIZZAZIONE DEL *FORM-MAKING* NON È ARCHITETTURA MA SCULTURA (E FORSE FOLLIA) - FORMA SENZA FUNZIONE. ANCHE L'ESTREMIZZAZIONE DEL *FORM-FINDING* NON È ARCHITETTURA, MA INGEGNERIA APPLICATA - FORMA DETERMINATA ESCLUSIVAMENTE DALLA FUNZIONE³⁵⁴.

³⁵² Tradotto da: "*form-finding, the use of a hypothesized external influence to guide the physical shape and material composition of a design*".

Philip, B., Williamson, S. & Woodbury, R. (2006), "Parametric Modelling as a Design Representation in Architecture: A Process Account", *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEAA)*.

³⁵³ Veenendaal, D. & Block, P. (2012), "An overview and comparison of structural form finding methods for general networks", *International Journal of Solids and Structures*, vol. 49, no. 26, pp. 3741-3753,

³⁵⁴ Tradotto da: "*form-making, loosely defined, is a process of inspiration and refinement (form precedes analysis of programmatic influences and design constraints) versus form-finding as (loosely) a process of discovery and editing (form emerges from analysis). Extreme form-making is not architecture but sculpture (perhaps, folly)—form without function. Extreme form-finding also is not architecture but applied engineering—form exclusively determined by function.*"

Seguendo questo concetto è quindi possibile individuare due modalità di approccio alla progettazione. Un approccio “tradizionale”, il *form-making*, basato sulla produzione di soluzioni progettuali considerabili come *ipotesi falsificabili*³⁵⁵ in quanto la loro validità va verificata rispetto al soddisfacimento del sistema dei requisiti ad esse richieste. Un secondo approccio, il *form-finding*, che prevede invece la costruzione di metodi per generare soluzioni progettuali in grado di essere, intrinsecamente, rispettose del sistema dei requisiti ad esse richiesti. Si può notare che questa dualità, la quale trasforma radicalmente le modalità di approccio al progetto, ha conseguenze sul rapporto tra rappresentazione e idea: nel *form-making* la delineazione di una idea progettuale precede la sua rappresentazione, mentre nel *form-finding* la rappresentazione è propedeutica allo sviluppo di una idea progettuale³⁵⁶.

Quanto detto finora permette di riconoscere che non esiste un'unica modalità di praticare il *form-finding* in quanto esso si attua nella progettazione con diversi livelli di rigorosità, con diversi strumenti e con diverse finalità. Lo stesso Laiserin propone che uno dei compiti di un progettista è proprio ottenere il giusto bilanciamento tra aspetti afferenti al *form-finding* e aspetti afferenti al *form-making* nella sua azione progettuale³⁵⁷.

Per gli obiettivi di questa tesi risulta utile tracciare una identità, fatta di autori e casi studio, capace di raccontare le diverse modalità con cui si può instaurare un rapporto tra il *form-finding* e l'approccio parametrico. Con lo scopo di catturare due diverse declinazioni metodologiche che ancora oggi hanno un profilo di attualità nella pratica progettuale, si propone qui una narrazione basata sul differente ruolo che assume il progettista nei confronti del processo di *form-finding*. In particolare, si propone la dizione di *form-finding emergente* quando esso richiede l'intervento umano esclusivamente nella fase di definizione del processo che condurrà alla forma. Con la dizione di *form-finding assistito*, invece, si propone di indicare quegli approcci in cui il progettista, oltre a definire il processo che conduce alla forma, ricopre un ruolo attivo nell'esecuzione di tale processo.

Laiserin, J. (2008), “Digital Environments for Early Design: Form-Making versus Form-Finding”, in *First International Conference on Critical Digital: What Matters(s)?*, Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, pp. 235-242.

³⁵⁵ Cfr. Popper, K. (1934), *The Logic of Scientific Discovery*.

³⁵⁶ Laiserin, J. , “Digital Environments for Early Design: Form-Making versus Form-Finding”.

³⁵⁷ Laiserin, J. , “Digital Environments for Early Design: Form-Making versus Form-Finding”.

Contributi del form-finding emergente. Un approccio auto-organizzante.

A partire dalla letteratura esistente³⁵⁸, è possibile rintracciare le origini di ciò che in questa tesi è definito *form-finding emergente* nelle 10 invenzioni di Robert Hooke pubblicate nel 1676³⁵⁹. L'invenzione numero due, pubblicata nella forma di anagramma, sarà decodificata solo nel 1705, dopo la morte di Hooke. Essa recita:

LA VERA FORMA MATEMATICA DI TUTTI I TIPI DI ARCHI DA COSTRUZIONE, CON IL GIUSTO
SUPPORTO PER CIASCUNO DI ESSI. UN PROBLEMA CHE NESSUNO SCRITTORE DI ARCHITETTURA HA MAI
TENTATO DI RISOLVERE, TANTO MENO ESEGUITO.

COME PENDE LA LINEA FLESSIBILE, COSÌ, MA INVERTITO, SI REGGE L'ARCO RIGIDO"³⁶⁰.

**2. The true Mathematical and Mechanical form of all
manner of Arches for Building, with the true butment necessary
to each of them. A Problem which no Architectonick Writer
hath ever yet attempted, much less performed. abccc
ddeeee fgg iiiiiii lmmmmnnnnnoopr ssstttttuuuuuuux.**

Fig. 17 – La seconda invenzione di Hooke.

L'intuizione di Hooke suggerisce che invertendo la forma che assume spontaneamente una fune sottoposta a un carico verticale si ottiene una forma che lavora in un regime di compressione pura nei confronti del carico applicato. La forma ottenuta con questo processo è definita *funicolare* ed è caratterizzata dall'assenza di sforzi flettenti rispetto al sistema di carichi che la ha generata. Questa intuizione apre alla possibilità di progettare archi mediante l'uso di modelli fisici, composti da funi, appoggi mobili e pesi modificabili, per ricercare la forma della funicolare. Tali modelli, in quanto appesi e destinati ad essere rovesciati per restituire la forma progettata, sono chiamati *hanging models*. La potenza progettuale di questa intuizione segnerà il problema delle strutture a grande luce nei secoli successivi in

³⁵⁸ I seguenti autori condividono questa affermazione.

Ochsendorf, J. & Block, F. (2014), "Exploring shell forms", in Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (eds.), *Shell structures for architecture - form finding and optimization*, Oxon: Routledge, pp. 7-14.

Graefe, R. (2021), "The catenary and the line of thrust as a means for shaping arches and vaults", in Addis, B. (ed.), *Physical Models. Their historical and current use in civil and building engineering design*, Berlino: Ernst & Son, pp. 79-125.

Addis, B. (2013), "'Toys that save millions': A history of using physical models in structural design", *Structural Engineering*, vol. 91, no. 4, pp. 12-28.

³⁵⁹ Hooke, R. (1676), *A Description of Helioscopes, and Some Other Instruments*, Londra: John Martyn.

³⁶⁰ Tradotto da: "the true mathematical form of all manner of arches for building, with the true butment necessary to each of them. A problem which no architectonick writer hath ever yet attempted, much less performed. As hangs the flexible line, so but inverted will stand the rigid arch"

quanto essa fornisce una metodologia di *form-finding* per la progettazione di archi dotati di un comportamento ottimale. Tuttavia, è possibile individuare un precedente all'invenzione di Hooke nelle ricerche di Simon Stevin³⁶¹ che indagano le forme assunte da una fune per diversi, e più complessi, sistemi di ancoraggi e carichi.

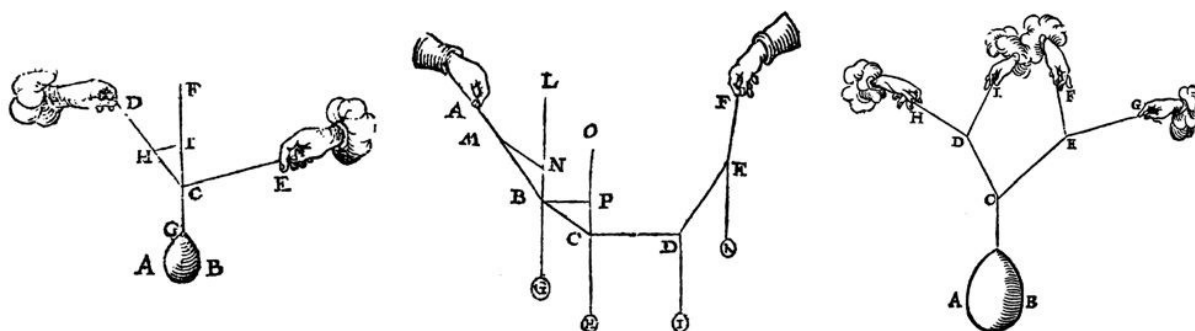


Fig. 18 - Diagramma delle forme funicolari, Simon Stevin³⁶²

A partire da Hooke è possibile definire una tradizione dell'uso della funicolare come strumento progettuale, le cui applicazioni più note sono la proposta per la cupola della cattedrale di San Paul a Londra a opera di Hooke e Christopher Wren (c. 1680) e la descrizione per la creazione di un "*modello appeso*" da usare nel progetto di volte a muratura a opera di Giovanni Poleni (c.1748), utilizzato poi per la verifica della cupola di San Pietro in Roma³⁶³.

³⁶¹ Stevin, S. (1586), *De Beghinselen der Weeghconst*, Leyden: Druckerye van Christoffel Plantijn.

³⁶² Stevin, S. (1586), *De Beghinselen der Weeghconst*, Leyden: Druckerye van Christoffel Plantijn.

³⁶³ Questa applicazione è approfonditamente discussa insieme ad una esaustiva raccolta di applicazioni storiche in Graefe, R. (2021), "The catenary and the line of thrust as a means for shaping arches and vaults", in Addis, B. (ed.), *Physical Models. Their historical and current use in civil and building engineering design*, Berlino: Ernst & Son, pp. 79-125.

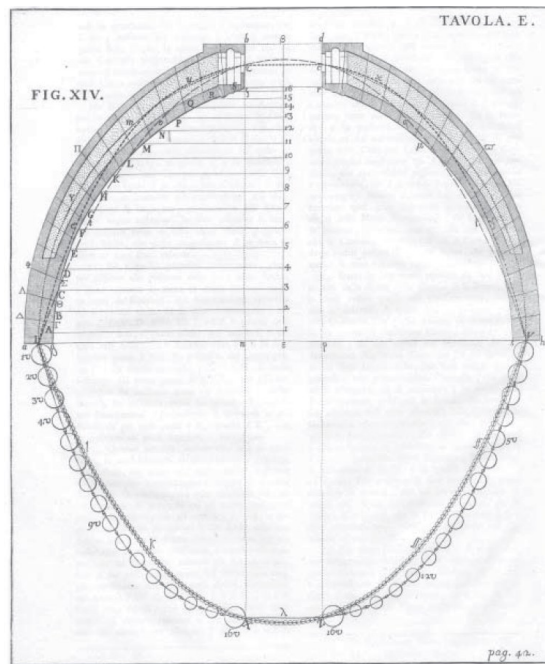


Fig. 19 Ricostruzione grafica del “modello appeso” di Polini. Le dimensioni delle sfere sono correlate agli effettivi carichi della cupola di San Pietro. La cupola risulta verificata in quanto la linea della funicolare, una volta invertita, ricade all’interno dello spessore della cupola³⁶⁴.

Successivamente al lavoro di Hooke, si assiste per diversi secoli a una stratificazione delle conoscenze sui metodi della funicolare grazie all’opera di architetti e ingegneri come Heinrich Hübsch (1794-1863), Carl-Anton Henschel (1780-1861), Wilhelm Tappe (1769-1823)³⁶⁵. Con questi autori il *form-finding* per mezzo degli *hanging models* evolve da metodo per la risoluzione di problemi progettuali circoscritti (es. singoli archi) verso un insieme di tecniche utilizzabili per la progettazione, ancora bidimensionale, di complessi sistemi di archi e volte.

Queste prime modalità di *form-finding* possono essere associate all’approccio parametrico in quanto i vincoli progettuali degli *hanging models*, tra cui la geometria da coprire e il sistema dei carichi, assumono il ruolo di parametri da modificare per ottenere nuove forme architettoniche. È necessario sottolineare che la legge di inversione di Hooke, le funicolari, e in generale gli *hanging models*, rappresentano metodologie di *form-finding emergente* in quanto conducono a forme ottimali rispetto a un sistema di vincoli, richiedendo al progettista le sole operazioni di definizione del problema progettuale (es. posizione degli

³⁶⁴ Poleni, G. (1748), *Memorie istoriche della gran cupola del Tempio Vaticano*.

³⁶⁵ Graefe, R. (2021), “The catenary and the line of thrust as a means for shaping arches and vaults”, in Addis, B. (ed.), *Physical Models. Their historical and current use in civil and building engineering design*, Berlino: Ernst & Son, pp. 79-125.

appoggi, definizione dei carichi). Dopo questa operazione, la fune assumerà spontaneamente la forma più efficiente. Si può riassumere questa proprietà affermando che i *form-finding emergenti* presentano delle proprietà ‘*auto-organizzanti*’³⁶⁶, termine che sarà poi ripreso nella trattazione di Schumacher. Con questo termine ci si riferisce a un processo in cui singoli elementi si organizzano con un comportamento comune per creare un ordine globale attraverso interazioni reciproche piuttosto che attraverso un intervento o un’istruzione esterna.

Malgrado l’uso degli *hanging models* fosse ampiamente raccomandato dalla manualistica fino agli inizi del ‘900³⁶⁷, si può riconoscere che essi hanno avuto un ruolo marginale nella pratica professionale, sebbene siano stati applicati nei memorabili casi studio precedentemente richiamati. Questa marginalità è attribuibile al cambio di paradigma nel rapporto tra ideazione e rappresentazione imposto dalle tecniche di *form-finding*, ma anche allo sviluppo di metodi di progetto basati sulla statica grafica, i quali offrivano una maggiore convenienza e versatilità rispetto agli *hanging models*. La statica grafica, tuttavia, poteva essere applicata agilmente solo a problemi bidimensionali. Per superare questa limitazione, a partire dal 900, si intuisce che l’uso di modelli tridimensionali può superare i limiti della statica grafica.

Nonostante alcuni precedenti negli scritti di Karl Mohrmann³⁶⁸ o nel progetto per la cupola del Reichstag di Fritz Gössling³⁶⁹, si può affermare che è opinione diffusa nelle ricostruzioni storiche sulle origini dell’approccio parametrico attribuire a Antoni Gaudí un ruolo centrale nella genesi del contemporaneo *form-finding*³⁷⁰. Analizzando, a titolo di

³⁶⁶ Dall’inglese self-organizing. Con questo termine ci si riferisce ad un processo in cui singoli elementi organizzano il loro comportamento comune per creare un ordine globale attraverso le interazioni tra di loro piuttosto che attraverso l’intervento o l’istruzione esterna.

³⁶⁷ Graefe, R. (2021), “The catenary and the line of thrust as a means for shaping arches and vaults”, in Addis, B. (ed.), *Physical Models. Their historical and current use in civil and building engineering design*, Berlino: Ernst & Son, pp. 79-125.

³⁶⁸ Scrive Mohrmann: “L’estensione della statica grafica alle forme spaziali non è, nella maggior parte dei casi, così facile poiché i diagrammi possono essere disegnati solo su un piano. [...] Per casi particolari nella pratica, potrebbe essere consigliabile realizzare piccoli modelli di rete [...] con corde o fili, la quali produzione non è affatto difficile, come hanno dimostrato gli esperimenti dell’autore.”

Ungewitter, G. (1890), *Lehrbuch der gotischen Konstruktionen, neu bearbeitet von K. Mohrmann*, vol. 1, Leipzig: Wiegel, pp. 45-46.

³⁶⁹ Graefe, R., “The catenary and the line of thrust as a means for shaping arches and vaults”,

³⁷⁰ Tra gli altri autori, si segnalano:

Davis, D., *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, p. 22.

esempio, il memorabile modello fisico realizzato dall'architetto catalano per la Colònia Güell, sul quale sono stati già compiuti numerosi studi analitico-ricostruttivi attraverso strumenti computazionali³⁷¹, è possibile condurre una riflessione sulla vicinanza di questo metodo di ricerca della forma rispetto all'approccio parametrico.



Fig. 20 - Modello inverso la Colònia Güell, c. 1903.

Il metodo progettuale proposto da Gaudí è basato sulla simulazione, per mezzo di *hanging model* tridimensionali, del comportamento di tutta la struttura portante di un edificio. A delle funi è affidato il compito di simulare il comportamento strutturale di archi,

Schumacher, P. (2016), "Parametricism 2.0: Gearing up to impact the global built environment", *AD - Architectural Design*, no. 240, pp. 8-17.

Burry, M. (2016), "Antoni Gaudí and Frei Otto. Essential Precursors of the Parametricism Manifesto", *AD - Architectural Design*, no. 240, pp. 30-35.

³⁷¹ Si suggerisce, tra gli altri: Burry, M. (2011), *Scripting Cultures - Architectural design and programming*, Chichester: John Wiley & Sons

volte, costolature e superfici, mentre a dei dischi attaccati alle funi è affidato il compito di rendere manifesto l'ingombro della forma architettonica. Il peso proprio di ogni elemento strutturale è simulato attraverso l'uso di piccoli sacchi appesi alle funi e riempiti con sfere metalliche. Il modello così ottenuto restituisce una *pre-forma* con un comportamento ottimale rispetto ai carichi che è chiamata a supportare. Il processo della progettazione non termina con la creazione del modello in quanto quest'ultimo rappresenta lo strumento da utilizzare per una ricerca iterativa della forma architettonica attraverso la modifica dei parametri coinvolti nella sua generazione. Come è stato precedentemente riconosciuto per i modelli bidimensionali, questi parametri modificabili sono da individuarsi nel sistema dei carichi, degli appoggi e nelle relazioni tra le funi. Gli *hanging models* di Gaudì, quindi, sono considerabili affini all'approccio parametrico in quanto, con modalità analoghe all'*objectile* di Deleuze e Cachè, sono costituiti da un insieme di regole, relazioni e parametri che, nelle loro modificazioni, restituiscono nuove soluzioni architettoniche. Inoltre, si può registrare che le diverse soluzioni producibili da un *hanging model* appaiono come appartenenti a un'unica famiglia formale. Il *form-finding* per mezzo di *hanging models* rappresenta quindi un particolare modo di praticare l'approccio parametrico in quanto conduce a una forma "intrinsecamente verificata". Di conseguenza, in questo approccio al progetto assume un particolare peso il problema formale-compositivo in quanto esso può diventare parametro rispetto al quale navigare le infinite possibilità offerte dal modello.

Nel metodo progettuale di Gaudì, il modello che genera la forma diventa il luogo dove riversare una conoscenza interdisciplinare, accelerando così la transizione verso una progettazione più scientifica. L'unicità dell'artefatto progettato, nel caso della Colònia Güell, non permette di guardare a una prassi progettuale che si è stratificata nel tempo (Gaudì ignora la tradizione sugli *hanging models* precedentemente richiamati³⁷²), imponendo così un atteggiamento di ricerca sperimentale, in cui l'architettura diventa inevitabilmente *prototipo di se stesso*. Di conseguenza, si può riconoscere che nel lavoro di Gaudì, così come nell'approccio parametrico, il progetto della forma e il progetto del processo che la genera assumono entrambi un ruolo essenziale nell'azione progettuale.

³⁷² Martinell, C. (1975), *Gaudí: His Life. His Theories. His Work*, Barcelona: Editorial Blume, pp. 112-113.

Successivamente al lavoro di Gaudì, è possibile individuare una serie di progettisti, come Eduardo Torroja, Pierluigi Nervi, Frei Otto, Heinz Isler, Sergio Musmeci, che hanno continuato a utilizzare le proprietà “auto-organizzanti” dei modelli fisici per ricercare la forma ottimale di una architettura in simbiosi con i problemi della progettazione strutturale. Si rimanda a testi più specifici per ricostruire un quadro evolutivo su questo approccio progettuale, mentre in questa sede si preferisce tracciare come esso abbia progressivamente ampliato le possibilità offerte dall’approccio parametrico nel progetto di architettura. Una prima evoluzione riguarda il cambiamento dello strumento utilizzato per investigare l’idea progettuale, in quanto il disegno e il modello “statico” tipico del *master builder*³⁷³ sono sostituiti da modelli dinamici, costruiti con il fine di poter variare.

È possibile guardare ai progressi compiuti dal *form-finding emergente* per individuare alcune analogie con una visione più contemporanea dell’approccio parametrico.

Gli indubbi vantaggi dei modelli di *form-finding* sono bilanciati dal problema della descrizione della forma ottenuta. Con ciò si intende sottolineare una certa difficoltà nel realizzare, a partire dagli *hanging models*, la documentazione necessaria alla costruzione del manufatto architettonico, come piante, prospetti, sezioni e ogni altro *medium* necessario per una completa descrizione del progetto. Si tratta di una difficoltà che continua ad essere attuale in alcune forme dell’approccio parametrico e che si manifesta nella traduzione di un modello digitale verso una dimensione costruttiva. Ciò condurrà, nel lavoro dei pionieri del *form-finding*, allo sviluppo di metodologie per poter, al termine della progettazione, descrivere la forma ottenuta: le risposte a questa problematica sono molto varie, e spaziano dall’uso di teli e fotografie rovesciate nel lavoro di Gaudì fino al rilievo per fotogrammetria proposto da Otto³⁷⁴.

Un secondo passaggio chiave riguarda la transizione da ottimizzazioni di tipo monparametrico, basate prevalentemente sul comportamento rispetto ai carichi verticali, verso ottimizzazioni multiparametriche. Questa transizione è chiaramente individuabile nel progetto di Frei Otto per il *Bundesgartenschau Multihalle* nel quale la forma architettonica è

³⁷³ Garber, R. (2014), “The master builder and information modelling”, in Garber, R., *BIM Design. Realising the creative potential of building information modelling*, Chichester: Wiley, pp. 28-43.

³⁷⁴ Addis, B., “‘Toys that save millions’: A history of using physical models in structural design”.

stata ricercata considerando anche parametri legati alla instabilità della struttura, alle pressioni del vento, alla razionalizzazione tecnologica e costruttiva³⁷⁵.

Un ultimo progresso riguarda i diversi tipi di comportamento strutturale ricercabili attraverso i modelli fisici. L'attualità di questa evoluzione è da rintracciarsi nella progressiva complessificazione degli strumenti propri dell'approccio parametrico. Nel *form-finding*, alla ricerca di superfici in regime di prevalente compressione rispetto ai carichi verticali, da costruirsi attraverso l'uso della muratura e del calcestruzzo, è stata nel tempo affiancata la possibilità di ricercare forme con tensione superficiale costante attraverso *soap bubbles*; forme con tensione superficiale dipendente dalle deformazioni attraverso membrane elastiche; forme sollecitate esclusivamente da tensione normale attraverso l'uso di cavi³⁷⁶. A questi diversi comportamenti delle superfici ottenute nel *form-finding*, corrispondono diversi principi costruttivi, come strutture pneumatiche, gridshell e tensostrutture. Questo processo testimonia la possibilità di applicare a diverse modalità di ricerca della forma un'unica *forma mentis* che riconduce un "modello progettante" a parametri da modificare, vincoli da soddisfare e obiettivi da ottimizzare.

Le esperienze finora richiamate in questo paragrafo sono accomunate dal ricercare forme architettoniche che intrinsecamente risolvono e ottimizzano un problema strutturale. Tuttavia, la definizione di *form-finding* fornita da Laiserin (cfr. pag. 139, nota n. 354) spinge a slegare il concetto di *form-finding* dal problema strutturale, e in generale dal concetto di problema. Si può quindi iscrivere nel *form-finding* anche un processo progettuale capace di generare soluzioni architettoniche in equilibrio rispetto a un sistema di stimoli esterni sebbene quest'ultimo non sia portatore di problemi da risolvere o di aspetti da ottimizzare. A partire da questa visione del *form-finding*, più vicina alla creazione di modelli progettanti che mostrano proprietà "auto-organizzanti" e meno vicina alle intuizioni strutturali, è possibile individuare negli sviluppi della biomimesi ulteriori momenti chiave nella costruzione degli aspetti identitari propri dell'approccio parametrico. Se si intende la biomimesi applicata al progetto di architettura come la ricerca di soluzioni progettuali attraverso l'imitazione delle

³⁷⁵ Addis, B., "Toys that save millions': A history of using physical models in structural design".

³⁷⁶ Addis, B. (2014), "Physical modelling and form finding", in Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (eds.), *Shell structures for architecture - form finding and optimization*, Oxon: Routledge, pp. 33-43.

strategie di sintesi della forma proprie della natura³⁷⁷, è evidente come in essa debba essere individuata una tradizione che ha ampliato le possibilità dell'approccio parametrico. Quando Schumacher afferma che *"il lavoro di Frei Otto è l'unico vero precursore del Parametricismo"*³⁷⁸, egli riconosce particolare importanza alle ricerche del Pritzker Prize tedesco nell'ambito della biomimesi e non solo alle sue ricerche sul *form-finding* strutturale. Tutte le ricerche di Frei Otto sui *Minimal Path*, sui *Wool Thread*, sulle modalità di morfogenesi di elementi naturali, sui campi magnetici e altro, presentano quindi dei prodromi dell'approccio parametrico in quanto, come riconosciuto da Schumacher

AD OGNI VARIAZIONE DEI PROFILI PARAMETRICI DI OGNI ELEMENTO COINVOLTO, COME DIMENSIONE/FORZA ATTRATTIVA DELLA PARTICELLA O DEI PUNTI TERMINALI E LUNGHEZZA DEL PERCORSO, CORRISPONDE UNA REAZIONE IN TUTTI GLI ALTRI ELEMENTI DEL SISTEMA³⁷⁹.

Ciò rappresenta una concezione del progetto che vede nella natura la capacità di fornire efficienti ed efficaci strategie architettoniche da imitare come per altro già proposto da Buckminster Fuller in ricerche in parte sovrapponibili a quelle di Frei Otto³⁸⁰. È necessario, però, ricordare che l'osservazione della natura, l'analogia biologica e la biomimesi non hanno fornito al progetto di architettura esclusivamente dei *metodi*, ma anche metafore di organizzazione spaziale, orizzonti formali, e più in generale, un campo di diversificate prospettive da inseguire. Rispetto a questa particolare concezione si segnalano le interessanti e recenti posizioni di Mario Coppola, che tracciano ulteriori prodromi culturali per l'approccio parametrico e permettono di comprendere come una cifra della *"ricerca contemporanea digitale"* sia da attribuire alla diffusione di massa di *tools* che ha condotto alla propagazione *"di una serie di logiche e strumenti in precedenza relegate a particolari predisposizioni"*

³⁷⁷ Ciò considerabile come una particolarizzazione della definizione di Biomimesi fornita da Janine Benyus: *"La biomimesi è una nuova scienza che studia i modelli della natura e poi imita o si ispira a questi schemi e processi per risolvere i problemi umani, come ad esempio una cella solare ispirata a una foglia"*. (tradotto da: *"Biomimicry is a new science that studies nature's models and then imitates or takes inspiration from these designs and processes to solve human problems, e.g., a solar cell inspired by a leaf."*)

Benyus, J.M. (2009), *Biomimicry: Innovation inspired by nature*, HarperCollins e-books.

³⁷⁸ Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, p. 680

³⁷⁹ Tradotto da: *"Any variation of the parametric profile of any of the elements – size/attractive force of particle or end-points and sur-length of path thread – is being responded to by all other elements within the system"*

Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, pp. 683-684.

³⁸⁰ Cfr. López-Pérez, D. (2020), *Pattern-thinking: R. Buckminster Fuller*, Zurigo: Lars Müller Publishers.

*personali, a eccezionali intelligenze creative*³⁸¹. La ricerca di Coppola, quindi, indica l'esistenza di una "tradizione 'organica'" per il progetto di architettura, definibile, usando le sue parole

A PARTIRE DALLE CATENARIE DI GAUDÌ [...] ARRIVANDO AGLI STUDI SULLE STRUTTURE NATURALI E SULLA LORO CONFIGURAZIONE PORTATI AVANTI DA FREI OTTO, E 'FINENDO', PER COSÌ DIRE, ALLE MORFOGENESI STRUTTURALI CHE, ANTICIPANDO PRATICAMENTE TUTTO CIÒ CHE È AVVENUTO IN ARCHITETTURA DA WRIGHT A ROCHAMP FINO A HADID E ALLA RICERCA COMPLESSA, IL BUONARROTI FECE A MANO PER LE SUE FORTIFICAZIONI FIORENTINE NEL 1500, AUTOCONFIGURAZIONI BIO-MORFE CHE NULLA INVIDIANO AGLI ESPERIMENTI GENERATIVI DEGLI ULTIMI MESI³⁸².

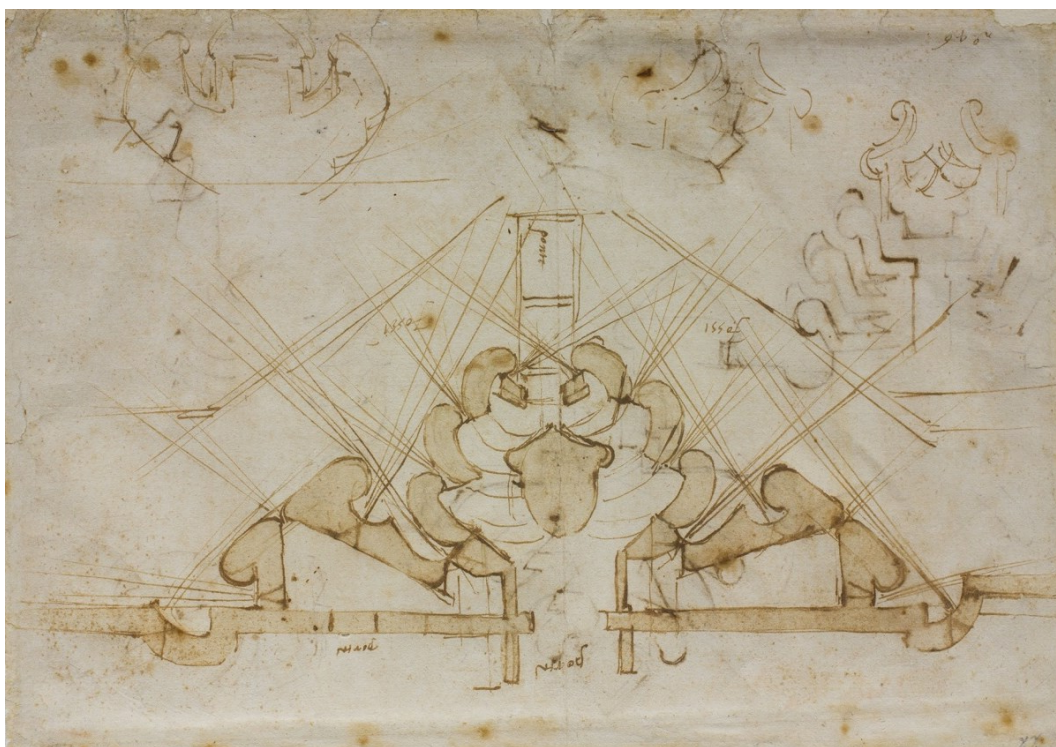


Fig. 21. Michelangelo Buonarroti, studio per una fortificazione³⁸³.

³⁸¹ Coppola, M. (2014), *Architettura Post-Decostruttivista: Zaha Hadid e le nuove generazioni, dai campi di continuità alla biomimesi parametrica*, Università degli Studi di Napoli "Federico II", p. 75. [Tesi di Dottorato] [Online]. <http://www.fedoa.unina.it/9634/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

³⁸² Coppola, M., *Architettura Post-Decostruttivista: Zaha Hadid e le nuove generazioni, dai campi di continuità alla biomimesi parametrica*, p. 75.

Questi concetti saranno ripresi da Coppola in: Coppola, M. (2016), "Morfogenesi: rischio digitale e Design Research Laboratori", in Coppola, M., *Architettura Post-Decostruttivista (Vol. 1): La linea della complessità*, Monza: Deleyva Editore, pp. 162-167.

³⁸³ Proprietà della Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le province di Pistoia e Prato. Codice di catalogo nazionale: 0900747279.

La breve discussione del valore potenziale della morfogenesi nel progetto di architettura può essere completata richiamando una concezione in cui essa non è adoperata come orizzonte culturale e metodologico, bensì come metafora all'interno della quale sistematizzare la disciplina architettonica, come proposto nella teoria dell'*Affordances* di Patrice Ceccarini. Questa teoria – che prende il nome da un termine coniato da James Jerome Gibson³⁸⁴ indicante la predisposizione di un ambiente naturale a suggerire un opportuno modo di utilizzare le risorse che esso offre – propone anch'essa un progetto di architettura fondato sull'uso di parametri e si inserisce, utilizzando parole del suo teorizzatore, nell'alveo di un generico "*approccio parametrico in termini di design sistemico*"³⁸⁵. La teoria dell'*affordances* propone quindi una visione morfogenetica del progetto, in cui i concetti di epigenetica, genotipo e fenotipo diventano la chiave di interpretazione della disciplina architettonica, non sovrapponibile al Parametricismo, come specificato da Ceccarini³⁸⁶, e in cui il numero dei parametri considerati aumenta in modo esponenziale per generare soluzioni progettuali generate a seguito del raggiungimento di un equilibrio rispetto all'ambiente in cui sono inserite.

Le esperienze di pratica progettuale e le posizioni teoriche richiamate in questo paragrafo denunciano che la rilevanza e l'attualità di questa sfumatura del *form-finding*, qui definito come *emergente*, nei confronti dell'approccio parametrico si manifesta quindi sul piano formale ma anche sul piano metodologico. Ciò ha delle conseguenze anche pedagogiche: si può infatti riconoscere che i manuali degli strumenti parametrici dedicano ampio spazio a quelle procedure che sono in grado di replicare le forme tipiche della biomimesi, come i *voronoi* e le tassellazioni, le quali oggi compongono un registro formale ben riconoscibile per l'approccio parametrico. Infine, è necessario notare che con la progressiva complessificazione dei processi di *form-finding emergenti* e delle forme da essi generabili, l'approccio parametrico diventa il luogo per progettare forme architettoniche la cui gestione sarebbe difficile, se non impossibile, attraverso degli strumenti più tradizionali.

³⁸⁴ Gibson, J.J. (1979), *The Ecological Approach to Visual Perception*, New York: Psychology Press & Routledge Classic Editions.

³⁸⁵ Ceccarini, P. (2017), "Systemic Design, Affordances, and Architectural Profiling", in *Proceedings of Relating Systems Thinking and Design (RSD6) Symposium*.

Cfr. Ceccarini, P. (2021), "Le teorie della catastrofe e delle affordances. Ripensare l'epistemologia e la prassi architettonica e urbana", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10, pp. 149-155.

³⁸⁶ Ceccarini, P., "Systemic Design, Affordances, and Architectural Profiling".

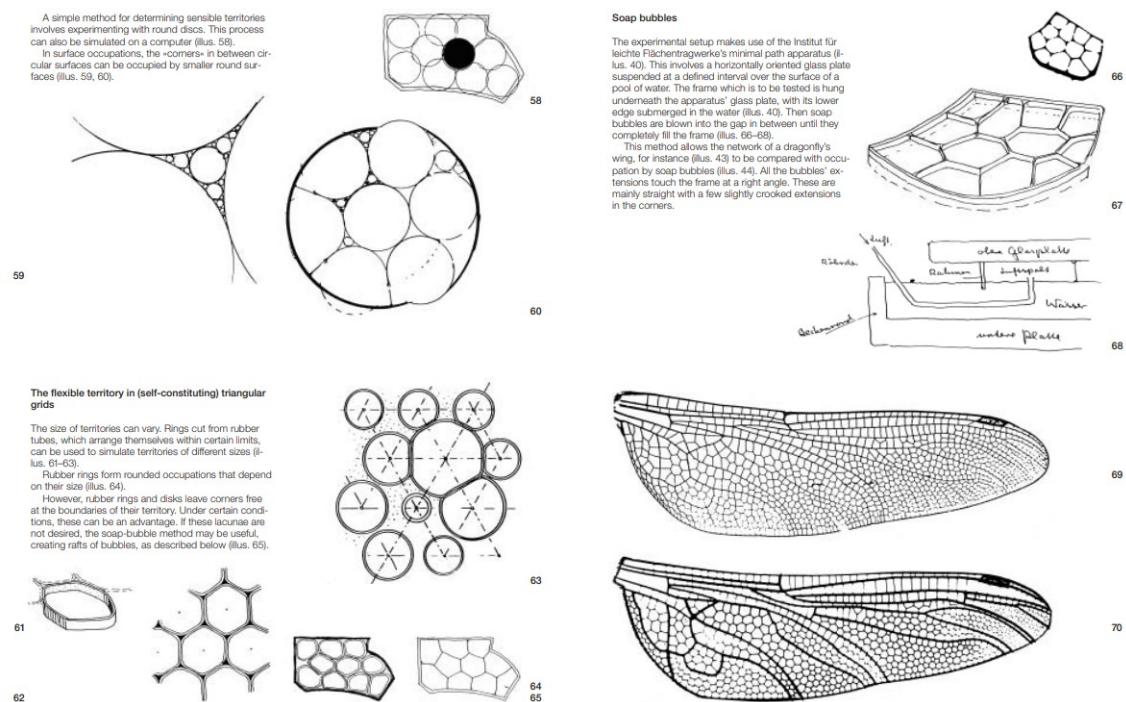


Fig. 22 – Frei Paul Otto, raccolta di strategie di biomimesi³⁸⁷.

Contributi del form-finding assistito. Un approccio iterativo

Il *form-finding assistito*, così come ipotizzato in questa trattazione, fornisce metodi per ricercare soluzioni architettoniche in equilibrio rispetto a un sistema di stimoli esterni, tuttavia si differenzia dal *form-finding emergente* in quanto i modelli di cui si serve non presentano proprietà “auto-organizzanti”. Ciò significa che il *form-finding assistito* non si limita alla costruzione di un modello-metodo progettante, ma richiede un intervento attivo da parte del progettista affinché la forma architettonica possa emergere come una risposta alla struttura parametrica che fornisce i vincoli della progettazione. Questo intervento attivo storicamente è stato condotto nella risoluzione di equazioni parametriche, nell’attuazione degli algoritmi risolutivi della statica grafica, nell’esecuzione di procedure di disegno. Peculiarità di questo approccio al progetto continua ad essere la capacità di generare soluzioni che risolvono i problemi derivanti dai parametri introdotti nel progetto. Di conseguenza le inevitabili iterazioni *trial-and-error*, necessarie per pervenire a una soluzione progettuale soddisfacente

³⁸⁷ Otto, F. & Burkhardt, B. (2009), *Occupying and connecting : thoughts on territories and spheres of influence with particular reference to human settlement*, Stuttgart: Edition Axel Menges,

anche nei confronti dei parametri che la procedura di form-finding non ha considerato, continuano a compiersi in una porzione dello *spazio di design* che presenta delle soluzioni “pre-ottimizzate”.

È possibile riconoscere che molte procedure di *form-finding emergente* presentano una loro controparte nel *form-finding assistito*. Di conseguenza, si suggerisce di tracciare la tradizione del *form-finding assistito* interrogandosi sulle origini della traduzione in forma matematica del principio di inversione di Hooke precedentemente richiamato. Nel 1691, venti anni dopo la risoluzione da parte di Hooke del “*problema sulla forma ottimale di un arco*”³⁸⁸ alla base della progettazione per mezzo di *hanging models*, Gottfried Leibniz, Christiaan Huygens e Johann Bernoulli derivano, a seguito di una sfida di Jakob Bernoulli³⁸⁹, l’equazione parametrica della catenaria:

$$y = a \cosh\left(\frac{x}{a}\right)$$

È interessante riconoscere che progettare un arco, o più in generale una forma architettonica, attraverso l’uso di questa equazione (che comunque garantisce di pervenire a una soluzione con un ottimo comportamento strutturale) pone una certa distanza tra l’oggetto progettato e chi progetta. Tra l’attribuzione di un valore ai parametri dell’equazione e la visualizzazione della corrispondente catenaria intercorre un tempo, più o meno lungo, nel quale il progettista deve attivamente calcolare l’equazione per diversi valori di X per ottenere un numero sufficiente di punti attraverso i quali tracciare la curva. Inoltre, risultano evidenti i limiti di questa equazione parametrica, la quale è incapace di considerare agilmente complesse condizioni di carico e di appoggio a differenza dei modelli fisici, i quali permettono di considerare un numero maggiore di parametri progettuali e di generare forme molto più complesse di un semplice arco. In ciò è possibile rintracciare un aspetto tipico degli strumenti più dirompenti dell’approccio parametrico, cioè la necessità di integrare gli strumenti all’interno della prassi progettuale affinché essi possano avere un profilo di utilità.

³⁸⁸ Hooke, R. (1676), *A Description of Helioscopes, and Some Other Instruments*, Londra: John Martyn.

³⁸⁹ Lockwood, E.H. (1961), "Chapter 13: The Tractrix and Catenary", in Lockwood, E.H., *A Book of Curves*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 124.

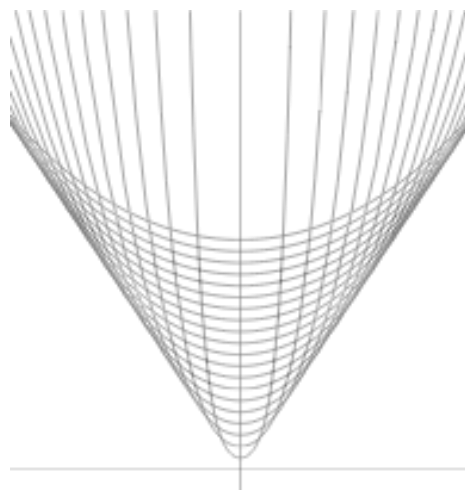


Fig. 23 – Curve catenarie per diversi valori del parametro “a”.

La catenaria, nella sua forma di equazione parametrica, ha quindi avuto un ruolo marginale nella progettazione architettonica, almeno fino agli sviluppi della moderna scienza delle costruzioni che ha permesso la risoluzione analitica di problemi di ingegneria civile, quali a, titolo di esempio, la progettazione di varie tipologie di ponti³⁹⁰.

Si può affermare che la generazione di forme architettoniche a partire da equazioni parametriche ha iniziato a impattare non solo l'ingegneria civile ma anche la progettazione architettonica con la diffusione di equazioni capaci di generare forme tridimensionali. Si potrebbe affrontare questa transizione discutendo, come proposto da Alberto Lastra³⁹¹ e Maite Bravo Martínez³⁹², dei contributi al progetto di architettura dati da diversi tipi di equazioni parametriche, quali le coniche, le curve spaziali, le superfici regolari, le superfici rigate e le superfici minime. Tuttavia, per brevità, questa tesi si limita a tracciare delle consuetudini metodologiche, che ancora oggi hanno un carattere di rilevanza, negli approcci al progetto di autori che hanno più volte utilizzato la matematica come strumento di ricerca della forma.

Parte del lavoro di figure più volte associate all'approccio parametrico come Pierluigi Nervi, Eduardo Torroja, Buckminster Fuller, Felix Candela, Buckminster Fuller e Eladio Dieste è riconducibile a un set limitato di equazioni parametriche, nonostante una chiara

³⁹⁰ Graefe, R., “The catenary and the line of thrust as a means for shaping arches and vaults”

³⁹¹ Lastra, A. (2022), *Parametric geometry of curves and surfaces: Architectural form-finding*, Basilea: Birkhäuser.

³⁹² Bravo Martines, M. (2015), *Lógicas paramétricas en la arquitectura del siglo xx*, Barcellona: Universidad Politécnica de Cataluña [Tesi di Dottorato] [Online]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/386394> (Ultima consultazione: 23 gennaio 2023).

eterogeneità nelle loro architetture. In questo set di equazioni, che permette la generazione di un numero infinito di superfici, ritroviamo l'iperboloide (es. Ippodromo di Torroja), il paraboloide ellittico (es. TWA Terminal di Saarinen), il paraboloide iperbolico (es. Manantiales di Candela), il cilindro parabolico (es. Hangar di Orvieto di Nervi), l'ellissoide (es. Palazzo dello sport di Nervi), la cupola geodetica (es. Padiglione USA di Fuller), la sinusoidale (es. Iglesia de Atlantida di Dieste). Queste equazioni restituiscono una "superficie media" la quale è già portatrice di una sua razionalità costruttiva: a titolo di esempio, le superfici rigate possono essere costruite attraverso casseforme composte da elementi esclusivamente lineari con una notevole semplificazione delle fasi di esecuzione. Inoltre, la possibilità di descrivere la forma architettonica attraverso una equazione permette di condurre con maggiore velocità e precisione analisi, principalmente in ambito strutturale, che restituiscono ulteriori criteri di valutazione della soluzione progettuale. Si può quindi riconoscere che il lavoro delle figure richiamate anticipa la concezione parametrica non solo per l'uso di equazioni parametriche, ma anche per la costruzione di metodi per valutare la qualità delle soluzioni architettoniche con il fine di orientare lo sviluppo del progetto verso una sua maggiore efficienza. Risulta necessario concludere questa parte di ricerca riconoscendo un certo anacronismo nell'attuare, oggi, l'approccio parametrico attraverso l'uso di equazioni parametriche, giacché quest'ultime sono state gradualmente sostituite da tecniche di modellazione più dirette, come le *nurbs*, che non richiedono una avanzata conoscenza della geometria descrittiva e dell'analisi matematica per essere utilizzate. In ogni caso, la conoscenza della storia e delle implicazioni metodologiche del progetto di architettura per mezzo di equazioni parametriche conserva un profilo di utilità nei confronti dell'uso di quegli strumenti che modificano profondamente la prassi progettuale.

2.4. CONCLUSIONI

Questo capitolo ha dimostrato che il contemporaneo approccio parametrico al progetto è il prodotto di un *melting pot* di stimoli, limitazioni e innovazioni a cui la disciplina dell'architettura è stata esposta dalla sua prima codificazione in termini classici fino all'affermarsi della dimensione digitale. Da ciò deriva la necessità di affiancare a quelle esperienze che hanno comportato un repentino avanzamento pratico e operativo dell'approccio parametrico, come l'Architettura Parametrica di Luigi Moretti, il progresso del Computational Design e il Parametricismo di Schumacher ampiamente discussi nel capitolo 1,

la progressiva stratificazione culturale alle spalle di questa modalità di pensare e praticare il progetto di architettura.

La lettura esistente, tuttavia, spesso si limita a proporre “frammenti” di questa stratificazione culturale. Questa ricerca, invece, ha proposto una visione orizzontale, più inclusiva e aperta, che affianca alle innovazioni dirompenti attribuibili a un numero limitato di autori chiave una graduale ridefinizione delle possibilità del progetto di architettura. Questa operazione si è basata sulla possibilità di individuare delle sovrapposizioni tematiche tra i diversi “frammenti” della storia dell’approccio parametrico proposti da altri autori. Più precisamente, sono stati elevati a carattere identitario dell’approccio parametrico la sua ambizione a considerare il progetto di architettura come un problema da risolvere, la sua tendenza a progettare attraverso la considerazione di un elevato numero di alternative progettuali e il suo frequente utilizzo di processi progettuali capaci di generare soluzioni in equilibrio nei confronti di alcuni stimoli esterni.

L’eterogeneità delle esperienze tracciate in questo capitolo e associate alle origini dell’approccio parametrico è da leggersi come duale all’eterogeneità delle concezioni e delle definizioni, richiamate nel capitolo 1, su cosa sia questo particolare modo di praticare e pensare il progetto di architettura. Ciò conferma che il progetto di architettura non è esclusivamente il frutto di un lavoro personale, ma anche la continua rielaborazione, più o meno conscia, di una conoscenza che ha radici ben lontane del suo progettista.

CAPITOLO 3

CODICI DELL'APPROCCIO PARAMETRICO

Un'esplorazione aperta per la pratica e la lettura del progetto

Abstract

I capitoli precedenti hanno mostrato la possibilità di parlare dell'approccio parametrico nel progetto di architettura anche senza presupporre l'esistenza di un suo rapporto simbiotico con la tecnica. Tuttavia, se si assegna, nell'ambito del progetto contemporaneo, un valore imperante alla tecnica appare necessaria una riflessione su come una delle sue manifestazioni più pervasive, cioè il digitale, sia in grado di condizionare la pratica dell'approccio parametrico.

Si propone quindi una riflessione su come la continua e reiterata esposizione alla tecnica che è propria della cultura digitale e dell'approccio parametrico sia in grado di determinare per la disciplina dell'architettura delle mutazioni nei suoi codici, intesi come un eterogeneo sistema di norme e prassi, implicite ed esplicite, personali o collettive, che regola l'evolvere della pratica progettuale. E si ipotizza la possibilità di individuare, per tre particolari e rappresentativi ambiti, dei codici propri dell'approccio parametrico, ai quali è possibile guardare per costruire attivamente e consciamente una personale narrativa progettuale: la trasgressione rispetto ad alcuni fondamenti della disciplina progettuale, il significato assegnato al concetto di modello e, infine, la posizione assunta rispetto alla dualità tra analogico e digitale.

Esito di questo capitolo è quindi una ricognizione aperta, che è in ogni caso destinata a essere periodicamente aggiornata a seguito degli inesorabili, e spesso inaspettati, progressi della tecnica, i quali, a loro volta, da sempre accompagnano l'ineluttabile divenire della disciplina del progetto di architettura.

Abstract

The previous chapters have shown the possibility of discussing the parametric approach in architectural design without assuming the existence of a symbiotic relationship between it and technique. However, if one assigns, in the context of contemporary design, a predominant value to technique, it appears necessary to reflect on how one of its most pervasive manifestations, namely the digital, can influence the practice of the parametric approach.

A reflection is therefore proposed on how the continuous and repeated exposure to the technique that is characteristic of digital culture and the parametric approach is capable of determining mutations in architecture's codes. More precisely, the term code is here associated with the meaning of a heterogeneous system of norms and praxes, implicit and explicit, personal or collective, that regulates the evolution of design practice. It is assumed that it is possible to identify, for three particular and representative areas, specific codes of the parametric approach, to which one can look in order to actively and consciously construct a personal design narrative: the transgression against certain fundamentals of the design discipline, the meaning assigned to the concept of model and, finally, the position taken with respect to the duality between analogue and digital.

The outcome of this chapter is therefore an open investigation, which is in any case destined to be periodically updated as a result of the inexorable, and often unexpected, advances in technique, which have always accompanied the ineluctable evolution of the discipline of architectural design.

Muovendo dalle diverse declinazioni della relazione che può intercorrere tra i codici specifici dell'architettura e quelli propri degli strumenti per l'elaborazione del suo progetto, questo capitolo propone alcune riflessioni su quelle modalità del progetto che determinano esiti metodologici non già ispirati da bisogni tettonici legati al costruire o all'abitare, bensì a delle sensibilità suggerite, assecondate, ricercate, imposte dagli strumenti di cui si serve l'approccio parametrico. Più precisamente, questo capitolo propone alcune riflessioni centrate su un particolare segmento della tecnica, cioè il digitale, che spesso è, erroneamente secondo chi scrive, considerato come il principale fattore abilitante della possibilità di una gestione "parametrica" del progetto di architettura.

Simili riflessioni inevitabilmente richiamano la questione dell'impatto della tecnica sulla genesi dei linguaggi dell'architettura e dei suoi metodi. Ciò ha già, ad esempio, ispirato Gilbert Simondon³⁹³ nell'associazione tra la dizione di "*tecno-estetica*" e l'architettura, indotto Sigfried Giedion a riconoscere nella costruzione la "*subcoscienza dell'architettura*"³⁹⁴ e alimentato le memorabili letture sulla tettonica di Kenneth Frampton³⁹⁵. Queste visioni, che ricoprono un ruolo importante nella cultura occidentale del progetto di architettura, sono aggiornante nell'ambito dell'approccio parametrico, allontanando, in alcune sue derive, l'architettura dalle necessità indotte dal costruire e dall'abitare. Le cause di questo processo sono ascrivibili alle necessità indotte dagli strumenti di cui il progetto si serve per la sua elaborazione ed esplicitazione, e quindi da questa specifica derivazione della tecnica, quando essi sono capaci di condizionare gli aspetti metodologici sottesi al progetto. Alcune di queste necessità, come l'astrazione diagrammatica, l'indeterminatezza del progetto, la dualità tra il digitale e l'analogico, l'ambizione a ottimizzare il progetto o il bisogno di "modellarlo", si sono manifestate a vario titolo nella progressiva costruzione dell'identità e delle possibilità dell'approccio parametrico in architettura. Ma tali necessità, che saranno successivamente

³⁹³ Simondon, G. (1982), *On techno-aesthetics* [lettera indirizzata a Jacques Derrida mai spedita]. Il testo è pubblicato in: Simondon, G. (2012), "On techno-aesthetics", in *Parrhesia: a journal of critical philosophy*, no. 14, pp. 1-8.

³⁹⁴ Giedion, S. (1959), *Space, time and architecture. The growth of a new tradition*, 3^a ed., Harvard University Press: Cambridge, p.24.

³⁹⁵ Frampton, K. (1995), *Studies in Tectonic Culture. The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture*, MIT Press: Cambridge.

discusse, appaiono non solo come un tratto distintivo dell'approccio parametrico ma anche come espressioni tipiche di alcune declinazioni contemporanee del progetto di architettura.

Assumendo la centralità della dimensione digitale nell'ambito delle attuali manifestazioni dell'approccio parametrico, si può riconoscere che gli aspetti di innovazione tecnica più importanti da esso apportati nelle metodiche del progetto di architettura risiedono nei codici propri dei suoi stessi strumenti di elaborazione, prima ancora che nei suoi strumenti spendibili per la traduzione del progetto in oggetto costruito. Ciò è un aspetto già salutato con entusiasmo da Zevi, il quale ha visto nell'introduzione "*delle tecniche del computer*" una occasione di arricchimento del "*lessico*", della "*grammatica*" e della "*sintassi*" dell'architettura³⁹⁶. Di conseguenza, l'approccio parametrico può essere studiato anche nei modi con cui i suoi strumenti digitali variano, modificano, aggiornano, rinnovano la pratica progettuale.

Le riflessioni di questo capitolo si basano quindi sull'ipotesi che le tecnologie dominanti nel corso della storia sono capaci di plasmare la nostra sensibilità progettuale anche attraverso un "*continuo spettro che connette l'estetica con la tecnica*", così come proposto da Simondon in una lettera scritta nel 1982 indirizzata a Jacques Derrida ma mai spedita³⁹⁷. Si può quindi assumere che la generazione e l'evoluzione di alcuni codici del progetto sia influenzata dalla continua e prolungata esposizione alla tecnica. Se si guarda al particolare caso dell'approccio parametrico, inoltre, si può riconoscere come esso determini non solo una continua e prolungata esposizione del progetto alla tecnica, ma anche un ruolo attivo da parte del progettista nei confronti dell'avanzamento della tecnica stessa.

Questo rapporto tra tecnica e codici del progetto non è una condizione completamente inedita, in quanto è possibile tracciare diverse analogie con la funzione riconosciuta nel 900 alla tecnica nell'ambito della genesi dei linguaggi architettonici da autori come Gideon, Frampton e lo stesso Simondon.

Trasportando verso la pratica architettonica il concetto di "*tecno-estetica*" di Simondon (che comunque è stato da egli definito richiamando, tra altre cose, il Centre Pompidou, Notre-

³⁹⁶ Cfr. Zevi, B. (1973), "Strutture in oggetto, gusci e membrane", in Zevi, B., *Il linguaggio moderno dell'architettura. Guida al codice anticlassico*. Torino: Einaudi.

³⁹⁷ Simondon, G., *On techno-aesthetics*.

Dame du Haut e le tracce delle casseforme nel camino di Santa Maria de la Tourette insieme alle tubature e ai cavi lasciati a vista negli interni dello stesso convento), si può affermare che il patrimonio formale e metodologico del progetto di architettura può essere modificato dal desiderio di rendere manifesta e mostrare la tecnica che lo ha generato, nonché dalla continua esposizione alla tecnica stessa. Le posizioni di Simondon possono essere poste in continuità con quelle di Gideon, il quale individua negli aspetti tecnici del progetto una capacità profetica e anticipatrice nei confronti delle espressioni dell'architettura. Più precisamente, Gideon individua in un particolare aspetto della tecnica, cioè la costruzione, la *"subcoscienza dell'architettura"*³⁹⁸, la quale è capace di sviluppare nuove possibilità latenti e opportunità del progetto coerentemente con le progressive innovazioni del comparto tecnologico di cui esso si serve. Sempre con riferimento al rapporto tra progetto e tecnica, e in particolare con la costruzione, anche Frampton indaga le modalità con cui innovazioni tecniche hanno favorito la nascita di nuovi codici del progetto: *"costruzione a secco, prodotti fibro-rinforzanti, collanti industriali, sigillanti"* hanno per Frampton accelerato il processo di *"dematerializzazione dell'edificio"*³⁹⁹. Ancora una volta, quindi, è riconosciuto alle innovazioni della tecnica la capacità di condizionare la pratica progettuale.

Rielaborare le posizioni richiamate nell'ambito dell'approccio parametrico conduce a ipotizzare con maggiore chiarezza che i progressi della tecnica capaci di modificare i codici del progetto non vanno ricercati solo nei suoi aspetti tecnologici, quali la costruzione e la gestione dell'architettura, ma anche nelle innovazioni sottese agli strumenti usati nell'atto della progettazione. Con ciò si intende che se alcune innovazioni apportate dall'approccio parametrico e dal digitale nella sfera della costruzione, quali la prototipazione, la fabbricazione digitale o la robotica di cantiere, forse instilleranno nuovi tematismi estetici e metodologici nel progetto di architettura, anche i modi con cui progettiamo potrebbero modificare l'immaginario metodologico dell'architettura, contribuendo a generare nuovi codici del progetto. E, inoltre, per il particolare caso dell'approccio parametrico, risulta più probabile che sia proprio questo aspetto immateriale della tecnica, che riguarda più il "come

³⁹⁸ Giedion, S., *Space, time and architecture. The growth of a new tradition*, p.24.

³⁹⁹ Frampton, K., *Studies in Tectonic Culture. The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture*, p. 381.

progettiamo” e meno il “come costruiamo”, a determinare le più importanti modificazioni nei codici del progetto.

Si tratta di fenomeni complessi dalle radici interdisciplinari, che ancora non hanno esaurito le loro possibilità di innovazione e che perciò, probabilmente, continueranno a influenzare l’evolvere dei codici del progetto. Ma, al contempo, questi fenomeni appaiono sufficientemente sedimentati per essere analizzati criticamente, principalmente grazie all’estensione temporale del rapporto tra approccio parametrico, digitale e architettura, che ha ormai abbondantemente superato il mezzo secolo. Inoltre, si registra un rinnovato interesse culturale per le modalità con cui il digitale permea e modifica sempre più aspetti della contemporaneità che, nell’ambito italiano, è esemplificato negli studi di autori come Floridi e Ferraris⁴⁰⁰.

Nei paragrafi successivi si individuano e discutono tre particolari e rappresentativi codici propri delle declinazioni dell’approccio parametrico più vicine alla dimensione digitale e strettamente legate alla tecnica a esso sottesa: la *trasgressione*, con cui si indicano le rotture imposte agli strumenti, ai ruoli e ai risultati propri del progetto, la *modellazione*, con cui si indica la necessità di “ricondere ad altro” il progetto di architettura, e, infine, il *contrasto* con cui si vuole cogliere la costante dicotomia tra dimensione analogica e digitale nel progetto di architettura. Questi codici, quindi, sono discussi nella forma di conseguenze derivanti dalla tecnica di cui si serve l’approccio parametrico ma, al contempo, anche come delle possibilità operative per la pratica del progetto, a cui si può guardare per costruire una propria narrativa progettuale.

⁴⁰⁰ Per una bibliografia minima si consiglia:

Ferraris, M. (2021), *Documanità. Filosofia del nuovo mondo*, Roma: Laterza.

Visconti, F. & Capozzi, R. (eds.) (2012), *Maurizio Ferraris. Lasciar tracce: documentalità e architettura*, Milano: Mimesis.

Ferraris, M. (2009), *Documentalità. Perché è necessario lasciar tracce*, Roma: Laterza.

Floridi, L. (2014), *La quarta rivoluzione. Come l’infosfera sta cambiando il mondo*, Milano: Raffaello Cortina Editore.

Floridi, L. (2012), *La rivoluzione dell’informazione*, Torino: Codice edizioni.

Floridi, L. (1999), *Philosophy and computing. An introduction*, Londra: Routledge.

Per una raccolta di posizioni autorevoli ed eterogenei nel panorama italiano:

Taddio, L. & Giacomini, G. (eds.) (2020), *Filosofia del digitale*, Milano: Mimesis.

3.1. CODICI DELLA TRASGRESSIONE. SUI MUTAMENTI IMPOSTI ALLA PRATICA PROGETTUALE⁴⁰¹

In questo paragrafo sono ipotizzate e discusse le principali rotture e discontinuità indotte dall'approccio parametrico nei confronti della pratica del progetto di architettura. Si propone di identificare queste rotture guardando a quelle manifestazioni dell'approccio parametrico, come le *protoarchitectures*, la *digital fabrication* e i *computation works*, in cui la sua tecnica assume una forma estrema ed esasperata, delineando, di conseguenza, dei punti di osservazione privilegiati a partire dai quali è possibile riconoscere con maggiore chiarezza quelle che possono essere definite come le *trasgressioni* di un particolare modo di praticare il progetto di architettura. Nell'ambito di questo paragrafo, il termine *trasgressione* è usato per indicare quei deragliamenti, propri dell'approccio parametrico, rispetto alle regole e alle prassi riconosciute del progetto di architettura.

Le manifestazioni estreme dell'approccio parametrico sono individuate a partire da alcune delle *protoarchitetture* raccolte da Bob Sheil⁴⁰², termine con cui egli indica oggetti architettonici dalla spiccata unicità, irripetibilità e singolarità che spingono ad affrontare la pratica progettuale come una *prototipazione*, un fatto straordinario che costringe a progettare contemporaneamente l'oggetto e la tecnica per costruirlo. Ciò significa che nelle *protoarchitetture* la progettazione è condotta anche ricercando strategie per tradurre intuizioni generate nel digitale verso una più concreta dimensione tettonica. Di conseguenza, Sheil riconosce che in queste *protoarchitetture* e, più in generale, nell'era post digitale, "*come progettiamo è diventato importante quanto cosa progettiamo*"⁴⁰³.

Scrive Sheil:

MAI PRIMA D'ORA ABBIAMO AVUTO A DISPOSIZIONE COSÌ TANTE TECNICHE E METODI COSÌ
VARIEGATI, OGNUNO CON LA CAPACITÀ DI SUPERARE FRONTIERE PRIMA SOLO IMMAGINATE. LA
PROGETTAZIONE È DIVENTATA UNA DISCIPLINA LIQUIDA CHE SI RIVERSA IN DOMINI CHE PER SECOLI

⁴⁰¹ Parte della ricerca contenuta in questo paragrafo è stata già pubblicata in un articolo dell'autore: Canestrino, G. (2021). "PROTOARCHITETTURE DIGITALI. Innovazione e trasgressione nei pavilion", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10, pp. 88-109.

⁴⁰² Cfr. Sheil, B. (ed.) (2008), *Protoarchitecture. Analogue and Digital Hybrids*, AD – Architectural Design, vol. 78, no. 4.

⁴⁰³ Tradotto da: "*In the post-digital age, how we design has become as important as what we design*". Sheil, B. (2008), "Introduction. Protoarchitecture: Between the Analogue and the digital", *AD – Architectural Design*, vol. 78, no.4, pp. 6-11.

SONO STATI APPANNAGGIO DI ALTRI, COME MATEMATICI, NEUROLOGI, GENETISTI, ARTISTI E ARTIGIANI. I DESIGNER POST-DIGITALI PROGETTANO PIÙ SPESSO PER MANIPOLAZIONE CHE PER DETERMINISMO, E CIÒ CHE VIENE PROGETTATO È DIVENTATO PIÙ CURIOSO, INTUITIVO, SPECULATIVO E SPERIMENTALE. OGNUNA DI QUESTE NUOVE TECNICHE SI CONTENDE IL PRIMATO NEL MONDO COMPETITIVO DEGLI STRUMENTI AVANZATI. SI BATTONO PER SUPERARSI L'UN L'ALTRA, PER PREVEDERE L'IMPREVEDIBILE, PER PROMETTERE L'IRRAGGIUNGIBILE, PER MATERIALIZZARE L'IMMATERIALE, PER RISOLVERE TUTTI I NOSTRI PROBLEMI E PER STUPIRE COSÌ TANTO L'OSSERVATORE DA FAR IMPALLIDIRE TUTTI I PRECEDENTI PERCORSI DI MERAVIGLIA ARCHITETTONICA⁴⁰⁴.

L'utilità delle *protoarchitetture*, nell'ambito di questo paragrafo, non è da individuare esclusivamente nelle tecniche affini all'approccio parametrico da esse utilizzate, ma anche nella loro capacità di rinnovare la cultura progettuale mettendo in discussione i principi propri dell'architettura, come il costruire e l'abitare.

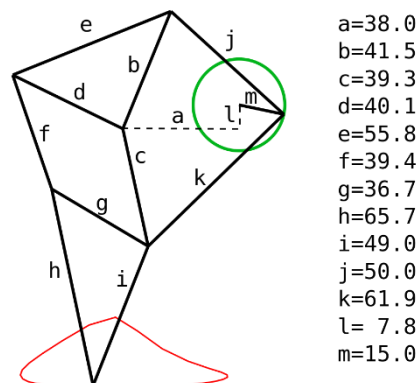


Fig. 24. Theo Jansen, *Animaris Ordis*. Il lavoro di Janseon, caratterizzato dall'uso della computazione evolutiva e della prototipazione, è annoverato da Sheil nelle *protoarchitetture*⁴⁰⁵.

⁴⁰⁴ Tradotto da: "Never before have there been so many, or so varied, techniques and methods at our disposal, each with the capacity to leap only previously imagined frontiers. Designing has become a liquid discipline pouring into domains that for centuries have been the sole possession of others, such as mathematicians, neurologists, geneticists, artists and manufacturers. Post-digital designers more often design by manipulation than by determinism, and what is designed has become more curious, intuitive, speculative and experimental. Each of these new techniques vies for dominance in the competitive world of advanced tooling. They battle to outdo one another, predict the unpredictable, promise the unattainable, materialise the immaterial, solve all our problems, and so dazzle the beholder that all previous paths to architectural wonderment pale into the archives".

Sheil, B. (2008), "Introduction. Protoarchitecture: Between the Analogue and the digital".

⁴⁰⁵ Crediti: Hari Seldon; Michael Frey.

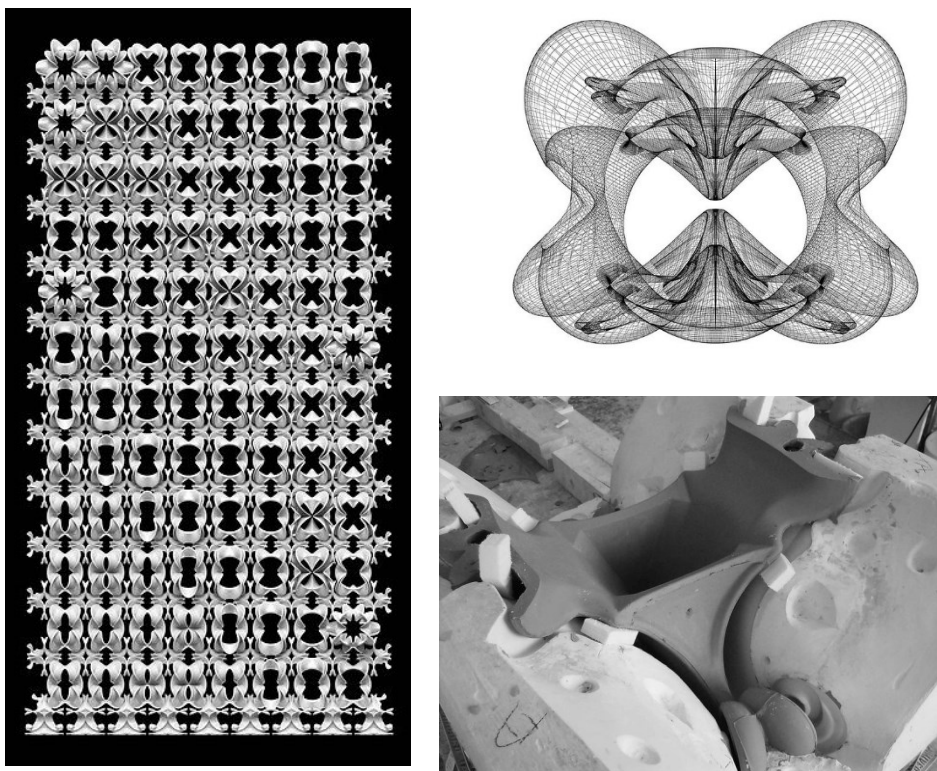


Fig. 25. Evan Douglass, *Flora_Flex*. Questa applicazione Douglass, caratterizzato dalla progettazione di un sistema prefabbricato modulare con un approccio genetico, è annoverata da Sheil nelle protoarchitetture⁴⁰⁶.

Una raccolta di manifestazioni estreme dell'approccio parametrico è offerta anche da quelle ricerche che tracciano lo stato dell'arte delle applicazioni più spinte della *digital fabrication* nel progetto di architettura. Il legame tra la fabbricazione digitale e l'approccio parametrico risiede, ancora una volta, nella tecnica che alimenta il processo progettuale. Più precisamente, un fattore abilitante della fabbricazione digitale risiede nelle innovazioni costruttive di cui essa si serve, ma è altrettanto importante riconoscere che gli strumenti dell'approccio parametrico rappresentano, in un numero importante di applicazioni, la tecnologia abilitante affinché si possa progettare una forma destinata a sfruttare pienamente le possibilità offerte dalla fabbricazione digitale. Guardare alle ricerche della fabbricazione digitale permettere quindi di leggere chiaramente alcune modificazioni che l'approccio parametrico può imporre alla pratica progettuale. Le successive riflessioni sono quindi

⁴⁰⁶ Crediti: <https://www.behance.net/gallery/21286059/Flora-Flex>

tracciate guardando ai numerosi articoli⁴⁰⁷, *special issue*⁴⁰⁸, monografie⁴⁰⁹ e curatele⁴¹⁰ che raccolgono un ampio numero di casi studio in cui la tecnica costruttiva si serve, a vario titolo, dell'approccio parametrico per ideare la forma e per assegnarle una dimensione tettonica e costruttiva.



⁴⁰⁷ Cfr. Belibani, R. (2018), "Biomimesi e robotica nella nuova architettura", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 4, pp. 99-107.

⁴⁰⁸ Cfr. Sheil, B. (ed.) (2008), *Protoarchitecture. Analogue and Digital Hybrids*, AD – Architectural Design, vol. 78, no. 4; Sheil, B. (ed.) (2005), *Design Through Making*, AD – Architectural Design, vol. 75, no. 4.

⁴⁰⁹ Iwamoto, L., (2009), *Digital Fabrications. Architectural and Material Techniques*, New York: Princeton Architectural Press.

⁴¹⁰ Cfr. Burry, J., Sabin, J., Sheil, B. & Skavara, M. (2020), *FABRICATE: Making Resilient Architecture*, Londra: UCL Press; Glynn, R. & Sheil, B. (eds.) (2011), *FABRICATE: Making Digital Architecture*, Londra: UCL Press; Gramazio, F., Kohler, M. & Langenberg, S. (eds.) (2014), *FABRICATE: Negotiating Design & Making*, Londra: UCL Press.

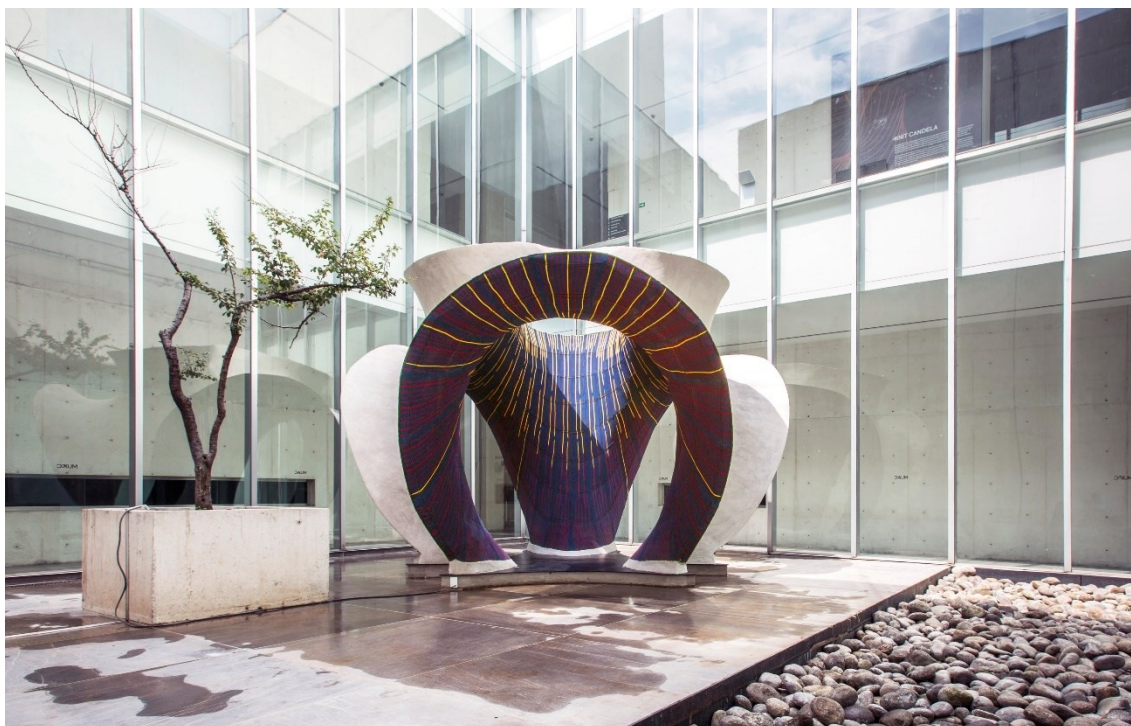


Fig. 26. Block Research Group & Zaha Hadid, Knit Candela, 2018. Il Padiglione Knit Candela applica la fabbricazione digitale per la produzione di casseformi tessili⁴¹¹.

Un ultimo bacino di casi studio capaci di chiarire le rotture imposte dall’approccio parametrico nei confronti delle metodiche consolidate del progetto di architettura è dato dai cosiddetti *Computation Works*, termine che dà il titolo a uno *special issue* di *Architectural Design*⁴¹² interessato alle modalità con cui è possibile ricavare la massima utilità nel progettare e costruire la forma architettonica con una “*mentalità algoritmica*”. Tra i *Computation Works* possiamo quindi annoverare quelle esperienze in cui l’evoluzione del progetto è orientata e guidata dall’elaborazione di informazioni per mezzo di strumenti computazionali che in parte sono già esistenti e in parte vengono progettati *ex novo* da chi li utilizza in prima persona. Questa particolare declinazione del rapporto tra progetto e tecnica supporta gli obiettivi di questo paragrafo in quanto permette di tracciare un cambiamento della prassi del progetto per cui “*ci stiamo muovendo da un’era in cui gli architetti usano software verso un’era in cui creano software*”⁴¹³.

⁴¹¹ Crediti: Lex reiter, Juan Pablo Allegre.

⁴¹² Peters, B. & De Kestelier (eds.) (2013), *Computation Works. The building of algorithmic Thought*, AD – Architectural Design, no. 222.

⁴¹³ Tradotto da: “*We are moving from an era where architects use software to one where they create software*”. Peters, B. (2013), “*Computation Works: The Building of Algorithmic Thought*”, AD – Architectural Design, no. 222, pp. 8-15.

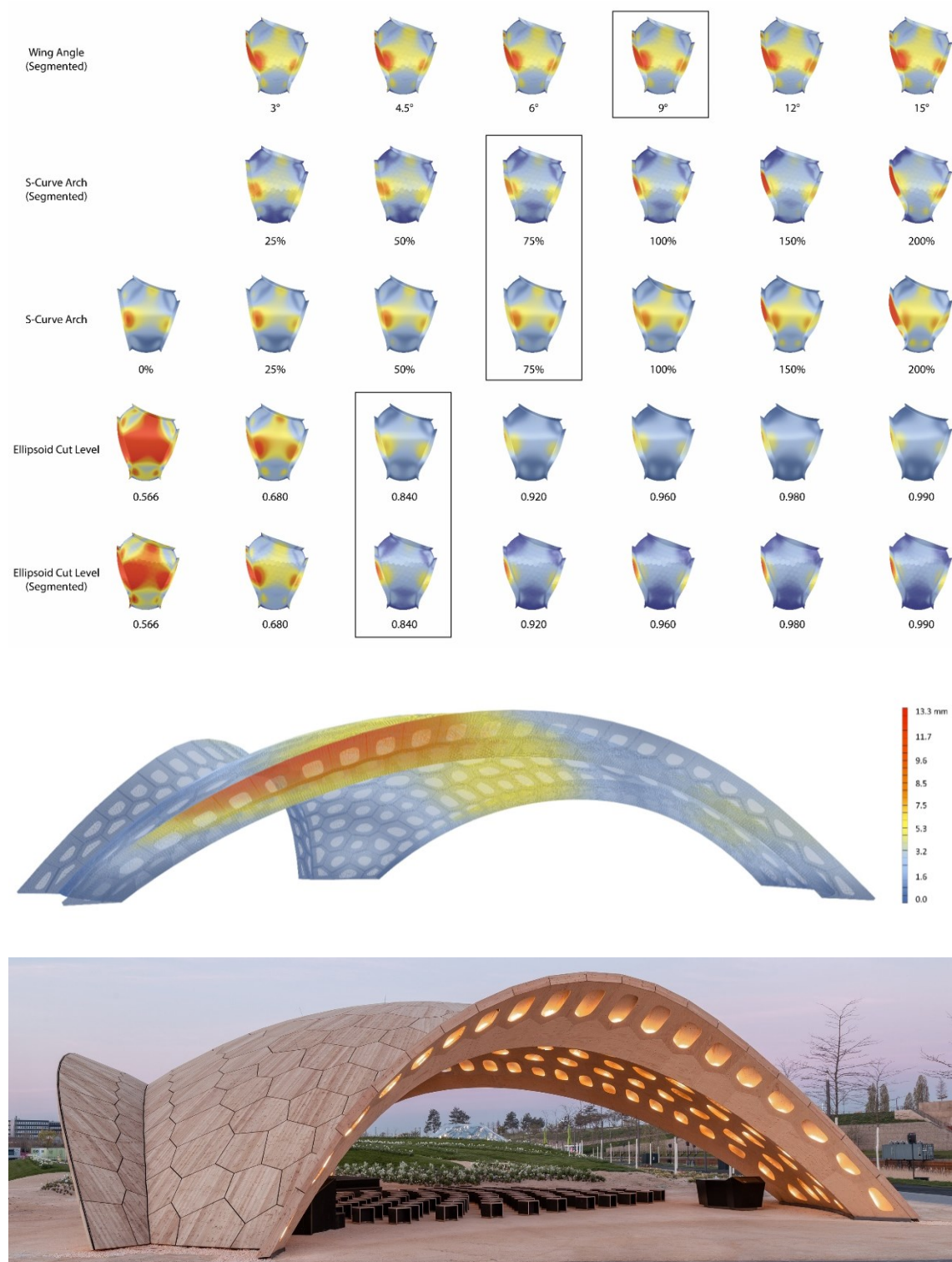


Fig. 27. ICD, IKTE, 2019, Buga Wood Pavilion⁴¹⁴.

Le ricerche, i casi studio e le posizioni teoriche appena richiamate forniscono le fonti a partire dalle quali poter tracciare i principali riferimenti culturali capaci di delineare i modi con cui le declinazioni dell'approccio parametrico più vicine al digitale introducono delle

⁴¹⁴ Crediti: ICD/ITKE University of Stuttgart

trasgressioni nella pratica del progetto di architettura. Si propone, quindi, di riflettere su *trasgressioni* di strumenti, di ruoli e di risultati.

Trasgressione di strumenti

Le trasgressioni imposte dalle ricerche richiamate nei confronti degli strumenti del progetto sono individuabili già nell'ambito di una tecnica, cioè il disegno, che, insieme alla costruzione, è sufficiente a definire secondo Alberti *"l'architettura nel suo complesso"*⁴¹⁵. Sempre secondo Alberti, il *"metodo"* e *"l'oggetto"* del disegno consistono nel *"trovare un modo esatto e soddisfacente per adattare insieme e collegare linee ed angoli, per mezzo dei quali risulti interamente definito l'aspetto dell'edificio"*⁴¹⁶. Nell'approccio parametrico il disegno entra in crisi in quanto chiamato a confrontarsi con forme ostili ad essere ricondotte a *"linee ed angoli"*, cioè con quei *"progressi della geometria"* a cui Schumacher riconosce il ruolo di *"risorsa progettuale"*, quali *"splines, NURBS, blobs"*⁴¹⁷. Ciò conduce ad assegnare al disegno diversi ruoli, che spaziano da una funzione ancillare, come proposto da Matthias Kohler e Fabio Gramazio, in cui il progetto di architettura non è più *"condotto esclusivamente per mezzo del disegno"*⁴¹⁸, fino all'*"inversione del paradigma Albertiano"*, come proposto da Carpo⁴¹⁹, secondo cui la separazione tra disegno e costruzione perde di valore alla luce dei progressi della *Computer Aided Manufacturing*.

Questa situazione determina una mutazione del lessico del progetto, nel quale i termini *disegnare* e *descrivere* rischiano di essere posti in secondo piano o sostituiti dai concetti di *modellare* e *simulare*. Ciò comporta che l'esplorazione delle possibilità offerte da quel progresso che ha affiancato, o reso obsoleto, il disegno è assumibile come un campo

⁴¹⁵ Alberti, L. B., *De re aedificatoria*, libro 1, cap. 1. Tradotto in Orlandi, G. (1966), *L'architettura. De Re Aedificatoria*, Milano: Edizioni Il Polifilo, p.18.

⁴¹⁶ Alberti, L. B., *De re aedificatoria*, l. 1, cap. 1. Tradotto in Orlandi, G., *L'architettura. De Re Aedificatoria*, p.18.

⁴¹⁷ Schumacher, P. (2018), "The Progress of Geometry as Design Resource", *Log*, no. 43, pp. 105-118.

⁴¹⁸ Tradotto da un estratto della descrizione al sito dello studio di Matthias Kohler e Fabio Gramazio: *"We do not design architecture solely by drawing, but conceive spatial relationships and contextual behaviour through programming. In doing so, we use the potentials of the computer and of digital fabrication complementary to traditional design, construction and building methods"* [online]. <https://www.gramaziokohler.com/web/e/about/index.html> (Ultimo accesso 16 febbraio 2023)

L'estratto è pubblicato in: Picon, A. (2021), *The Materiality of Architecture*, University of Minnesota Press: Minneapolis, p.108.

⁴¹⁹ Cfr. Carpo, M. (2011), "The Reversal of the Albertian Paradigm", in Carpo, M., *The alphabet and the algorithm*, Cambridge: MIT Press, pp. 44-48.

prediletto della ricerca architettonica, come è già riscontrabile nel manifesto di Schumacher⁴²⁰ e nelle posizioni di Lynn⁴²¹. Quest'ultimo, il quale afferma con chiarezza che *"il medium del software è profondamente differente dal medium del disegno"*⁴²², amplierà l'interesse per l'esplorazione del software anche verso quegli strumenti digitali non pensati esplicitamente per essere applicati in ambito *Architecture Engineering and Construction*, come ad esempio i software di animazione.

L'atteggiamento esplorativo di Lynn, ampiamente diffuso nel *Digital Turn*, permette di comprendere come anche gli aspetti di mercato sottesi alla tecnica siano in grado di imporre la propria influenza rispetto alla pratica progettuale. Il mercato del software, infatti, sviluppa e commercializza strumenti tesi a soddisfare le esigenze di un utente medio e perciò essi non sono costruiti su misura per ogni progettista. Nel momento in cui le potenzialità, la flessibilità e i limiti di uno strumento arginano le possibilità della progettazione, tale limite può essere accettato oppure si può piuttosto lavorare attivamente per superarlo, come proposto da diversi autori nel *Digital Turn*. In questo passaggio, definito da Lynn come una transizione dall'"*appropriazione di software standardizzato verso lo scripting di strumenti personalizzati*"⁴²³, si legge chiaramente una modalità di implementazione dell'approccio parametrico nel progetto di architettura che richiede l'abilità di *customizzare* e manipolare i medium della progettazione. Ciò non rappresenta una condizione completamente inedita per il progetto di architettura e per l'approccio parametrico in quanto già i processi di *form-finding*, discussi nel capitolo 2, gestiscono la progettazione per mezzo della personalizzazione e manipolazione di strumenti creati ad hoc, quali i modelli fisici.

In ambito architettonico, il "software personalizzato" può essere sviluppato con il fine di essere commercializzato, come nel caso di *Digital Projects* della *Gehry Technologies*, per promuovere attività di ricerca e sviluppo interne, come nel lavoro di ZHA CODE per conto di

⁴²⁰ Schumacher, P. (2009). "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design", *Architectural Design*, no. 79(4), pp. 14–23. Già presentato e discusso al Dark Side Club, XI Biennale di Architettura di Venezia: Schumacher, P. (2008), "Parametricism as Style - Parametricism Manifesto" [Online]. <https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2012).

⁴²¹ Rocker, I. (2004), "Calculus-Based Form. An interview with Greg Lynn", *AD - Architectural Design*, vol. 76, no. 4, pp. 88-96.

⁴²² Rocker, I., "Calculus-Based Form. An interview with Greg Lynn".

⁴²³ Rocker, I., "Calculus-Based Form. An interview with Greg Lynn".

Zaha Hadid Architects⁴²⁴, ma anche per condurre una ricerca di stampo accademico, come nella suite *RHINOVault*⁴²⁵ rilasciata dal Block Research Group dell'ETH di Zurigo. Le attività appena citate, che spaziano dalle origini del *Digital Turn* fino alla contemporaneità, determinano una ulteriore mutazione degli orizzonti temporali della pratica progettuale: essa non termina con la costruzione, ma si riverbera nel continuo perfezionamento degli strumenti digitali sviluppati ad hoc per la particolare progettazione e, eventualmente, prosegue nella diffusione e nel perfezionamento collettivo di tali strumenti. Questo atteggiamento non può che essere inquadrato nell'ambito di quella cultura *Open Source*, che, secondo la definizione data da Carlo Ratti per il progetto di architettura, è *"caratterizzata da un approccio inclusivo alla progettazione degli spazi, dall'uso collaborativo dei software progettuali e dal funzionamento trasparente degli edifici e delle città durante il loro ciclo di vita"*⁴²⁶. La cultura *Open Source* è quindi permeata da una volontà di sviluppo collaborativo, partecipato e condiviso della conoscenza, che ha prodotto importanti strumenti liberamente accessibili a servizio del progetto e dei progettisti. Questa concezione culturale sottesa ad alcune declinazioni del progetto di architettura è rilevante per l'approccio parametrico in quanto esso può essere attuato anche adottando, senza alcun costo, dei *toolkit* digitali, mantenuti in uno "stato di efficienza" da una comunità di sviluppatori, spesso gratuitamente, e destinati a progettisti che desiderano superare le inibizioni e i limiti del software commerciale. Conseguenza di ciò è che la pratica progettuale si compie all'interno di *"ecosistemi di progettazione"*, popolati da plugin ultra-specializzati, che conducono *"la creazione degli ambienti di progettazione [a diventare] ulteriore dominio del progettista"*⁴²⁷.

⁴²⁴ Scrive Schumacher: *"con ZHA CODE stiamo sviluppando strumenti personalizzati per modellare i vincoli di particolari processi di fabbricazione, tra cui la piegatura di materiali in fogli che presentano una geometria conica, o il taglio a filo caldo di stampi che presentano superfici rigate"* (tradotto da: *"with ZHA CODE we are developing custom tools to model the constraints of particular fabrication processes, including the curved folding of sheet materials implying conic geometry, or for the hot-wire cutting of molds implying ruled surfaces."*

Schumacher, P., "The Progress of Geometry as Design Resource".

⁴²⁵ Cfr. Block Research Group, *RhinoVAULT* [Online]

<https://block.arch.ethz.ch/brg/content/tool/rhinovault/introduction> (Ultima consultazione: 13 febbraio 2023); Block Research Group, *RhinoVAULT 2* [Online], <https://blockresearchgroup.gitbook.io/rv2/> (Ultima consultazione: 13 febbraio 2023).

⁴²⁶ Ratti, C. (2014), *Architettura Open Source. Verso una progettazione aperta*, Torino: Einaudi, p. 137.

⁴²⁷ Tradotto da: *"The coordination and creation of the design environment is itself becoming the domain of the designer."*

Davis D. & Peters B. (2013), "Design Ecosystems: customizing the architectural design environment with software plug-ins", *AD - Architectural Design*, no. 222, pp. 123-132.

Nello stesso numero trovano ampio spazio articoli dedicati a vari e diffusi plug-ins: *Galapagos*, *Kangaroo*, *Pachyderm*, *WeaverBird*, *Geco*, *Firefly*.

In definitiva, l'approccio parametrico con le sue declinazioni digitali è capace di rinnovare la secolare tradizione degli strumenti dell'architettura, modificando le aspettative nei confronti del disegno, assegnando al progettista nuovi domini operativi, permettendo alla tecnica di progredire e diffondersi con inedite modalità.

Trasgressione di risultati e ruoli

Nell'ambito dell'approccio parametrico, si può riconoscere la trasgressione di un ulteriore paradigma proposto da Alberti nella sua codifica della professione dell'architetto. Come riconosciuto nelle riletture operate da Carpo, *"in vari momenti e in differenti contesti, Alberti insiste sull'esistenza di un ideale punto di non ritorno, in cui il progetto dovrebbe cessare le sue modificazioni e la costruzione dovrebbe iniziare speditamente e senza esitazione"*⁴²⁸. L'approccio parametrico mette in discussione questo principio in quanto suggerisce che la forma architettonica può essere considerata una delle possibili *variazioni sul tema* ottenibile modificando una procedura, un modello fisico, un algoritmo o altro. Inoltre, le tecniche dell'approccio parametrico mettono in discussione i tempi del progetto, in quanto la forma architettonica potrebbe continuare a mantenere degli aloni di indeterminatezza fino a un attimo prima della sua costruzione se quest'ultima è attuata per mezzo della fabbricazione digitale o, andando indietro di qualche anno, per mezzo dell'integrazione CAD/CAM. Emerge così nella *liquidità* dell'azione progettuale un inedito portato proprio dell'approccio parametrico. Ciò era stato già salutato con entusiasmo da Marcos Novak nel 1991, il quale riconosceva come l'invenzione del cyberspazio avesse aperto le porte a una *"architettura liquida [...] che respira, pulsa, salta come una forma e atterra come un'altra"*⁴²⁹. Una architettura per cui, forse, la finale traduzione nella dimensione tettonica risulta meno interessante, e in alcune derive meno importante, del processo che la ha generata. Richiamando il lavoro di Bauman e la sua *modernità liquidità*⁴³⁰, si può riconoscere che alcune

⁴²⁸ Tradotto da: "At various times and in different contexts Alberti insists on this ideal point of no return, where all design revisions should stop, and construction begin speedily and without hesitation (and, he adds, without any variation or change during the course of the works, regardless of who is in charge of the site)"

Carpo, M., *The alphabet and the algorithm*, p. 21.

⁴²⁹ Tradotto e estratto da: "liquid architecture is an architecture that breathes, pulses, leaps as one form and lands as another. Liquid architecture is an architecture whose form is contingent on the interest of the beholder; it is an architecture that opens to welcome me and closes to defend me; it is an architecture without doors and hallways, where the next room is always where I need it to be and what I need it to be."

Novak, M. (1993), "Liquid Architecture", in Benedikt, M. (ed.), *Cyberspace, First Steps*, MIT Press: Cambridge, pp. 225-254.

⁴³⁰ Bauman, Z. (2002), *Modernità liquida*, Roma: Laterza.

declinazionali dell'approccio parametrico elevano la possibilità del cambiamento perenne a un valore metodologico da ricercare nella prassi progettuale.

Quanto detto finora, permette di individuare un'ulteriore modificazione che l'adozione della tecnica dell'approccio parametrico può imporre al progetto di architettura. Se la liquidità del progetto è elevata a principio metodologico, lo sforzo progettuale potrebbe terminare definendo una procedura aperta che presenta sufficienti aloni di indeterminatezza per garantire la possibilità di individuare una, forse momentanea, soluzione architettonica. Si può quindi riconoscere che la tecnica propria dell'approccio parametrico suggerisce la progettazione di *opere aperte*, intuizione già proposta da Capozzi in uno scritto *contro il Parametricismo*⁴³¹, cioè, usando le parole di Eco, lavori

“NON FINITI”, CHE L'AUTORE PARE CONSEGNARE ALL'INTERPRETE [...] APPARENTEMENTE DISINTERESSANDOSI DI COME ANDRANNO A FINIRE LE COSE”⁴³².

Allo stesso modo, Carpo riconosce che

“I PROGETTI (NON ESCLUSIVAMENTE QUELLI DI EDIFICI: IL PRINCIPIO PUÒ ESSERE GENERALIZZATO) SONO SEMPRE PIÙ CONCEPITI COME UN FINALE APERTO, SCRIPT GENERATIVI CHE POSSONO ORIGINARE UNO O PIÙ OGGETTI DIVERSI — RIPROGETTATI, ADATTATI, INCASINATI E MANOMESSI DA UNA VARIETÀ DI FIGURE, ALCUNI DEI QUALI INCONTROLLABILI E IMPREVEDIBILI”⁴³³.

Inoltre, l'interprete dell'*opera aperta*, cioè la figura che individua una cristallizzazione della forma architettonica tra un campo di infine possibili sue variazioni, non coincide necessariamente con il progettista, il quale può essere parzialmente o completamente sostituito da ulteriori automatizzazioni dei processi decisionali.

Se lo sviluppo degli strumenti assume un ruolo centrale nella progettazione, se tali strumenti sono fortemente dipendenti dai prodotti di comunità di sviluppatori guidati dagli

⁴³¹ Capozzi, R. (2020), “Contro il parametricismo”, *Op.cit., selezione della critica d'arte contemporanea*, no. 169, pp. 36-44.

⁴³² Eco, U. (1962), *Opera aperta: forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee*, 4° ed., Milano: Bompiani, p. 35.

⁴³³ Tradotto da: “Projects (and not only for buildings: the principle can be generalized) are increasingly conceived as open-ended, generative scripts that may beget one or more different objects—redesigned, adapted, messed up, and tampered with by a variety of human and technical agents, some of them uncontrollable and unpredictable.”

Carpo, M., *The alphabet and the algorithm*, p. 45.

ideali dell'*open-source* e se il progettista può essere relegato a interprete di una "*opera aperta*", è evidente che l'approccio parametrico può suggerire anche una crisi della dimensione autoriale nel progetto di architettura. La crisi, ancora una volta, è chiara rispetto a una posizione di Alberti, cioè l'idea di un progetto autoriale inteso come riconducibile al lavoro intellettuale e operativo di un'unica figura. Inoltre, anche nel caso in cui il progettista coincidesse chiaramente con l'autore dello strumento progettante, si potrebbe dire che finché egli non cristallizza una forma architettonica rimane un "*generale, o forse 'generico', autore*"⁴³⁴. Si può riconoscere, quindi, un fenomeno di diluizione e frammentazione della responsabilità autoriale (o della paternità ideativa) tra le diverse figure, le diverse discipline e addirittura i diversi strumenti coinvolti nel progetto di architettura quando quest'ultimo implementa alcuni aspetti dell'approccio parametrico. Ciò può essere letto come una estremizzazione di un aspetto proprio del "*racconto del farsi dell'architettura*" suggerito da Gregotti, cioè la presenza di una "*pluralità dei materiali esterni e provenienti da altre discipline che sono concretamente presenti alla costruzione del progetto*"⁴³⁵.

Quanto detto finora è stato tracciato guardando a alcune declinazioni dell'approccio parametrico che conducono a una pratica progettuale definibile come "*di frontiera*"⁴³⁶. Ma proprio questo carattere "*di frontiera*" ha permesso di delineare in questo paragrafo diverse rotture che l'approccio parametrico può introdurre nel progetto di architettura. Rotture che, se accettate, studiate e praticate consapevolmente, potrebbero essere utilizzate per delineare una propria narrativa progettuale e nuovi codici per il progetto, trasformando così, come proposto da Baudrillard⁴³⁷, Zevi⁴³⁸ e Saggio⁴³⁹, "*la crisi in un valore*".

3.2. CODICI DELLA MODELLAZIONE. SULLE POSSIBILITÀ DEL CONCETTO DI MODELLO

Questo paragrafo vuole essere una concisa ricognizione dei concetti di *modello* adottabili nell'ambito dell'approccio parametrico, ma, come riconosciuto da Saggio, "*l'uso della parola*

⁴³⁴ Tradotto da: "*the object's designer is a 'general,' or perhaps a 'generic,' author*"

Carpó, M., *The alphabet and the algorithm*, p. 48.

⁴³⁵ Gregotti, V. (2018), *I racconti del progetto*, Skira: Milano, p.21.

⁴³⁶ Cfr. Belibani, R. & Lucente, R. (eds.) (2021), "Frontiere Digitali", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10.

⁴³⁷ Baudrillard, J. (1985), "Modernità", in *Encyclopaedia Universalis*, vol. 12, Encyclopaedia Universalis: Parigi, pp. 424-426.

Per un approfondimento vedasi: Heynen, H. (1999), *Architecture and Modernity. A critique*, MIT Press: Cambridge, p. 12.

⁴³⁸ Zevi, B. (1994), *Architettura della Modernità*, Newton Compton Editori: Roma, p. 91.

⁴³⁹ Saggio, A. (2007), *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Roma: Carocci, pp. 24-29.

“modello” fa subito tremare le vene a un architetto”⁴⁴⁰ a causa della stratificazione di significati ad esso assegnati nella disciplina del progetto di architettura. È quindi necessario precisare che si intende tracciare un numero limitato e significativo di possibili modelli per l’approccio parametrico capaci di catturare differenti relazioni tra tecnica e pratica progettuale a cui guardare per la costruzione di una personale narrativa. Si precisa subito che non si suppone l’esistenza di modelli propri ed esclusivi dell’approccio parametrico, ritenendo, invece, che i possibili modelli adottabili nel progetto si prestino, nella pratica, ad essere ibridati e a essere utilizzati con diversi livelli di rigosità, in diverse fasi del processo progettuale e con diversi scopi. Si propone quindi, ancora una volta, una posizione eterogenea e inclusiva su un particolare aspetto dell’approccio parametrico nell’ambito del progetto di architettura, ciò il ruolo e la concezione assegnati alle diverse declinazioni del concetto di *modello*.

Condurre questa operazione sul tema del Modello permette di particularizzare nell’ambito dell’approccio parametrico un interesse di ricerca che nell’ultimo decennio ha prodotto contributi, nella forma di monografie e mostre, di chiaro impatto per la cultura progettuale. Tali contributi possono fornire diverse risposte alla domanda *“cosa può essere un modello nel progetto di architettura”*. Una delle visioni più orizzontali su questo tema è fornita in uno *special issue* di *Log* che muove da una chiara ipotesi:

IN ARCHITETTURA, IL MODELLO NON È PIÙ SOLO UNO STRUMENTO FISICO PER CONCETTUALIZZARE O RAPPRESENTARE LE VISIONI DEGLI ARCHITETTI, MA DEVE COMPRENDERE ANCHE MODELLI DIGITALI E STAMPATI IN 3D, MODELLI DI DATI E DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE, MODELLI DI BUSINESS, MODELLI EDUCATIVI, E PERSINO, NELL’AMBITO DELLA DISCUTIBILE STORIA DELLA DISCIPLINA STESSA, MODELLI DI RUOLI⁴⁴¹.

Di conseguenza, i modelli per l’architettura (o dell’architettura, o ancora nell’architettura) potrebbero essere indagati rispetto *“ai loro valori, ai loro comportamenti e*

⁴⁴⁰ Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, p.78.

⁴⁴¹ Tradotto da: *“In architecture, the model is no longer just a physical tool for conceptualizing or representing architects’ visions but must also encompass digital and 3D-printed models, data and artificial intelligence models, business models, educational models, and even engage the discipline’s own questionable history in establishing role model”*

Estratto dall’introduzione allo special issue [Online] <https://www.anycorp.com/store/log50> (Ultima consultazione: 13 febbraio 2023).

ai comportamenti che inducono"⁴⁴². Una seconda visione, più storicizzata, sull'uso del modello nell'architettura secondo accezioni simili è fornita da Matthew Mindrup, la cui ricerca indaga i modelli come *"strumenti per testare, perfezionare e illustrare le idee sull'architettura"* ma anche come mezzi per *"significare, simulare, registrare, istruire, ispirare e generare progetti di architettura"*⁴⁴³, cioè, in sintesi, come mezzi per supportare la progettazione.

Modelli della disciplina progettuale

Già in questi due esempi, si può notare il progressivo allargamento del significato assegnato alla parola modello, che oggi annovera oggetti per rappresentare il progetto, per comprenderlo, per comunicarlo, per spiegarlo e altro. Ciò permette di chiarire che nell'ambito dell'approccio parametrico non è centrale il concetto di modello come *"oggetto che si deve ripetere tal qual è"* nella sua dualità con il concetto di *"tipo"*, proposto dalla fondamentale definizione di Quatremère de Quincy⁴⁴⁴. Tuttavia, tra i riferimenti tracciati nei due capitoli precedenti, è possibile individuare dei modi di praticare l'approccio parametrico che ambiscono a ricondurre il processo progettuale a un modello di azioni da ripetersi proprio *"tal qual è"*. A titolo di esempio, i rigidi punti della ricerca operativa (cfr. nota n. 226, p.94) propongono di risolvere i problemi progettuali per mezzo di una serie ben definita di fasi consequenziali che, se espletate con rigore, conducono a una soluzione che si suppone essere ottimale. Questa rigidità diventa decisamente più labile nell'interpretazione della ricerca operativa proposta da Moretti nell'ambito del progetto di architettura, il quale propone un modello progettuale basato su tre step logici:

1. DEFINIZIONE DEL TEMA;
2. INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI INTERFERENTI NEL TEMA;
3. DEFINIZIONE DELLE RELAZIONI ANALITICHE TRA LE GRANDEZZE DIPENDENTI DAI VARI PARAMETRI⁴⁴⁵.

⁴⁴² Tradotto da: *"Model Behavior interrogates models in this expanded sense: what are their values, their behaviors, and the behaviors they elicit"*.

Estratto dall'introduzione allo special issue [Online] <https://www.anycorp.com/store/log50> (Ultima consultazione: 13 febbraio 2023).

⁴⁴³ Mindrup, M. (2019), *The architectural model. Histories of the miniature and the prototype, the exemplar and the muse*, MIT Press: Cambridge, p. 1.

⁴⁴⁴ Quatremère de Quincy, A.C. (1788), "Type", in *Encyclopédie Méthodique-Architecture*, vol. 3, Paris 1788-1825.

⁴⁴⁵ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 11.

Un ulteriore esempio di approccio parametrico attuato per mezzo di modelli da ripetere “*tal qual è*”, a cui è però associata una parte di condizioni al contorno variabili, è invece rintracciabile nei *pattern language* di Alexander, i quali propongono di attuare il progetto di architettura attraverso la combinazione di più strategie, considerabili dei veri modelli, per risolvere problemi progettuali (Cfr. nota n. 269, p.109).

Seguendo la trattazione di Mindrup - che è tra le più ampie per estensione temporale e campo di interesse ma non è centrata sui temi dell’approccio parametrico e del digitale - è possibile notare come alle origini del concetto di modello, inevitabilmente, vi sia la sua possibile fisicità, nonché la sua utilità a valle del processo progettuale. Prima ancora di essere considerato un modo di pensare l’architettura, o un concetto da ripetere “*tal qual è*”, il modello è un artefatto fisico utile a descrivere “*strutture esistenti, fantastiche o per proporre nuove strutture che un modellatore crea per un committente, un cliente o un costruttore da usare sia in modi pratici che immaginari (sic.)*”⁴⁴⁶. In questa concezione, di cui si trovano gli estremi di esempi applicativi già in Vitruvio⁴⁴⁷, il ruolo principale del modello non è il supporto alla progettazione architettonica, bensì la comunicazione dei suoi risultati. Ma l’uso del paradigma del “modellare per comunicare” non appare utile nell’ambito della costruzione di una personale narrativa dell’approccio parametrico, in quanto al modello inteso secondo questa accezione non è riconosciuta la possibilità di condizionare il prodotto del progetto. Mindrup prosegue la sua trattazione riflettendo sui “*modelli come mezzo per la fantasticheria (sic.) architettonica*” guardando ai modi con cui “*i loro materiali o metodi di fabbricazione permettono loro di diventare più che semplici rappresentazioni inerti di strutture stimolando idee architettoniche*”⁴⁴⁸. Nell’ambito di questa concezione, il concetto di modello inizia ad acquisire un profilo di utilità nella pratica progettuale per diverse ragioni come la capacità di anticipare la visualizzazione dell’artefatto da progettare nonché la possibilità di essere utilizzato come palinsesto per testare soluzioni architettoniche. Ma, sempre nell’ambito del

⁴⁴⁶ Tradotto da: “*models of existing, fantastic, or proposed structures which a modeler creates for a patron, client, or builder to use in both imaginary and practical ways*”.

Mindrup, M., *The architectural model. Histories of the miniature and the prototype, the exemplar and the muse*, p. 6.

⁴⁴⁷ Cfr. Vitruvio, *De Architettura*, libro X.

⁴⁴⁸ Tradotto da: “*models as a medium for architectural reverie, taking a closer look at the ways in which their materials or methods of fabrication enable them to become more than simple inert depictions of structures and to provoke imaginative architectural ideas*”.

Mindrup, M., *The architectural model. Histories of the miniature and the prototype, the exemplar and the muse*, p. 6.

“modello come mezzo per la fantasticheria”, Mindrup propone un paradigma che potrebbe avere un profilo di utilità per la comprensione di alcuni modi proprio dell’approccio parametrico: il *“modello onirico”*. Con questa dizione si intende la possibilità che il modello, anche se fisico, non descriva fedelmente l’artefatto architettonico, bensì una sua astrazione, aspetto comune a numerose declinazioni dell’approccio parametrico.



Fig. 28. Frank Gehry, modello di studio per la Miss Brooklyn tower, 2004. Tale esempio è descritto da Mindrup come *“modello onirico”*⁴⁴⁹.

Al modello fisico può anche essere assegnata una dimensione informativa, come suggerito in un interessante collegamento proposto da Garber tra i processi attuati dal *Master Builder* medievale e i processi attuati nell’ambito del *Building Information Modelling*⁴⁵⁰. In questa concezione, esposta da Garber utilizzando come esempio il lavoro di Brunelleschi per Santa Maria del Fiore, il modello è il luogo di coordinamento delle informazioni sul progetto,

⁴⁴⁹ Mindrup, M., *The architectural model. Histories of the miniature and the prototype, the exemplar and the muse*, p. 54.

⁴⁵⁰ Garber, R. (2014), “The master builder and information modelling”, in Garber, R., *BIM Design. Realising the creative potential of building information modelling*, Chichester: Wiley, pp. 28-43.

a cui possono e devono accedere le varie figure del processo progettuale, riservando ad alcune di esse la possibilità di modificarlo. La prossimità rispetto all'approccio parametrico, in questo caso, emerge quando il modello da semplice contenitore di informazioni, come nei modelli fisici di Brunelleschi, diventa un contenitore di informazioni correlate tra di loro, come nel *BDS* di Eastman (Cfr. nota n. 337, p. 134), nel quale strutturare la conoscenza dell'oggetto in progettazione. Si può quindi riconoscere che ancora oggi studiosi le cui ricerche sono prevalentemente centrate sulla dimensione digitale nel progetto di architettura propongono un dialogo serrato con la storia e le origini della disciplina del progetto. D'altronde, già Alberti aveva assegnato al modello fisico un valore operativo nella pratica del progetto nel *De Re Aedificatoria*:

L'USO DI TALI MODELLI PERMETTE DI AVERE SOTTO GLI OCCHI NEL MODO PIÙ CHIARO LA DISPOSIZIONE ORDINATA DI TUTTI QUEGLI ELEMENTI CHE ABBIAMO DESCRITTO NEL LIBRO PRECEDENTE: LA POSIZIONE RISPETTO ALL'AMBIENTE, LA DELIMITAZIONE DELL'AREA, IL NUMERO DELLE PARTI DELL'EDIFICIO E LA LORO DISPOSIZIONE, LA CONFORMAZIONE DEI MURI, LA SOLIDITÀ DELLE COPERTURE, ETC. INOLTRE SARÀ LECITO QUI SENZA PERDITA ALCUNA APPORTARE AGGIUNTE, DIMINUZIONI, SCAMBI DI POSIZIONE, SOLUZIONI NUOVE, ANCHE SCONVOLGERE L'ASSETTO PRIMITIVO, FINO A RAGGIUNGERE LA SISTEMAZIONE CHE CONVENGA E SODDISFI COMPLETAMENTE⁴⁵¹.

Per fugare ogni possibile equivoco è utile precisare che non si riportano le posizioni dell'Alberti sui modelli fisici con lo scopo di asserire che già egli aveva anticipato concetti dell'approccio parametrico. Tali posizioni sono richiamate allo scopo di sollecitare una riflessione sul fatto che i modelli (eventualmente digitali) propri dell'approccio parametrico potrebbero essere adoperati come luogo per valutare differenti soluzioni progettuali, nonché come luogo per validare, verificare e testare la bontà delle diverse soluzioni progettuali. Scrive ancora Alberti:

AGGIUNGO QUI UNA CONSIDERAZIONE CHE MI SEMBRA MOLTO A PROPOSITO: L'ESIBIRE MODELLI COLORATI, O RESI ATTRAENTI DA PITTURE, INDICA CHE L'ARCHITETTO NON INTENDE GIÀ RAPPRESENTARE SEMPLICEMENTE IL SUO PROGETTO, BENSÌ PER AMBIZIONE CERCA DI ATTRARRE CON ESTERIORITÀ L'OCCHIO DI CHI GUARDA, DISTRAENDONE LA MENTE DA UNA PONDERATA DISAMINA

⁴⁵¹ Alberti, L. B., *De re aedificatoria*, I. II, cap. 1. Tradotto in Orlandi, G., *L'architettura. De Re Aedificatoria*, p.96.

DELLE VARIE PARTI DEL MODELLO PER RIEMPIRLA DI MERAVIGLIA. MEGLIO QUINDI CHE SI FACCIANO MODELLI NON GIÀ RIFINITI IMPECCABILMENTE, FORBITI E LUCENTI, MA NUDI E SCHIETTI, SÌ DA METTERE IN LUCE L'ACUTEZZA DELLA CONCEZIONE, NON L'ACCURATEZZA DELL'ESECUZIONE⁴⁵².

Ancora una volta, attraverso le parole di Alberti, è possibile delineare un possibile aspetto operativo dell'approccio parametrico. Dalle equazioni e plastici di Moretti, alle pionieristiche applicazioni informatiche di Negroponte, passando dagli *hanging models* di Gaudì fino a uno script scritto *from scratch* in Grasshopper, il modello parametrico è, tendenzialmente, “*nudo e schietto*”. Esso è spesso costruito nella consapevolezza che non conviene sempre descrivere fedelmente l'artefatto architettonico in quanto può essere più efficiente ricrearlo per mezzo di astrazioni, semplificazioni, discretizzazioni. Di conseguenza, i modelli parametrici non sono adoperati per mostrare “*l'accuratezza [della loro] esecuzione*”, ben sì per chiarire “*l'acutezza [della loro] concezione*”.

Prima di discutere i possibili paradigmi dei modelli digitali, è opportuno riconoscere che il concetto di modello può fare riferimento anche alle diverse nature dei processi decisionali sottesi al progetto di architettura. Nella sua trattazione Saggio, prima di affrontare i modelli più aderenti alla *rivoluzione informatica in architettura*, richiama una triade di *modelli decisionali: oggettivi, prestazionali, strutturalisti*⁴⁵³. Assegnando al concetto di modello decisionale il significato di un supporto per gestire e operare scelte di progettazione, Saggio indentifica, inoltre, un *modello orientativo* nel concetto di “tipo”. Per meglio declinare quest'ultima visione del modello, Saggio richiama la concezione di “tipo” data da Jean-Nicolas-Louis Durand nell'ambito dell'insegnamento della disciplina architettonica nei politecnici francesi, secondo cui esso è uno “*schema di base che conteneva un insieme di strutturazioni geometriche, distributive e costruttive*”⁴⁵⁴. A questo concetto può anche essere riconosciuta la capacità di condurre alla generazione di soluzioni progettuali, e quindi il *modello orientativo* assume il significato di una astrazione non da copiare, bensì da “adattare” ai casi specifici⁴⁵⁵.

⁴⁵² Alberti, L. B., *De re aedificatoria*, I. II, cap. 1. Tradotto in Orlandi, G., *L'architettura. De Re Aedificatoria*, p.98.

⁴⁵³ Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, p.78.

⁴⁵⁴ Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, p.78.

⁴⁵⁵ Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, p.78.

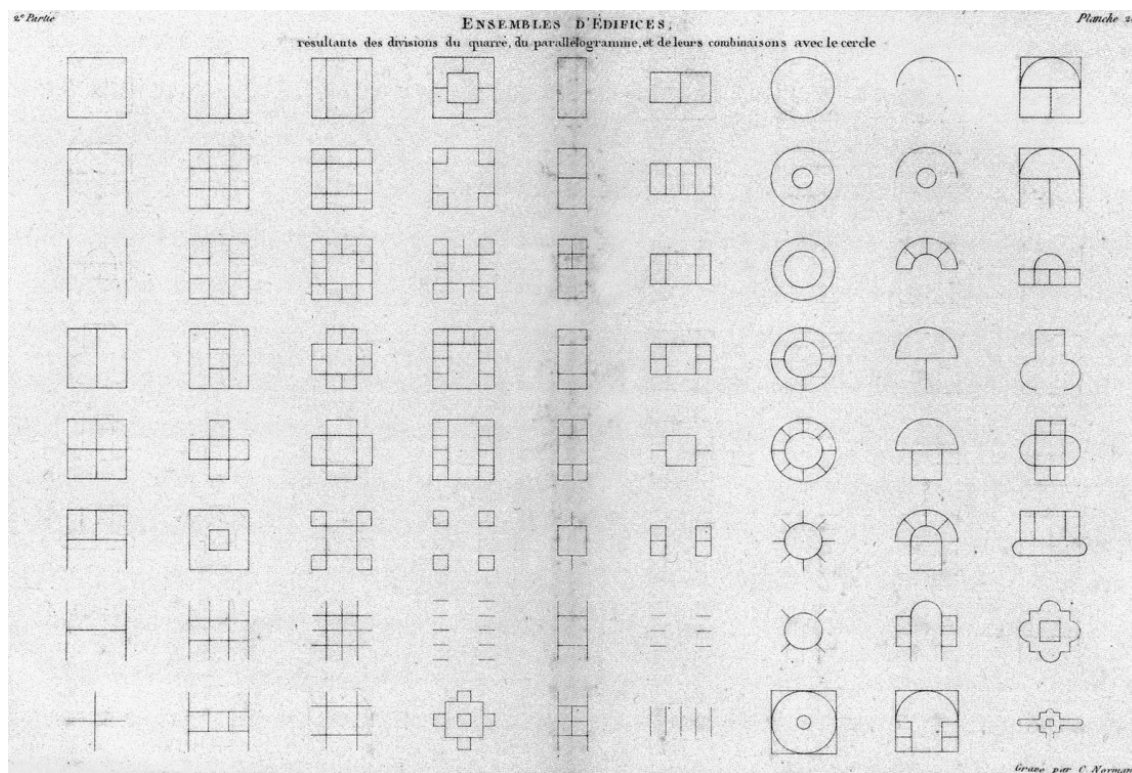


Fig. 29. Jean-Nicolas-Louis Durand, tavola su "Ensembles d'edifices"⁴⁵⁶.

La semplice dicotomia tra modello "da ripetere tal quale è"⁴⁵⁷ e modello orientativo "da adattare" non è più attuale nel Novecento, principalmente per il portato della visione funzionalista dell'architettura. Le decisioni del progetto di architettura possono essere affrontate, secondo Saggio, per mezzo di un modello che "postula dei bisogni oggettivi e trova delle soluzioni oggettive"⁴⁵⁸. Tale modello, detto *oggettivo*, è esemplificato nella progettazione per mezzo dell'assunzione di dati certi, come i minimi funzionali, da cui derivano prescrizioni ben definite il cui rispetto implica la correttezza del progetto. Saggio esemplifica questo modello nel lavoro di Alexander Klein, negli architetti funzionalisti tedeschi degli anni Venti, nel concetto di manuale come strumento di progetto incarnato dal Neufert⁴⁵⁹.

Al modello oggettivo corrisponde una visione delle decisioni progettuali di tipo consequenziale, definibile come "ad albero", che fornisce indicazioni su come "deve essere il progetto". È però possibile affrontare il progetto a partire da indicazioni su cosa esso "deve soddisfare" e su come esso "deve comportarsi". Accettare tale modello decisionale conduce

⁴⁵⁶ Durand, J. N. L. (1802), *Precis des Leçons d'Architecture*, plate 20.

⁴⁵⁷ Quatremère de Quincy, A.C. (1788), "Type", in *Encyclopédie Méthodique-Architecture*, vol. 3, Paris 1788-1825.

⁴⁵⁸ Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, p.78

⁴⁵⁹ Neufert, E. (1936), *Bauentwurfslehre*, Berlino.

all'adozione di un *modello prestazionale*, che Saggio fa risalire alle già richiamate ricerche di Christopher Alexander negli anni Sessanta (vedi la parte dedicata a *Notes on the Synthesis of the form* nel paragrafo 2.2). Il modello prestazionale, quindi, prevede l'estensiva esplicitazione di tutti i possibili requisiti progettuali, associando ad essa una dimensione relazionale definita da Alexander come a "semi-lattice" (traducibile in "a rete"), ben più aderente alla realtà rispetto agli schemi "albero" ⁴⁶⁰.

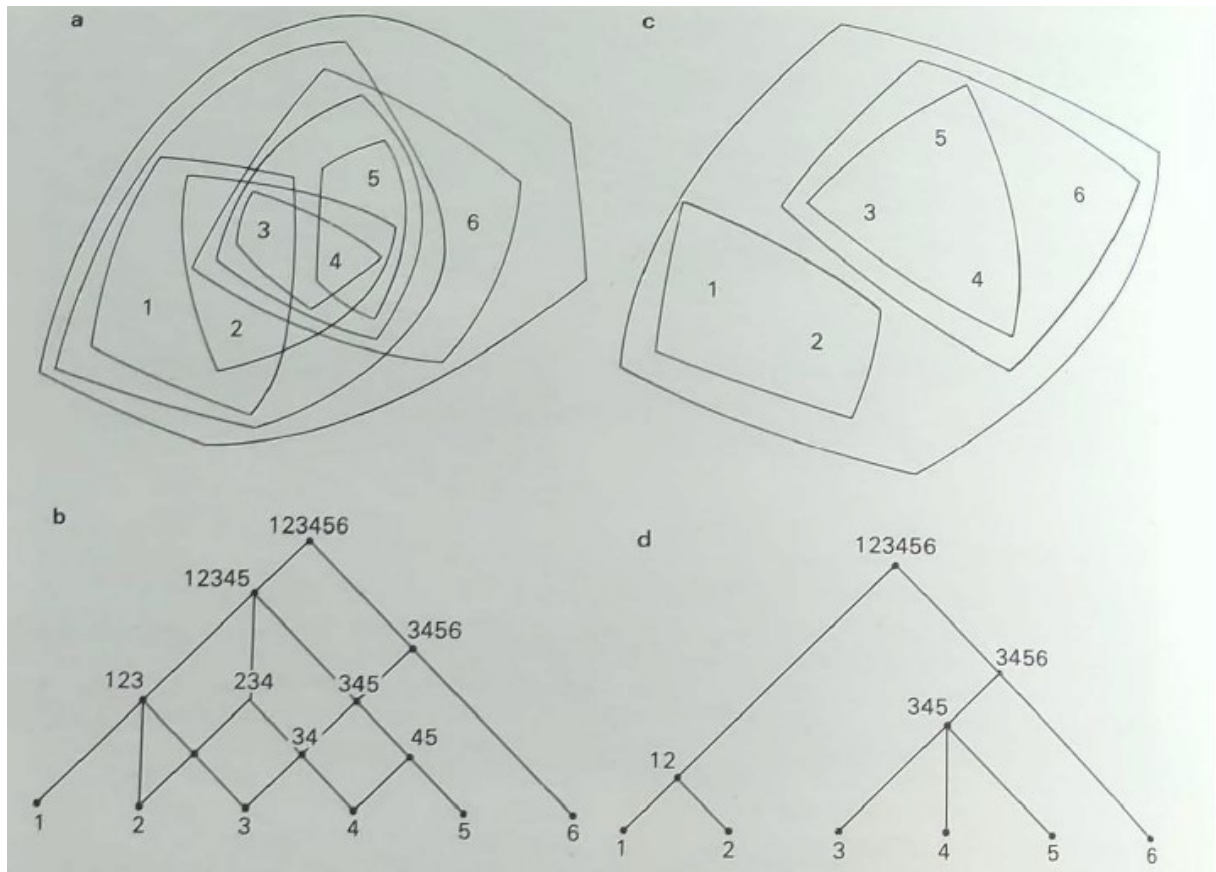


Fig. 30. Christopher Alexander, strutture "a lattice" (sinistra) e strutture ad albero (destra).

Un terzo tipo di modello decisionale riconosciuto da Saggio è quello strutturale o strutturalista, le cui radici sono da egli ricondotte al pensiero di Claude Lévi Strauss e di John Habraken. Saggio afferma che il modello strutturalista è caratterizzato dall'esistenza di alcune "strutture fisse", costanti, e di aspetti variabili che agiscono nell'ambito delle possibili modificazioni delle strutture fisse: progettare per mezzo di modelli strutturalisti vuol dire, sempre secondo Saggio, attuare una "gerarchia delle scelte"⁴⁶¹. Si può tentare di rendere più

⁴⁶⁰ Alexander, C. (1965), "A City is Not a Tree", *Architectural Forum*, vol. 122, no. 1, pp 58-62.

⁴⁶¹ Saggio, A., *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, p.78

chiaro questo passaggio utilizzando le parole di Eco, il quale propone che *“il modello strutturale interviene per ridurre a discorso omogeneo esperienze difformi”*⁴⁶², un po' come sotteso alle ambizioni di questo studio. Prescindendo dalla rilevanza dell'impatto dello strutturalismo su molte declinazioni della cultura progettuale, negli anni Sessanta e Settanta ma anche più di recente, interessa qui richiamare il pensiero di Saggio allo scopo di chiarire che il modello è strutturalista se esso è un dispositivo per ordinare l'eterogenea molteplicità dell'esperienza, ma soprattutto, se permette di abbracciare e assecondare la molteplicità dei fatti sottesi alla pratica progettuale.

Ancora una volta, è possibile inquadrare diversi possibili modi di praticare l'approccio parametrico nell'ambito di una tradizione ad esso apparentemente lontana. L'approccio parametrico, nella relazione con i modelli di cui si serve, è *oggettivo* nella misura in cui esso è condotto per mezzo di una concatenazione di azioni ben definite, è *prestazionale* quando crea un quadro delle relazioni dei requisiti che la soluzione progettuale deve soddisfare (e non solo un quadro delle relazioni sottese alla generazione della forma architettonica), ed è *strutturalista* quando ambisce ad essere il luogo dell'organizzazione del sapere del progetto. Di nuovo, si ribadisce che nella trattazione sull'approccio parametrico proposta da chi scrive la presenza o l'assenza di caratteristiche riconducibili a questi modelli rientra nell'autonomia con cui si costruisce una propria narrativa progettuale.

La trattazione sulla stratificazione dei significati e concetti di modello può proseguire interrogandosi sui possibili modi con cui essi sono utilizzati nell'ambito del progetto di architettura, con particolare riferimento alle modalità con cui essi generano, ed eventualmente validano, le soluzioni progettuali. Ciò significa classificare i modelli in base alla natura delle loro inferenze, cioè le forme *“di ragionamento con cui si dimostri il logico conseguire di una verità da un'altra”*⁴⁶³. Questo aspetto, affinché la trattazione sia utile nell'ambito dell'approccio parametrico, può quindi essere affrontato rispetto alla dicotomia

⁴⁶² Scrive Eco: *“Dai primi tentativi delle scienze linguistiche alle investigazioni di Lévi-Strauss sui sistemi di parentela, il modello strutturale interviene per ridurre a discorso omogeneo esperienze difformi. In tal senso il modello si propone come procedimento operativo, il solo modo possibile per ridurre a discorso omogeneo l'esperienza viva di oggetti difformi, e quindi una sorta di verità logica, di ragione e non di fatto; un elaborato metalinguistico che consente di parlare di altri ordini di fenomeni come sistemi di segni”*.

Eco, U. (1968), *La struttura assente. La ricerca semiotica e il metodo strutturale*, Milano: Bompiani, p. 285.

⁴⁶³ Treccani, *“Inferenza”*, [Online]. <https://www.treccani.it/vocabolario/inferenza/> (Ultima consultazione: 15 febbraio 2023).

tra processo deduttivo e induttivo come già proposto da Saggio⁴⁶⁴. Il modello assume una valenza induttiva se, per mezzo di esso, la soluzione progettuale è derivata a seguito di una concatenazione di fatti e certezze fortemente interrelati. Inquadrando questo processo nell'ambito dell'inferenza induttiva, utilizzare un modello in termini induttivi significa procedere da fatti particolari verso una soluzione generale. Per chiarire ciò, è possibile dire che progettare in termini induttivi vuol dire adottare un *"approccio if...then; cioè acclarata una condizione ne [consegue] una logica conseguenza in successione lineare"*⁴⁶⁵. Ma tale modo di operare è sicuramente più fruttuoso quando il progettista si muove nell'ambito di palinsesti teorici estremamente solidi, come quelli dei modelli oggettivi, capaci di fornire quei fatti certi a partire dai quali costruire l'inferenza induttiva. Come ben noto, l'inferenza induttiva è da contrapporsi all'inferenza deduttiva. Nell'ambito del progetto di architettura, sempre secondo Saggio, procedere con un atteggiamento deduttivo significa assumere un *"particolare meccanismo generatore [cioè] lanciare delle 'ipotesi' nella realtà e mettere queste ipotesi a confronto con un insieme di elementi e di strumenti di verifica"*⁴⁶⁶. Ciò significa che nei modelli decisionali deduttivi la soluzione architettonica non è derivata a seguito di una logica concatenazione di certezze, ma è prima ipotizzata e, successivamente, verificata procedendo quindi per mezzo del paradigma *"what-if"*. Per Saggio, è questo *"il modo di pensare della contemporaneità: non più sistemi ideologici e teorici prefissati, ma una serie di domande e di ipotesi proiettate prima e verificate poi sul reale"*⁴⁶⁷. Questa digressione sui concetti di induttivo e deduttivo permette di chiarire due possibili modalità d'uso dei modelli dell'approccio parametrico: da un lato, procedere per *"sommatorie di fatti ed esigenze"*⁴⁶⁸, come proposto nelle declinazioni vicine alla ricerca operativa, e dall'altro procedere per ipotesi da porre a verifica, come nella generazione randomica di soluzioni progettuali proposta da diversi pionieri del digitale in architettura. In realtà, vi è un gradiente di possibilità tra l'induttivo e il deduttivo, come testimoniato, a titolo di esempio, da diversi modelli di *form-finding*, che sono costruiti a seguito di inferenze induttive (basate sull'osservazione del

⁴⁶⁴ Cfr. Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 80.

Per una ulteriore visione più generale temi della deduzione e dell'induzione nel progetto di architettura slegata dal panorama del digitale, si suggerisce: Amirante, R. (2018), *Il progetto come progetto di ricerca. Un'ipotesi*, Siracusa: LetteraVentidue; Amirante, R. (2014), "Abduzione e valutazione", *op. cit.. Selezione della critica d'arte contemporanea*, no. 150, pp. 5-18.

⁴⁶⁵ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 80.

⁴⁶⁶ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 80.

⁴⁶⁷ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 81.

⁴⁶⁸ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 81.

comportamento degli *hanging models*) ma sono utilizzati in modo deduttivo (generando molteplici soluzioni progettuali fino a individuarne una soddisfacente).

Modelli della rivoluzione digitale

Quanto detto finora in questo paragrafo permette di affrontare con piena consapevolezza il significato che modello – e dunque anche il modellare – assume nell’ambito di quelle declinazioni del progetto di architettura più dipendenti dalla tecnica del digitale. Si ritiene utile, ai fini di questa ricerca, limitarsi a tracciare alcuni aspetti di questa concezione, ovvero quelli che si traducono in aspetti operativi riscontrabili anche nell’approccio parametrico. È possibile iniziare questa discussione riconoscendo un uso meno ambizioso, ma estremamente diffuso, del modello digitale come una tecnologia abilitante per migliorare (e non solo aggiornare) l’attuazione del progetto di architettura. Ciò significa che il modello digitale può essere introdotto nel progetto di architettura per mezzo della semplice computerizzazione dei suoi strumenti, con particolare riferimento alla tecnica del disegno. In termini pratici, quest’uso del modello digitale si traduce in una generale maggiore efficienza dei modi con cui si generano, validano, verificano e gestiscono le idee progettuali, ma sarebbe semplicistico considerare ciò come un profondo aggiornamento, o una rivoluzione, della pratica progettuale. Nonostante ciò, è possibile riconoscere che l’approccio parametrico può manifestarsi per mezzo dell’uso di complessi *script* e algoritmi che, se analizzati rispetto a ciò che fanno, appaiono limitarsi a tradurre in logiche computazionali pratiche che potrebbero essere svolte anche utilizzando gli strumenti tradizionali del progetto, seppur con una efficienza minore e in tempi più lunghi. Un esempio di ciò è la ricerca formale per mezzo di *tasselazioni*, che, teoricamente, potrebbero essere costruite anche manualmente.

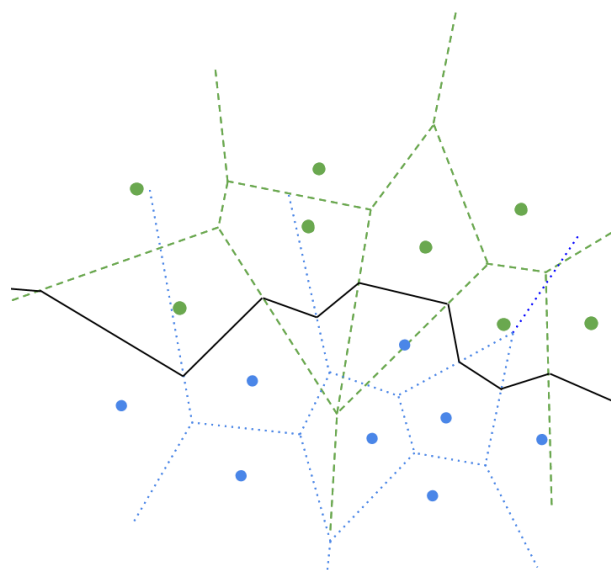


Fig. 31. Esempio di Diagramma di Voronoi. Esso è una particolare tassellazione i cui risultati formali sono estremamente riconoscibili nell'ambito dell'approccio parametrico⁴⁶⁹.

In ogni caso, è necessario riconoscere che anche questa modalità d'uso del modello digitale, definita come meno ambiziosa, produce cambiamenti cognitivi nei modi in cui è praticato il progetto. La *predisposizione alla variazione* dei modelli digitali, anche quando operano attraverso la semplice computerizzazione degli strumenti del disegno, suggerisce, inevitabilmente, una convenienza nella generazione di ipotesi progettuali per approcci deduttivi anziché induttivi.

Nell'ambito digitale, la concezione del modello non più come oggetto rigido e statico bensì come oggetto facilmente modificabile e predisposto alla variazione è, come riconosciuto anche da Saggio, un aspetto di "*facile comprensione*"⁴⁷⁰. Sempre per Saggio

PIÙ LENTA È LA CONSAPEVOLEZZA CHE LA NOVITÀ [DEI MODELLI DIGITALI] NON CONSISTE TANTO NELLA FACILITÀ DEL "CAMBIAMENTO" QUANTO NEL FATTO CHE LE INFORMAZIONI ASSUMONO UNA CONNOTAZIONE "DINAMICA"; I DATI ELETTRONICI POSSONO CIOÈ VENIRE MANIPOLATI NON SOLTANTO NELLA LORO SINGOLARITÀ, MA SOPRATTUTTO NELLE LORO RELAZIONI D'INSIEME⁴⁷¹.

Utilizzare il modello digitale per computerizzare alcuni aspetti del processo progettuale può quindi essere inquadrato come una *innovazione incrementale*, cioè come una serie di

⁴⁶⁹ Crediti: Thomazthz.

⁴⁷⁰ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 82.

⁴⁷¹ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 82.

successivi e progressivi miglioramenti rispetto a un processo già esistente. Invece, utilizzare il modello digitale assegnando un ruolo centrale alla sua connotazione dinamica è inquadrabile come una *innovazione di processo* in quanto è, potenzialmente, un nuovo modo di pensare il progetto di architettura.

Mentre gli effetti della concezione dinamica del modello digitale sono facilmente individuabili nella contrazione temporale tra l'espressione di una volontà di variazione e la visualizzazione e verifica degli effetti derivanti da tale volontà, sono sicuramente più impliciti i nuovi modi di pensare che essa impone. Il paradigma più diffuso per ottenere la dinamicità del modello è la costruzione di una struttura gerarchica per la forma architettonica i cui elementi costitutivi assumono diversi nomi in base all'ambiente software nel quale si conduce la progettazione: *blocks, components, primitives, instances, objects, classes, slaves, masters* etc. Per questo aspetto, già indagato al capitolo 2 nell'ambito della programmazione orientata agli oggetti, è necessario riconoscere che l'adozione di un modello digitale può comportare l'abbandono del paradigma WYSIWYG ("what you see is what you get") tipico del disegno tradizionale e della sua computerizzazione. Ciò significa che nella concezione dinamica del modello digitale, il progettista potrebbe esser costretto a operare senza poter modificare direttamente l'ipotesi progettuale bensì modificando la struttura astratta che la descrive.

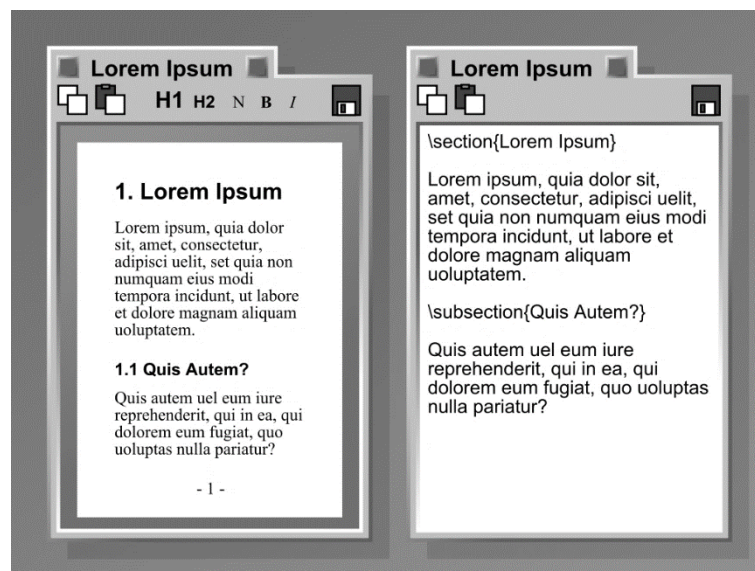


Fig. 32. A sinistra un editor testuale funzionante attraverso il paradigma WYSIWYG. A destra un editor testuale non-WYSIWYG.

La struttura gerarchica della forma architettonica, suggerita dai modelli digitali dinamici, quindi *“crea un ‘modello vivo’ inconcepibile con gli strumenti tradizionali che permette simultaneamente molte attività fondamentali per la ricerca in architettura”*⁴⁷². Questo portato della tecnica del digitale ha un impatto sui metodi del progetto di architettura in quanto, continuando a riflettere sulle tracce della trattazione di Saggio, apre due principali possibilità. Una prima possibilità è progettare assegnando un ruolo centrale alla *“filosofia della simulazione”*, che, operativamente, spinge a introdurre nel modello digitale delle ipotesi formali preesistenti da testare, analizzare, verificare e valutare. In questa filosofia, la soluzione progettuale è costruita per mezzo di un suo progressivo affinamento guidato dai feedback delle simulazioni condotte su di essa. Una seconda possibilità è progettare assegnando un ruolo centrale alla *“filosofia processuale”* che, operativamente, suggerisce la costruzione di modelli digitali che rendono esplicite le relazioni sottese alle strategie con cui si promette di risolvere il problema architettonico. In questa filosofia, *“il modello non tende a simulare e poi a verificare l’efficacia e l’ottimizzazione di tutta una serie di sottocomponenti del progetto, ma diventa una guida metodologica, un diagramma, uno schema in progress”*⁴⁷³, con un chiaro riferimento al pensiero di Gilles Deleuze. In definitiva, da un lato *“lanciare”* delle ipotesi in un modello digitale la cui validità sarà verificata per mezzo di simulazioni, come esemplificato nel metodo di lavoro di Frank Owen Gehry, dall’altra usare il modello digitale per generare ipotesi da far evolvere, come esemplificato nel metodo di lavoro di Peter Eisenman⁴⁷⁴. Nell’ambito dell’approccio parametrico è però necessario riconoscere che le due possibilità citate non si escludono a vicenda, bensì si prestano all’ibridazione, generando una dimensione plurale nei modi di praticare il progetto di architettura.

Si propone di concludere questo paragrafo riportando una riflessione, già compiuta da chi scrive in altra sede⁴⁷⁵, sulle modalità con cui i modelli permettono prima di comprendere un problema architettonico e, successivamente, di orientarne la risoluzione verso il miglior risultato possibile rispetto a parametri qualitativi misurabili numericamente. Tale atteggiamento, cioè la ricerca dell’optimum progettuale, è considerabile uno dei motori

⁴⁷² Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 88.

⁴⁷³ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 90.

⁴⁷⁴ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 90.

⁴⁷⁵ Canestrino, G. (2021), *“Considerations on Optimization as an Architectural Design Tool”*, *Nexus Network Journal*, no. 23, pp. 919–931.

operativi dell'approccio parametrico ma al contempo è un dovere etico di ogni progettista, come già suggerito da Alberti, il quale esorta ogni architetto a

CONSIDERARE COME [SUO] DISONORE IL NON RIUSCIRE, PER QUANTO STA [A LUI], A FARE OPERA TALE CHE NON SE POSSA TROVARE UN'ALTRA PIÙ PIACEVOLE D'ASPETTO E PIÙ LODEVOLE, A PARITÀ DI SPESE E DI VANTAGGI⁴⁷⁶.

È possibile individuare due modalità d'uso del modello per praticare l'ottimizzazione del progetto. Una prima modalità prevede la creazione di *modelli interpretativi* capaci di rendere espliciti i meccanismi nascosti che legano gli elementi descrittivi dei problemi progettuali per poi derivarne logicamente la soluzione. In questa concezione, il modello assume un significato di derivazione scientifica, cioè di "*schema teorico che descrive un fenomeno o un insieme di fenomeni mettendone in evidenza le caratteristiche strutturali ritenute più rilevanti*"⁴⁷⁷. Modellare, nell'ambito di questa concezione, vuol dire associare al problema architettonico una forma di rappresentazione dei suoi elementi fondamentali e dei suoi fenomeni capace di condurre a una soluzione progettuale, percepita dal modellatore come migliore, a partire da una profonda comprensione del problema stesso. Ottimizzare, invece, significa adoperare processi che garantiscono, con un rigore che tende a una dimensione scientifica, di individuare effettivamente questa soluzione percepita come migliore. Tra le esperienze che rientrano in questa dimensione interpretativa affidata al modello le più rappresentative sono da rintracciarsi nell'ambito del *form-finding* strutturale, e di conseguenza nell'epopea del modello fisico per il progetto di strutture innovative magistralmente raccontata nel lavoro ricostruttivo condotto da Bill Addis⁴⁷⁸.

Recentemente, diverse innovazioni tecniche portate dal digitale hanno reso la creazione modelli interpretativi non più indispensabile per comprendere il funzionamento di un fenomeno. Queste innovazioni, derivanti in larga parte dall'aumento della disponibilità di dati da archiviare e analizzare unita al progredire degli strumenti computazionali per automatizzare tale attività, condurrebbero verso ciò che Christ Anderson ha profetizzato come

⁴⁷⁶ Alberti, L. B., *De re aedificatoria*, I. II, cap. 3. Tradotto in Orlandi, G., *L'architettura. De Re Aedificatoria*, p.106.

⁴⁷⁷ Garzanti, "Modello", [Online]. <https://www.garzantilinguistica.it/ricerca/?q=modello> (Ultima consultazione: 15 febbraio 2023).

⁴⁷⁸ Addis, B. (ed.) (2021), *Physical Models. Their historical and current use in civil and building engineering design*, Berlino: Ernst & Son.

la “fine della teoria”⁴⁷⁹. L’intuizione della “fine della teoria” è che è possibile comprendere un fenomeno analizzando, con un approccio statistico, i dati che esso produce. Ciò significa che anziché cercare di comprendere un fenomeno ipotizzando meccanismi di causazione, cioè relazioni tra causa ed effetto, è possibile limitarsi a ricercare correlazioni statistiche all’interno dei dati che produce. Questa intuizione, che già permea e plasma sempre più aspetti della contemporaneità⁴⁸⁰, si manifesta nel progetto di architettura suggerendo un diverso uso dei modelli digitali. Essi possono infatti essere costruiti con il fine di generare una grande quantità di dati relativi a un problema progettuale, in modo da risolvere tale problema a seguito di una analisi statistica dei dati che lo descrivono. Questa grande quantità di dati spesso consiste nella generazione di una importante quantità di alternative progettuali. È possibile chiarire questa inedita condizione della pratica progettuale richiamando un esempio proposto da Carpo relativo ai modi con cui ottimizziamo una struttura in assenza di una profonda comprensione del problema progettuale:

OGNI MODELLO SIMULATO, PROVATO E SCARTATO CORRISPONDE A UN MODELLO FISICO CHE UN ARTIGIANO TRADIZIONALE AVREBBE REALIZZATO, TESTATO E PROBABILMENTE ROTTO NELLA VITA REALE.

CON LE SIMULAZIONI DIGITALI DELLE PRESTAZIONI STRUTTURALI, INVECE, OGGI POSSIAMO REALIZZARE E ROMPERE SULLO SCHERMO IN POCHE ORE UN NUMERO MAGGIORE DI MODELLI PERFETTAMENTE FUNZIONANTI DI QUANTI UN ARTIGIANO TRADIZIONALE POTREBBE REALIZZARE E ROMPERE IN UNA VITA INTERA⁴⁸¹.

Questo atteggiamento di modellazione si manifesta nell’ambito dell’approccio parametrico quando quest’ultimo si serve di modelli costruiti per generare in tempi brevi e con processi automatizzati un elevato numero di alternative progettuali “da dare in pasto” a

⁴⁷⁹ Anderson, C. (2008), “The end of theory: the data deluge makes the scientific method obsolete”, *wired* [Online]. <https://www.wired.com/2008/06/pb-theory/> (Ultima consultazione: 15 febbraio 2023).

⁴⁸⁰ Canestrino, G. (2021), “Architettura e cultura algoritmica. Tra resistenza e abbandono alla pervasività del calcolo digitale”, *OFFICINA*, no. 35, pp. 42-47.

⁴⁸¹ Tradotto da: “every simulated model that was tried and discarded corresponds to a physical model that a traditional artisan would have made, tested, and likely broken in real life.

Using digital simulations of structural performance, however, today we can make and break on the screen in a few hours more full-size trials than a traditional craftsman would have made and broken in a lifetime”

Carpo, M. (2017), *The second digital turn: design beyond intelligence*, Cambridge: MIT Press, p.40.

Per un approfondimento delle posizioni di Carpo si suggerisce: Carpo, M. (2018), “Big Data and the End of History”, *International Journal for Digital Art History*, no. 3.

simulazioni e analisi con lo scopo di produrre i dati che saranno utilizzati per orientare le decisioni progettuali. È evidente che questo atteggiamento di modellazione pone in secondo piano la possibilità che gran parte di queste alternative progettuali non rappresentino delle soluzioni di qualità per il problema architettonico analizzato. Come sarà indagato nell'applicazione 0, l'associazione dell'approccio parametrico all'uso di *Evolutionary Multiobjective Optimization Algorithm* rappresenta una esemplificazione di questa modalità di affrontare il progetto.

La concisa ricognizione e discussione sui concetti di *modello* proposta in questo paragrafo ha voluto evidenziare come essi possano essere utili a particularizzare la propria narrativa progettuale nell'ambito dell'adozione dell'approccio parametrico. I diversi concetti di modello possono infatti determinare, nel momento in cui sono introdotti nella pratica progettuale, profondi condizionamenti rispetto alle sue inferenze, ai suoi processi decisionali, ai modi con cui sono generate o ricercate le soluzioni progettuali, ai modi con cui si gestiscono le informazioni e altro.

3.3. CODICI DEL CONTRASTO. SULLE CONNESSIONI TRA ANALOGICO E DIGITALE⁴⁸²

Questo lavoro di ricerca ha ampiamente argomentato l'inopportunità di considerare l'approccio parametrico come una visione del progetto di architettura strettamente legata alla condizione digitale, sottolineando attraverso diverse letture l'importanza della dimensione analogica. Il rapporto tra digitale e analogico, però, finora è stato affrontato su un piano prettamente tecnico e strumentale che potrebbe indurre a considerare questo rapporto in termini esclusivamente antitetici ed oppositivi. Una più profonda comprensione dei significati di analogico e digitale può, invece, rivelare una relazione dialettica tra essi, a cui si può guardare per la costruzione della propria narrativa progettuale. Il seguente paragrafo vuole quindi discutere la dicotomia tra analogico e digitale in quanto essa influenza i metodi di progetto, di produzione, di costruzione, nonché gli orizzonti formali, dell'architettura. Mettendo in evidenza la prossimità tra le fonti per lo studio di questa dicotomia e le fonti proprie dell'approccio parametrico, si propone di ipotizzare le conseguenze metodologiche derivanti dall'assumere una visione esclusivamente digitale o analogica del progetto di

⁴⁸² I contenuti di questo paragrafo sono stati in parte già affrontati dall'autore in: Canestrino, G. (2021), "Analogue-digital dialectics in architectural design. Towards renewed hypotheses of method", *AGATHÓN / International Journal of Architecture, Art and Design*, no. 10, pp. 56–67.

architettura e, successivamente, si ricercherà una possibile ibridazione dei metodi afferenti a questi due paradigmi.

I significati di digitale e analogico, quando associati al progetto di architettura, suggeriscono degli orizzonti metodologici ed estetici spesso antitetici. Ciò conduce a una generale incomunicabilità in cui l'architettura tende ad assumere solo uno dei due paradigmi come interlocutore privilegiato. Una prima, superficiale, riflessione associa il digitale, a causa della sua recente relazione con le tecnologie informatiche, ai valori dell'immateriale, dell'astratto, dell'intangibile. In una visione antitetica, l'analogico è associato alla dimensione materiale, concreta e tangibile. Ma al digitale afferiscono anche i significati di discreto, discontinuo, divisibile, i quali, seppur affini alle tecnologie informatiche, sono fondanti nei modi con cui il progetto ha da sempre conformato lo spazio architettonico. È possibile infatti affermare, con una certa semplificazione, che il progetto di architettura discretizza lo spazio operando una distinzione tra ciò che è forma costruita e ciò che non lo è. Analogico, invece, abbraccia anche il significato di "continuità nella variazione", esemplificato dagli studi di Darcy Thompson, i quali suggeriscono come in un'unica idea-progetto possano essere contenute diverse e prossimali forme architettoniche⁴⁸³.

Affrontare la dualità tra analogico e digitale, tra continuo e discreto, in termini oppositivi può condurre a un ritardo nell'aggiornamento di alcuni storici strumenti del progetto, nonché al mancato riconoscimento del potenziale trasversale di modi meno tradizionali di pensare l'architettura, tra cui l'approccio parametrico. Si propone, invece, per il progetto, che il digitale e l'analogico possano coesistere in una tensione dialettica, la quale ridisegna continuamente i confini dei due paradigmi. A questo scopo sono di seguito presentati i principali approcci della ricerca sulla dualità analogico-digitale in architettura dimostrando come per diversi autori il confine tra i due paradigmi è variabile e relativo sia negli approcci al progetto che nei suoi strumenti tecnici. Successivamente, in continuità con la già citata ipotesi di tensione dialettica tra digitale e analogico, è presentata una prima ipotesi di espansione dei campi di applicazione di alcuni strumenti di progetto concepiti per gestire la sola dimensione digitale o la sola dimensione analogica.

⁴⁸³ Cfr. Thompson, D. W. (1945), *On growth and form*, Cambridge: University Press.

Un primo obiettivo del paragrafo è affrontare la dualità tra analogico e digitale su un piano più culturale che tecnico, con lo scopo di rivelare come essa incide sui metodi del progetto di architettura. Nonostante si riconosca l'imprescindibilità degli strumenti digitali nella pratica del progetto di architettura, come testimoniano i recenti *Firm Survey Report* dell'American Institute of Architects⁴⁸⁴ e la recente *Open Letter to Autodesk*⁴⁸⁵, si ritiene che essi siano eccessivamente instabili nel breve periodo per poter esser posti alla base di un rinnovamento culturale duraturo. I tempi appaiono invece maturi per ricercare una trasversalità tra gli approcci mentali propri del digitale e dell'analogico. Un secondo obiettivo del paragrafo è quello di fornire un inquadramento culturale che permetta di distillare, a partire dal paradigma digitale, aspetti utili anche alla gestione di processi progettuali più inclini verso il paradigma analogico e viceversa.

Approcci alla ricerca della dualità analogico digitale in architettura

Un approccio di tipo storico-ricostruttivo è un primo, propedeutico, modo di indagare il rapporto tra digitale e analogico nel progetto di architettura. Le fonti per questo possibile approccio riguardano particolari media progettuali, come gli strumenti di disegno "premeccanici" o i primi software CAD, i quali possono essere studiati nei loro funzionamenti, nella loro diffusione, e soprattutto nella loro capacità di plasmare l'orizzonte estetico del progetto di architettura. Gli strumenti del progetto possono anche essere studiati nella loro capacità di "reificare", cioè di rendere concreto un qualcosa di astratto: la forma architettonica, come suggerito da Saggio⁴⁸⁶. Questa modalità di ricerca è inoltre in continuità con l'interesse di Zevi⁴⁸⁷ nel ricondurre gli strumenti del progetto, sia digitali che analogici, al patrimonio estetico ed espressivo che essi spontaneamente restituiscono e suggeriscono.

⁴⁸⁴ AIA – American Institute of Architects (2020), *The Business of Architecture – Firm Survey Report*. [Online] aia.org/resources/6151-firm-survey-report (Ultima consultazione: 17 settembre 2022).

⁴⁸⁵ AA.VV., *Open Letter to Autodesk* [online]. <https://the-nordic-letter.com/> (Ultima consultazione: 17 settembre 2022).

⁴⁸⁶ Saggio assegna a "reificazione" il significato di "riduzione a cosa materiale". Cfr. Saggio, A. (2007), "Reificazione", in Saggio, A. *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, Roma: Carocci, pp. 93-100.

⁴⁸⁷ Cfr. Zevi, B. (1973), "Strutture in oggetto, gusci e membrane", in Zevi, B., *Il linguaggio moderno dell'architettura. Guida al codice anticlassico*. Torino: Einaudi.

Lo studio di quei media premeccanici, dal libro stampato alle macchine per riprodurre disegni⁴⁸⁸, meno recenti rispetto al software digitale si dimostra ancora un terreno di ricerca fertile: ne è una riprova il successo della trattazione offerta da Carpo, interessata ai temi della variazione, dell'identico e del differente in architettura, la quale assume come tesi che *"la variabilità digitale e premeccanica presentano diversi punti in comune"*⁴⁸⁹. Lo studio storico-ricostruttivo delle origini degli strumenti digitali appare sicuramente più fecondo e promettente, in quanto territorio di ricerca relativamente giovane; ma proprio tale giovinezza deriva tuttavia un rapporto immaturo tra il progetto di architettura e l'archivistica digitale, il quale rischia di rendere inaccessibili alcune preziose fonti nonostante siano relativamente recenti. Ciò ha condotto il ricercatore-architetto a dotarsi di strumenti inediti, come quelli afferenti all'"*archeologia del software*", per comprendere più profondamente gli intenti e i metodi dei pionieri del digitale in architettura. Dalle recenti mostre *Archaeology of the Digital*⁴⁹⁰ e *The Architecture Machine*⁴⁹¹, entrambe interessate alla storia delle tecnologie informatiche in architettura, emerge un costante rapporto tra il digitale e l'analogico, espresso dalla ricerca di un dialogo tra il progettista e lo strumento digitale. Rispetto a questi temi assumono un inedito interesse di ricerca quegli strumenti di connessione tra l'analogico e il digitale, dalla Light Pen dello SketchPAD di Ivan Sutherland fino all'Universal Constructor di John Frazer.

⁴⁸⁸ Carpo, M. (1998), *Architettura nell'età della stampa. Oralità, scrittura, libro stampato e riproduzione meccanica dell'immagine nelle storie delle teorie architettoniche*, Milano: Jaca Book.

⁴⁸⁹ Estratto da: *"This book recounts the rise and fall of the paradigm of identity and shows that digital and premechanical variability have many points in common"*.

Carpo, M. (2011), *The alphabet and the algorithm*, Cambridge: MIT Press, p. X.

⁴⁹⁰ La mostra *"Archaeology of the Digital"* è stata presentata presso il Canadian Centre for Architecture e curata da Greg Lynn. Parte dei risultati sono pubblicati in: Lynn, G. (ed.) (2013), *Archaeology of the Digital*, Sternberg Press, Berlin.

⁴⁹¹ La mostra *"The Architecture Machine"* è stata presentata presso l'Architekturmuseum der TU München e curata da Teresa Fankhänel. Parte dei risultati sono pubblicati in: Fankhänel, T. & Lepik A. (eds.) (2020), *The architecture machine: the role of computers in architecture*, Basilea: Birkhäuser.

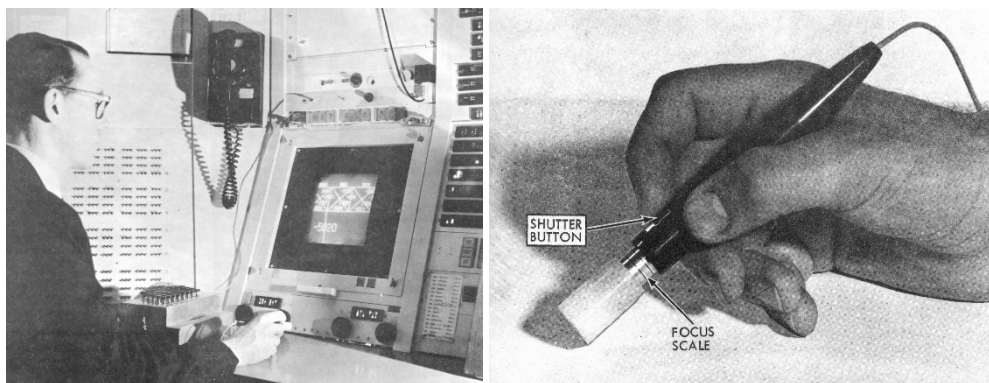


Fig. 33. Il software SketchPAD e il sistema di input "Light Pen"⁴⁹².

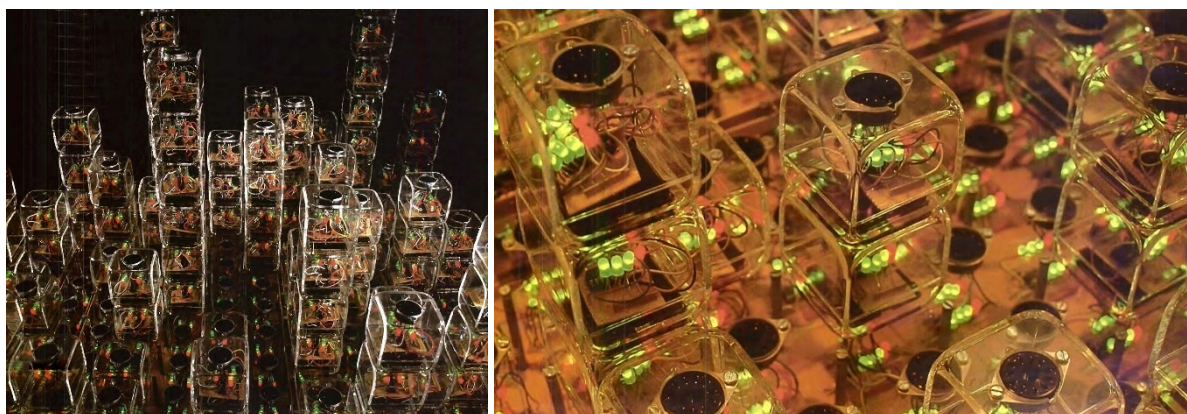


Fig. 34. John Frazer e Architectural Association Diploma Unit 11, 1995, *Universal Constructor* by John Frazer⁴⁹³.

Oltre allo studio di quelle che sono definibili come fonti dirette, cioè i reperti analogici, i software e l'archivio digitale collegati a un progetto, sono fondamentali anche quelle fonti che periodicamente hanno definito le possibilità e gli orizzonti di ricerca dei media digitali nel progetto di architettura. Le pubblicazioni di gruppi di ricerca come *il Computer-Aided Design Project* del MIT negli anni '60 oppure i più recenti testi della collana *La Rivoluzione Informatica* diretta da Antonino Saggio sono tra le ricerche che meglio raccontano le possibilità offerte dagli strumenti digitali e il loro inserimento nel processo progettuale. Anche queste ricerche, inoltre, periodicamente si interrogano sulla presenza, o sull'assenza, della dimensione analogica del progetto digitale.

⁴⁹² Sutherland, I. E. (1963), *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology [Tesi di dottorato] [Online]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/14979> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

⁴⁹³ Frazer, J. (1995), *An Evolutionary Architecture*, Londra: Architectural Association.

Dall'approccio storico-critico deriva un filone di ricerca interessato alle similitudini e differenze tra la contemporaneità, maggiormente legata al digitale, e i periodi storici dominati dalla strumentazione analogica. A titolo di esempio, Carpo propone più volte un confronto tra l'architetto contemporaneo e la codifica della professione di Leon Battista Alberti⁴⁹⁴ (già discussa in questo capitolo) mentre David Garber propone di accostare la figura del *Master Builder* medievale, incarnato dal Brunelleschi, al ruolo dell'architetto nel processo progettuale digitale⁴⁹⁵. I risultati di queste ricerche, oltre a continuare a mostrare la continuità tra analogico e digitale nel progetto, permettono una maggiore comprensione del perché esperienze basate sulla realizzazione e ottimizzazione di modelli analogici sono considerate come anticipatrici del paradigma digitale in architettura⁴⁹⁶ e forniscono una più profonda comprensione del ruolo dell'architetto rispetto a temi caldi come la "*authorship*" e la gestione della filiera del progetto.

Nonostante digitale e analogico siano due dimensioni apparentemente incompatibili, è possibile quindi tracciare delle continuità tematiche nei loro approcci al progetto. Ma è, tuttavia, necessario sottolineare gli aspetti di una particolare stagione, forse non ancora pienamente terminata, in cui alcuni collegamenti tra il virtuale e la costruzione si sono indeboliti: nel *Digital Turn*, nel quale è stato centrale l'approccio parametrico, si è assistito a un allontanamento del digitale dall'analogico, fino a, in alcune estremizzazioni, ridurre quest'ultimo a dimensione secondaria e ancillare del progetto di architettura. Quella iniziata negli anni '90 è una stagione dell'architettura in cui alcuni autori, per dare forma a quello che possiamo considerare come un importante patrimonio estetico ed espressivo, si liberano dalle inibizioni imposte dalla costruzione. In questo complesso quadro, autori che riconoscono la crescente inconsistenza del rapporto tra progetto digitale e costruzione analogica suggeriscono comunque posizioni possibilistiche, come Franco Purini il quale afferma che la "*rivoluzione digitale più che un evento inaspettato sia in realtà il naturale e inevitabile sviluppo della prospettiva*"⁴⁹⁷. Altri autori assumono posizioni più conservative assegnando gran parte

⁴⁹⁴ Cfr. Carpo, M., *The alphabet and the algorithm*; Carpo, M., *The second digital turn: design beyond intelligence*.

⁴⁹⁵ Garber, R. (2014), "The master builder and information modelling", in Garber, R., *BIM Design. Realising the creative potential of building information modelling*, Chichester: Wiley, pp. 28-43

⁴⁹⁶ Cfr. Canestrino, G., "Considerations on Optimization as an Architectural Design Tool".

⁴⁹⁷ Purini, F. (2003), "Digital Divide", in Sacchi, L. and Unali, M. (eds.), *Architettura e Cultura Digitale*, Milano: Skira, pp. 87-96.

dell'apporto del digitale all'architettura alla *"componente rappresentativa che va dall'iconico al semantico, dal virtuale al possibile"*, come ad esempio suggerito da Renato De Fusco⁴⁹⁸

Sul significato di Continuo e Discreto

Appare quindi necessario inquadrare la relazione tra digitale e analogico come una dualità più profonda del semplice scontro tra astratto e concreto. Come già anticipato, è possibile associare ad analogico e digitale i concetti di continuo e discreto per renderli rappresentativi di tematiche del progetto di architettura che superino i cambi di paradigma delle tecnologie informatiche. Gilles Retsin ha recentemente proposto, nella curatela di un numero monografico di *Architectural Design* intitolato *"Discrete – Reappraising the Digital in Architecture"*, che non vi è mai stata una chiara distinzione tra un approccio analogico e un approccio digitale nei modi di affrontare il progetto di architettura. Più precisamente, Retsin sostiene che *"non siamo mai stati digitali"*⁴⁹⁹ per sottolineare una generale tendenza a non pensare e progettare la forma architettonica come una organizzazione di parti discrete; ne consegue come gran parte degli approcci al progetto di architettura, seppur si servono di strumenti digitali, perpetuano una concezione analogica e continua della forma.

⁴⁹⁸ De Fusco, R. (2001), "Internet non s'addice all'architettura", *Op.cit., selezione della critica d'arte contemporanea*, n. 112, pp. 5-13.

⁴⁹⁹ Tradotto da: *"we have never been digital"*.

Retsin, G. (2016), "Discrete and Digital – A Discrete Paradigm for Design and Production", in Bieg, K. (ed.), *2016 TxA Emerging Design + Technology Conference Proceedings*, Texas Society of Architects, pp. 82-96.



Fig. 35. Gilles Retsin Archtiecture, 2017, Tallinn Architecture Biennale Pavilion. Un esempio di architettura digitale, realizzata con “materiali digitali”⁵⁰⁰.



Fig. 36. EZCT Architecture & Design, 2004, Sedia progettata per mezzo di algoritmo genetico. Un esempio di architettura digitale, realizzata con “materiali digitali”⁵⁰¹.

⁵⁰⁰ Crediti immagine: T. Tunnel.

⁵⁰¹ Crediti: dodeckahedron.

L'atto della costruzione è capace di fornire ulteriori elementi di discussione sul rapporto tra digitale e analogico: per Retsin una architettura è digitale se costruita con un *“materiale digitale”*, inteso come un assemblaggio di elementi discreti con limitate possibilità di connessione (Fig. 35 e Fig. 36) e perciò più vicino alle logiche fondanti del digitale. Retsin quindi deriva la sua concezione di *“materiali digitali”* a partire da quella di Gershenfeld, il quale afferma che essi *“sono assemblati da un insieme discreto di parti, unite reversibilmente in un insieme discreto di posizioni e orientamenti relativi”*⁵⁰². Di conseguenza, un materiale, è analogico se permette di ottenere una forma tramite l'aggiunta o la rimozione di materia con una variazione senza soluzione di continuità. Secondo queste definizioni, un chiaro esempio di materiale analogico è il prodotto di una stampa 3D o un setto in calcestruzzo, mentre un sistema di prefabbricazione caratterizzato da un numero finito di possibili connessioni e orientamenti spaziali è un esempio di materiale digitale. Associare il digitale a una tettonica discreta permette anche di riconsiderare le esperienze anticipatrici dell'approccio computazionale in architettura. Retsin sostiene la possibilità di tracciare un *“storia alternativa delle origini del digitale, bypassando Antoni Gaudì, Frei Otto e Greg Lynn”*⁵⁰³. Potrebbero quindi essere poste alle origini del digitale nel progetto di architettura delle esperienze intrinsecamente discrete, quali, come suggerito da Retsin⁵⁰⁴, l'ospedale di Venezia di Le Corbusier, l'orfanotrofio di Aldo van Eyck, la produzione seriale di Jean Prouvé, il minimalismo di Sol Lewitt.

⁵⁰² Tradotto da: *“These are assembled from a discrete set of parts, reversibly joined in a discrete set of relative positions and orientations. Unlike either additive or subtractive processes that continuously add or remove material, these attributes allow metrology to be determined locally by the parts, errors to be detected and corrected, materials with dissimilar properties to be used in a common process, and structures to be disassembled and reused”*.

Gershenfeld, N., Carney, M., Jenett, B., Calisch, S. and Wilson, S. (2015), *“Macrofabrication with Digital Materials – Robotic Assembly”*, *AD - Architectural Design*, vol. 85, issue 5, pp. 122-127.

⁵⁰³ Retsin, G., *“Discrete and Digital – A Discrete Paradigm for Design and Production”*.

⁵⁰⁴ Retsin, G., *“Discrete and Digital – A Discrete Paradigm for Design and Production”*.

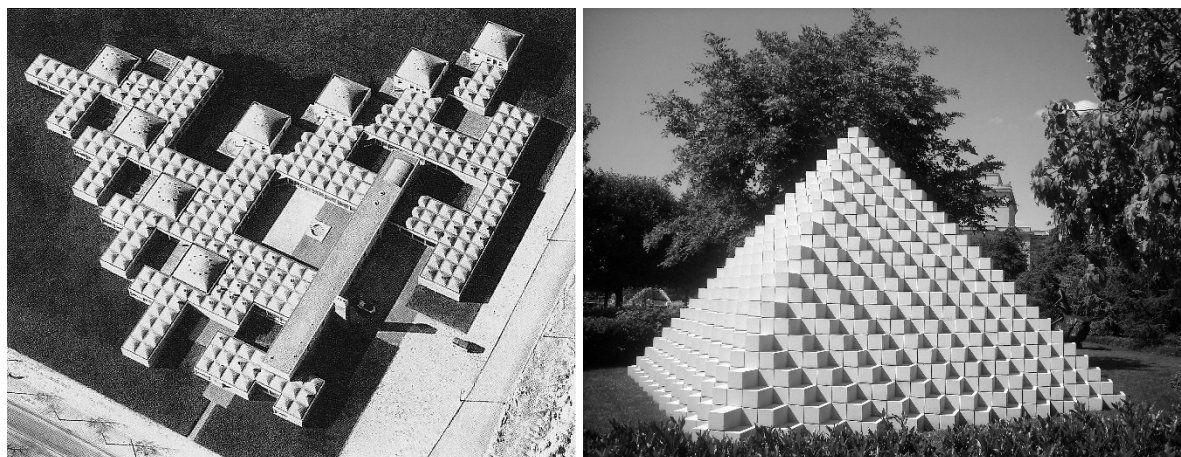


Fig. 37. Aldo van Eyck, 1960, *Orfanotrafio municipale di Amsterdam*⁵⁰⁵. Sol LeWitt, 1999, *Four-sided Pyramid in Washington D.C.*⁵⁰⁶.

Le ricerche di Retsin sono in uno stretto dialogo con quelle di Neil Leach il quale sostiene pure che *“non siamo mai stati digitali”*⁵⁰⁷. Leach, però, sostiene chiaramente che *“non esistono edifici digitali”*⁵⁰⁸. Sia Retsin che Leach suggeriscono che il paradigma analogico comprende ciò che nel senso comune è spesso percepito come digitale. Per Leach, però, la differenza tra digitale e analogico non riguarda i modi della produzione e costruzione, i quali secondo lui, dalla fabbricazione digitale fino alla muratura, sono tutti sostanzialmente processi continui, in quanto il loro prodotto è concreto e fisico. Ne deriva che la distinzione tra i materiali analogici e digitali, fondamentale per Retsin, è superflua per Leach. Secondo quest'ultimo i materiali sono tutti analogici e l'architettura costruita è sempre analogica mentre è il processo di progettazione a poter essere analogico o digitale. Il “non essere digitali” sarebbe quindi legato alla scarsa propensione ad afferrare i processi discreti sottesi al mondo materiale, se si considera che un progettista tende ad essere più abile nel pensiero analogico; ne deriva, sempre secondo Leach, l'importanza di chiederci se i nostri processi progettuali sono, con riferimento alle già affrontate definizioni di Terzidis, computerizzati o computazionali⁵⁰⁹. Per Retsin⁵¹⁰ una vera architettura digitale richiede particolari

⁵⁰⁵ Crediti: Schiphol-East Aviodrome Lelystad archive.

⁵⁰⁶ Crediti: NCinDC.

⁵⁰⁷ Leach, N. (2018), “We Have Never Been Digital”, in Anzalone, P., del Signore, M. & Wit, A. J. (eds.), *Recalibration – On Imprecision and Infidelity – Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, IngramSpark, pp. 20-29.

⁵⁰⁸ Leach, N. (2019), “There Is No Such Thing as a Digital Building – A Critique of the Discrete”, *AD - Architectural Design*, vol. 89, issue 2, pp. 136-141.

⁵⁰⁹ Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press.

⁵¹⁰ Retsin, G., “Discrete and Digital – A Discrete Paradigm for Design and Production”.

atteggiamenti nei confronti di come pensiamo e come usiamo i suoi materiali, mentre Leach⁵¹¹ afferma con più chiarezza come l'architettura costruita è sempre analogica.

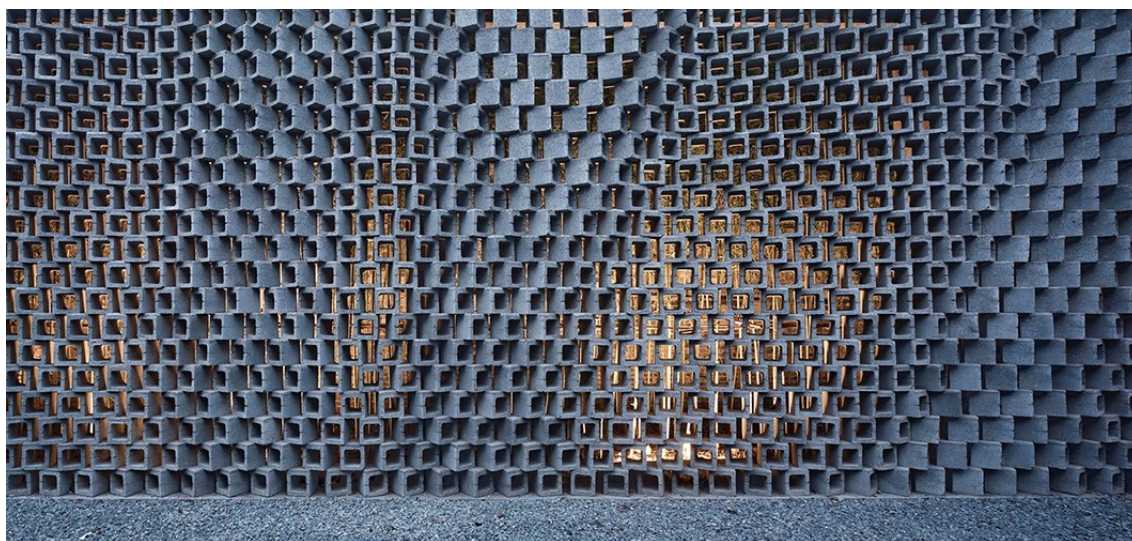


Fig. 38. Archi-Union Architects, 2010, Silk Wall Shanghai- Si riporta una didascalia da un articolo Neil Leach: "Il Silk Wall è composto da blocchi di cemento posizionati in modo analogico secondo una gamma limitata di angoli fissi utilizzando una matrice fisica"⁵¹²

Quanto detto finora denota il valore dialettico che si può assegnare alla dualità tra analogico e digitale rispetto al progetto, alla costruzione nonché alla tettonica dell'architettura. Ma tale dualità può essere discussa anche su un piano epistemologico giacché diversi autori hanno proposto che la concezione discreta-digitale è uno strumento di comprensione della realtà. Studiosi del progetto di architettura, come Gordon Pask⁵¹³, e i pionieri della filosofia del digitale, come Gregory Chaitin e Stephen Wolfram, nel tracciare le analogie tra il funzionamento del pensiero umano (e quindi per estensione del progetto di architettura) e il funzionamento di un computer hanno proposto che è possibile ricondurre il primo alle logiche del secondo. Chaitin propone che dato un qualsiasi fenomeno la legge del suo divenire è governata dal "programma informatico più breve" capace di simularlo⁵¹⁴. Analogamente, Wolfram sostiene la possibilità di ridurre anche i fenomeni più complessi a una

⁵¹¹ Leach, N., "There Is No Such Thing as a Digital Building – A Critique of the Discrete".

⁵¹² Tradotto da: "The Silk Wall is composed of concrete blocks positioned in an analogue fashion according to a limited range of fixed angles using a physical template".

Leach, N., "There Is No Such Thing as a Digital Building – A Critique of the Discrete".

⁵¹³ Pask, G. (1969), "The Architectural Relevance of Cybernetics", in *AD – Architectural Design*, no. 7/6, pp. 494-496.

⁵¹⁴ Cfr. Chaitin, G. (2007), *Alla ricerca di Omega*, Milano: Adelphi.

sommatoria discreta di programmi informatici molto semplici⁵¹⁵. Le conseguenze epistemologiche di queste posizioni riduzionistiche sono riassumibili nel paradigma “*pancomputazionale*” di Giuseppe Longo:

TUTTO COMPUTA; TUTTO È FRUTTO DI COMPUTAZIONE; TUTTO PUÒ ESSERE TRASFORMATO
IN UN DISPOSITIVO COMPUTANTE⁵¹⁶.

Traslare queste posizioni nel progetto di architettura non può che condurre alla convinzione di poter associare a qualsiasi idea progettuale un codice digitale capace di generarla, spiegarla e, di conseguenza, capace di ricondurla all’applicazione dell’approccio parametrico. Da ciò consegue la possibilità di un approccio “riduzionista” alla complessità del progetto di architettura, il quale potrebbe esser sempre considerato il risultato delle interazioni di un sistema di elementi semplici, discreti, digitalizzabili e dal comportamento deterministico. Non rientra tra gli obiettivi di questa tesi discutere sulla validità di queste posizioni, ma si può riconoscere come esse consegnino all’approccio parametrico la possibilità di annoverare al suo interno diverse modalità del progetto di architettura, o almeno di individuare alcune caratteristiche dell’approccio parametrico in molteplici esperienze progettuali.

In realtà, l’influenza del discreto nel progetto di architettura è concreta e tangibile se si guarda alle modalità di funzionamento di alcuni suoi strumenti: a titolo di esempio, la potenza computazionale delle analisi agli elementi finiti deriva dalla traduzione di una forma architettonica in oggetti discreti relazionati tra loro; analogamente, molti progettisti affrontano la modellazione di un edificio, in ambienti BIM o CAD, come un assemblaggio di elementi discreti, e molti software permettono di variare alcune caratteristiche di questi elementi in modo continuo e altre in modo discreto.

Quello che emerge dalle posizioni esposte è come l’analogico e il digitale, il continuo e il discreto, sono tenuti insieme nel progetto di architettura da una tensione dialettica che continuamente ridisegna i confini tra i due paradigmi e che richiama un concetto di Georg Simmel, sociologo e filosofo tedesco, esposto in un saggio sulla tendenza umana a connettere

⁵¹⁵ Wolfram, S. (2002), *A New Kind of Science*, Champaign: Wolfram Media Inc.

⁵¹⁶ Longo, G. O. (2016), “La nascita della filosofia digitale”, *Doppiozero* [Online] www.doppiozero.com/materiali/la-nascita-della-filosofia-digitale (Ultima consultazione: 17 ottobre 2021).

e separare, basato sulla tesi che queste due azioni “sono solo due aspetti di uno stesso gesto”⁵¹⁷. Più precisamente, nulla si può connettere se prima non è separato e nulla si può separare se prima non è connesso. Quindi digitale e analogico assumono significato nella loro continua contrapposizione e connessione nella realtà come nell’architettura. Assumere questa posizione dialettica permette di riconoscere come anche negli strumenti del progetto di architettura può esistere un rapporto dialettico tra digitale e analogico, così come tra il rientrare o l’essere distanti dall’ambito dell’approccio parametrico. Un chiaro esempio è fornito dalle curve di Bézier, già centrali in un importante articolo di Carpo⁵¹⁸, le quali, se espresse matematicamente, sono sicuramente analogiche e continue, ma sono discretizzate in pixel per essere rappresentate sullo schermo. Le curve di Bézier sono inoltre calcolabili in modo algoritmico, quindi tramite un set discreto di azioni, a partire da una collezione finita di punti, i quali una volta digitalizzati sono discreti. La lista di contraddizioni proprie delle utilissime curve di Bézier permette di comprendere come, accettando la relazione dialettica tra analogico e digitale, è possibile costruire una personale narrativa progettuale posizionandosi nel gradiente delle possibilità strumentali, cognitive, epistemologiche o costruttive proprie di questi due paradigmi.

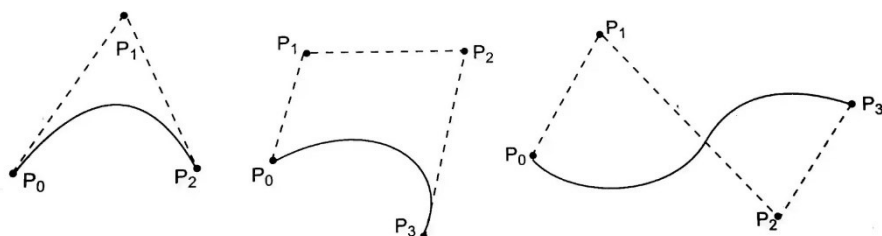


Fig. 39. Esempi di curve di Bézier

La trattazione esposta finora ha voluto mostrare l’inopportunità di pensare che uno strumento di progetto, sia esso di natura tecnica o mentale, possa essere applicato solo nell’ambito analogico o solo nell’ambito digitale. A seguire è mostrato come l’ipotesi della relazione dialettica tra digitale e analogico può essere discussa anche nell’ambito degli strumenti e dell’approccio al progetto di architettura.

⁵¹⁷ Simmel, G. (2020), “Ponte e porta”, in Carnevali, B. & Pinotti, A. (eds), *George Simmel – Stile Moderno – Saggi di estetica sociale*, Torino: Einaudi, pp. 321-328.

⁵¹⁸ Carpo, M. (2014), “Breaking the Curve: Big Data and Design”, *Artforum* [Online]. www.artforum.com/print/201402/breaking-the-curve-big-data-and-design-45013 (Ultima consultazione: 15 febbraio 2023).

Connessioni dal digitale verso l'analogico

È opportuno ora mostrare come alcuni concetti sviluppati per gestire la parte digitale del progetto possano avere un profilo di utilità anche nella gestione dei suoi aspetti più tradizionali. Le modalità con cui gli strumenti digitali del progetto contribuiscono al suo processo ideativo sono molteplici, e vanno, a titolo esemplificativo, dalla semplice logica additiva di “*elementi preconfezionati in librerie*” o “*layers formali e funzionali*”, come riconosciuto da Prestinenza Puglisi⁵¹⁹, fino alle più complesse logiche della progettazione evolutiva, che ibrida per conto del progettista diverse manifestazioni di un *objectile*. Come già ampiamente discusso, in queste visioni del progetto è individuabile una tensione dialettica nei modi con cui esse conducono alla forma architettonica tra l'essere continui e l'essere discreti.

Accettare questa tensione dialettica comporta la necessità di definire modalità per gestire un progetto che è “liquido”, in quanto è possibile modificare in modo retroattivo la forma architettonica agendo sui singoli elementi che la compongono, ed è “indeterminato”, in quanto un *objectile* può variare teoricamente fino a un attimo prima della costruzione. Manuel De Landa⁵²⁰ suggerisce di sviluppare tre tipi di pensiero per gestire una condizione di progetto in cui la forma architettonica è ricercata tramite la simulazione in un ambiente digitale: *pensiero popolazioneale*, *pensiero intensivo* e *pensiero topologico*⁵²¹. Questi principi sono, con diversi livelli di rigorosità, tenuti in considerazione in diverse declinazioni operative dell'approccio parametrico, in quanto utili a erodere l'indecifrabilità delle *black box* che molti progettisti costruiscono per trarre vantaggio da questi strumenti.

Il pensiero *popolazioneale* spinge a considerare la forma architettonica come una delle possibili e infinite manifestazioni di un complesso sistema di materiali progettuali; ne deriva che la forma architettonica assume nuove possibilità di progetto se viene considerata contemporaneamente sia una precisa organizzazione spaziale sia una particolarizzazione di una famiglia di alternative progettuali. Il pensiero *topologico* suggerito da De Landa ha ricadute sul metodo progettuale in quanto spinge a due attitudini: la prima è quella di pensare delle idee progettuali sufficientemente astratte e flessibili in modo che da esse sia possibile

⁵¹⁹ Prestinenza Puglisi, L. (1998), *HyperArchitettura – Spazi nell'età dell'elettronica*, Torino: Testo & Immagine.

⁵²⁰ De Landa, M. (2002), “Deleuze and the use of the genetic algorithm in architecture”, *AD - Architectural Design*, vol. 72, no. 1, pp. 9-13.

⁵²¹ Tradotto da: “*populational, intensive, and topological thinking*”.
De Landa, M., “Deleuze and the use of the genetic algorithm in architecture”.

generare delle alternative progettuali diverse tra di loro ma comunque riconoscibili come manifestazioni di un'unica idea; la seconda attitudine è quella di pensare un'idea progettuale non solo nella sua variabilità, ma anche nelle sue strutture fisse come le relazioni, le caratteristiche dimensionali e le connessioni tra gli spazi che compongono la forma architettonica.

Trasferire i suggerimenti di De Landa, i quali sono legati a strumenti spiccatamente digitali come gli algoritmi genetici, verso approcci più tradizionali al progetto aiuterebbe a comprendere e far emergere le possibilità latenti che ha una idea-progetto, intesa come organizzazione ancora aperta dei materiali del progetto. È possibile così approcciarsi al progetto di architettura senza snaturare i principi di una disciplina oggi sempre più esposta a tecnicismi e funzionalismi⁵²², con una rinnovata consapevolezza di come la forma architettonica evolve e si raffina durante la progettazione.

Connessioni dall'analogico verso il digitale

Precedentemente sono stati discussi dei principi di metodo suggeriti da De Landa nel pieno del *Digital Turn* che presentano un profilo di utilità anche rispetto a un progetto basato su una visione analogica. Se si riflette su un progetto basato su metodi e strumenti digitali, appare invece più importante arginare e controllare due possibili derive progettuali: l'eccesso di scientificità e la pura ricerca formale. Questo controllo, tuttavia, è opportuno che non avvenga semplicemente inibendo le innovazioni proprie degli strumenti digitali. Si può quindi guardare a quella cultura propria della visione analogica del progetto e della costruzione per ricavare concetti capaci di evitare la frustrazione quando la *"realtà virtuale sembra irraggiungibile [e la delusione quando] le figure del digitale si fanno architetture reali"*, come suggerito nelle parole con cui Purini discute la Korean Church di Greg Lynn⁵²³.

⁵²² Purini, F. (2018), "Il BIM – Un parere in evoluzione", *op. cit.. Selezione della critica d'arte contemporanea*, n. 162, pp. 5-16.

⁵²³ Purini, F. (2003), "Digital Divide", in Sacchi, L. & Unali, M. (eds), *Architettura e Cultura Digitale*, Milano: Skira, pp. 87-96.



Fig. 40. Korean Presbyterian Church in New York by Greg Lynn, Douglas Garofalo and Michael McInturf, 1999 (credit: M. Mucciola, 2007).

Gli strumenti analogici sono intrinsecamente limitati nella quantità delle alternative progettuali che possono valutare, a differenza degli strumenti digitali, i quali permettono una meno onerosa esplorazione dell'idea-progetto. Il limite di cosa è "umanamente computabile" negli strumenti analogici spinge però ad attuare un processo progettuale in equilibrio tra aspetti emergenti, manifestazioni di possibilità latenti, senso dell'abitare e del costruire. Gli strumenti digitali hanno posto in secondo piano questo equilibrio in quanto essi sono portatori di una contrazione tra la generazione di una idea-progetto e la sua validazione. Inoltre, la pervasività degli strumenti digitali ha condotto a una diffusa fiducia nella loro potenza di calcolo che, tuttavia, non si può utilizzare pienamente senza rendere più tecnico e scientifico il processo del progetto; per fare ciò, si è costretti a esporsi a una visione funzionalista del progetto di architettura che conduce a riconoscere una particolare importanza alle sue *performance* misurabili. Si tratta di una deriva del progetto già inquadrata da Purini nella forma di *"un neofunzionalismo che esalta soprattutto gli aspetti tecnici dell'architettura, dal suo concepimento al progetto e alla realizzazione"*⁵²⁴. Appare interessante notare come

⁵²⁴ Purini, F., "Il BIM – Un parere in evoluzione".

l'*Architettura come Tema* di Oswald Mathias Ungers⁵²⁵ nasca da un contesto in cui il rapporto tra tecnica e cultura del progetto presenta delle posizioni di continuità alla relazione tra digitale e analogico esposta in questo paragrafo: parafrasando alcuni pensieri del maestro tedesco, gli strumenti digitali quando utilizzati con spirito eccessivamente scientifico possono condurre al *"vicolo cieco del puro funzionalismo"*, mentre quando utilizzati senza una coscienza costruttiva possono condurre *"all'aberrazione stilistica"*⁵²⁶.

Analogamente, la somiglianza del processo progettuale di alcuni strumenti digitali con il modo di operare di un selezionatore o *"allevatore di cavalli da corsa"*⁵²⁷ rivela una continuità con esperienze e metodi di progetto pensati per gli strumenti analogici. Un algoritmo evolutivo che mescola le caratteristiche delle migliori soluzioni progettuali per ricercarne di nuove e più efficienti può essere considerato una estremizzazione del progetto per *"cernita-selezione-classificazione"*⁵²⁸. Il paragone può sembrare azzardato e forzato, ma per gli scopi di questa tesi è necessario riconoscere che i più moderni strumenti digitali possono trarre vantaggio da una rivalutazione e aggiornamento di principi consolidati della composizione architettonica, dalla visione del progetto come momento di sintesi di una conoscenza complessa fino all'uso di tutte le scale del progetto in modo dialettico.

Questo paragrafo ha proposto che nel progetto di architettura le connessioni che si possono creare tra la visione analogica e la visione digitale possono essere molteplici e bidirezionali; più precisamente, è stato proposto che i metodi più tradizionali del progetto, tipicamente analogici, possono trarre una utilità dall'applicazione di approcci ideati per gestire i metodi di progetto digitale. Per gestire al meglio quest'ultimi non basta una profonda conoscenza tecnica dei loro strumenti, come suggerito da Lynn⁵²⁹, ma sono necessarie rinnovate basi di metodo che si potrebbero riprendere da diversi principi della composizione architettonica. Si delinea così una operazione aperta sui metodi del progetto,

⁵²⁵ Ungers, O. M. (1982), *Architettura come tema / Architecture as theme*, Milano: Electa.

⁵²⁶ Scrive Ungers: *"l'esigenza di una tematizzazione dell'architettura non significa nient'altro che il suo allontanamento dal vicolo cieco del puro funzionalismo o – altro limite dello spettro – dalle aberrazioni stilistiche ed il suo ritorno al contenuto essenziale del linguaggio architettonico"*.

Ungers, O. M. (1982), *Architettura come tema / Architecture as theme*, p.10.

⁵²⁷ Scrive De Landa: *"The role of design has now been transformed into (some would say degraded down to) the equivalent of a prize-dog or a racehorse breeder."*

De Landa, M., *"Deleuze and the use of the genetic algorithm in architecture"*.

⁵²⁸ Quaroni, L. (1977), *Progettare un edificio – Otto lezioni di architettura*, Milano: Mazzotta.

⁵²⁹ Rocker, I., *"Calculus-Based Form. An interview with Greg Lynn"*.

supportata dall'idea che il digitale e l'analogico assumono un valore più profondo se sono considerati nell'architettura dialetticamente compresenti e contrapposti.

3.4. CONCLUSIONI

Il presente capitolo ha voluto evidenziare come la continua esposizione al patrimonio tecnico di cui si serve l'approccio parametrico, con particolare riferimento ai suoi strumenti digitali, è capace di modificare i codici propri del progetto di architettura. Ciò rappresenta una manifestazione di un famoso concetto, spesso erroneamente attribuito a Marshall McLuhan ma riconducibile a Winston Churchill:

NOI PLASMIAMO I NOSTRI STRUMENTI E, DI RIFLESSO, I NOSTRI STRUMENTI PLASMANO NOI
STESSI⁵³⁰.

È stata quindi proposta una ricognizione su come la tecnica propria dell'approccio parametrico sia capace di mettere in discussione diversi principi fondanti della disciplina del progetto, su come essa possa essere implementata assegnando diversi significati ai concetti di modello e modellazione, e, infine, sul dialogo che essa può promuovere nella relazione tra il *digitale/discreto* e l'*analogico/continuo*. Questa discussione non è stata affrontata con un fine prettamente storico-ricostruttivo, bensì è volta a individuare un gradiente di possibili modalità, che il progettista può definire attivamente e consciamente, di introduzione dei principi dell'approccio parametrico nel progetto di architettura.

Questo studio potrà quindi apparire non necessario e superfluo agli occhi di chi considera l'uso della tecnica digitale come un mezzo neutrale rispetto all'evolvere del progetto di architettura, delimitando il suo ambito applicativo alle fasi finali del processo progettuale in cui vi sarebbe una imparziale attività di traduzione, ridisegno e documentazione della soluzione architettonica. Queste posizioni più conservative rimangono sicuramente rilevanti se si ricerca una architettura capace di porsi al di sopra delle sfide del tempo e, di conseguenza, chiusa rispetto ad alcuni stimoli, forse effimeri, della contemporaneità. Ma

⁵³⁰ Tradotto da: "*we shape our tools, and then our tools shape us*".

L'origine del concetto sarebbe da attribuire a Winston Churchill il quale, nel 1942, afferma: "*We shape our buildings and afterwards our buildings shape us*".

Per una ricerca sulle origini del concetto, si suggerisce: Quote Investigator, "We Shape Our Tools, and Thereafter Our Tools Shape Us" [Online]. <https://quoteinvestigator.com/2016/06/26/shape/> (Ultimo accesso 20 FEBBRAIO 2023).

rimandare l'inevitabile e necessaria ricucitura⁵³¹ tra la tecnica dell'approccio parametrico e la cultura del progetto di architettura potrebbe condurre al ripresentarsi di ciò che Gideon ha identificato come lo "*scisma tra architettura e tecnologia*" nel suo seminale *Spazio, Tempo e Architettura*⁵³². L'aggiornamento della cultura progettuale verso una più matura relazione con la tecnica dell'approccio parametrico non può che richiedere, agli occhi di chi scrive e usando le parole di Marshall McLuhan, un necessario passaggio "*dalla torre d'avorio a quella di controllo*", per sfruttare pienamente le opportunità dell'odierna condizione digitale senza inibire, né tantomeno esaltare eccessivamente, le potenzialità della sua strumentazione.

In definitiva, i codici per il progetto di architettura ipotizzati in questo paragrafo si inseriscono in un generale quadro di incertezza sul futuro ruolo dell'approccio parametrico nel progetto di architettura. Visioni in cui esso assumerà la forma di un ennesimo e sostituibile strumento del *toolkit* di un progettista sembrano infatti avere la stessa probabilità di avveramento di visioni in cui l'approccio parametrico sarà centrale per rispondere alle sfide di una contemporaneità sempre più complessa. In ogni caso, questa situazione "complessa e contraddittoria" sottolinea l'importanza di associare, nel breve come nel lungo periodo, momenti di riflessione e sintesi sugli aspetti culturali del progetto di architettura all'inevitabile, e spesso imprevedibile, sviluppo dei suoi strumenti tecnici.

⁵³¹ Si segnala un tentativo di ricucitura tra le logiche del parametrico e i fondamenti vitruviani della disciplina dell'architettura, promosso da alcuni esponenti della scuola di architettura di Napoli, per mezzo dell'esposizione dei contenuti di recenti tesi di dottorato. Amirante, R., Coppola, M., Pone, S., Scala, P., Chirianni, C., Lancia, D. & Pota, G. (2021), "Reloading Architecture", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10, pp. 46-57.

⁵³² Giedion, S. (1959), "The schism between architecture and technology", in *Space, time and architecture. The growth of a new tradition*, 3° ed., Harvard University Press: Cambridge, p.209-216.

CONCLUSIONI

SULLA DIMENSIONE MOLTEPLICE DELL'APPROCCIO PARAMETRICO

Questa ricerca ha ipotizzato e discusso, in relazione a ciò che è stato definito come approccio parametrico al progetto di architettura, la possibilità di ricondurre quest'ultimo a una dimensione eterogenea e plurale, nell'ambito della quale possono quindi prendere forma diverse narrative progettuali. Nel rispetto di alcuni suoi caratteri individuati come immanenti, quali l'indeterminatezza, l'instabilità e la liquidità, l'approccio parametrico è stato qui studiato non solo nelle sue *determinazioni* ma anche nella sua *molteplicità*, trattando quest'ultimo termine in qualità di sostantivo, come proposto dal monito di Deleuze e Guattari nell'introduzione del loro *Mille Plateaux*.

Per permettere di costruire queste narrative progettuali in modo cosciente e informato, l'approccio parametrico è stato *disarticolato* in quattro categorie conoscitive in modo da definire dei *taxa* che ogni progettista può adottare, soppesare, controllare, o anche ignorare, nella definizione attiva di una personale poetica culturale e metodologica per il progetto di architettura.

La prima categoria conoscitiva raccoglie sotto la dizione *visioni* le principali posizioni teoriche che in oltre 70 anni hanno offerto diverse prospettive, affini ma mai coincidenti, su *cosa* è un approccio progettuale prossimo alla concezione parametrica: l'Architettura Parametrica di Luigi Moretti, il Parametricismo di Patrik Schumacher e le posizioni intermedie provenienti dal Computational Design. Avvicinare la propria poetica progettuale a una delle visioni indagate, oppure alle pieghe definite dalle loro divergenze, assume, secondo questa ricerca, un potenziale culturale e metodologico in quanto definisce una gamma di possibili e diversi gradi di scientificità ai quali la progettazione può essere ricondotta attraverso la strumentazione parametrica nonché le finalità per le quali si potrebbe decidere di adottare un approccio di tipo parametrico.

Le modalità con cui nell'ambito dell'approccio parametrico la forma architettonica, intesa nella sua concezione più generale possibile, è gestita, manipolata, sintetizzata, strutturata, esplorata, valutata e ottimizzata, sono annoverate dalla categoria conoscitiva delle *invarianti*. Non guardare alla forma, bensì al suo processo di *formazione*, ha permesso di delineare per le modalità operative dell'approccio parametrico un lessico indipendente dal mero uso di uno strumento specifico, aperto ad essere implementato nel tempo ma anche

stabile rispetto alla mutabilità degli stessi strumenti e della tecnica di cui si serve questo particolare paradigma progettuale.

L'eterogeneità dei riferimenti culturali già posti alle origini dell'approccio parametrico, i quali annoverano innovazioni tecniche, posizioni filosofiche ed esperienze di pratica progettuale, è stata riorganizzata nella categoria conoscitiva delle *identità*, che è qui indagata rispetto alle tematiche della *formalizzazione*, della *variazione* e del *form-finding*. Queste tematiche sono state ulteriormente dettagliate rispetto a esperienze più precise, quali la ricerca operativa, i *pattern language*, la variazione analogica, la variazione digitale, il *form-finding* emergente e il *form-finding* assistito. Attraverso la categoria conoscitiva delle identità è stato dimostrato che le contemporanee possibilità dell'approccio parametrico sono il prodotto di un *melting pot* di innovazioni, limitazioni e stimoli a cui il progetto di architettura è stato esposto dalle sue prime codificazioni in termini classici fino alla contemporanea transizione verso la tecnica digitale. I risultati di questa parte della ricerca assumono un interesse culturale per quegli autori che considerano il progetto come la continua rielaborazione e stratificazione di una conoscenza che ha radici lontane da loro, mentre assumono un interesse metodologico nel definire le aspettative rispetto all'introduzione di tematiche affini all'approccio parametrico nel progetto di architettura.

La categoria conoscitiva dei *codici* definisce alcune modalità con cui la tecnica propria dell'approccio parametrico è capace di influenzare le norme e le prassi del progetto di architettura. Più precisamente, sono state discusse le principali trasgressioni che l'approccio parametrico impone rispetto ad alcuni fondamenti della disciplina progettuale, i diversi possibili significati attribuibili da esso ai concetti di modello e modellazione e, infine, le posizioni dialettiche che esso può assumere nelle relazioni tra il digitale/discreto e l'analogico/continuo. I codici, quindi, rappresentano un tentativo di ricucitura tra la cultura del progetto di architettura e la tecnica propria dell'approccio parametrico attraverso la delineazione delle conseguenze metodologiche di alcune tipiche prassi di questo particolare paradigma progettuale.

Il complesso sistema articolato intorno a *visioni*, *invarianti*, *identità* e *codici* intende proporsi quindi come uno strumento con il quale muoversi per l'interpretazione dei fenomeni propri dell'approccio parametrico. Tale sistema può assumere una valenza progettuale e

metodologica se è utilizzato come palinsesto per la costruzione di una personale narrativa di adozione o avvicinamento all'approccio parametrico nel progetto di architettura. Questo aspetto è stato indagato attraverso la costruzione di tre applicazioni, discusse nei successivi apparati e sviluppate assumendo come finalità ispiratrice la ricerca di modalità di progetto capaci di migliorare la sostenibilità dell'edificio. La prima applicazione ha riguardato la ricostruzione del processo progettuale proposto da Luigi Moretti nella sua teoria dell'Architettura Parametrica, delineando una narrativa progettuale definita come *parametrico scientifico*, in quanto interessata a ricondurre l'evoluzione del progetto a una pratica vicina all'attuazione di un pensiero prettamente scientifico. La seconda applicazione ha ricondotto a possibili logiche computazionali un sistema costruttivo esistente, delineando nella narrativa del *parametrico combinatorio* una concezione del progetto in cui la tecnica dell'approccio parametrico non è predominante e in cui la forma architettonica emerge come una sommatoria di parti e attributi da ricombinare. Infine, la narrativa del *parametrico black box* indagata nella terza applicazione ricrea – attraverso l'uso di un *Evolutionary Multiobjective Optimization Algorithm* e di tecniche di *clustering* per la progettazione di un involucro architettonico – un processo progettuale ostile rispetto a un controllo consapevole da parte del suo autore, il quale qui delega alla tecnica un compito ideativo-creativo.

Per mezzo di un procedimento abducente, le tre applicazioni sviluppate sono state esposte secondo le posizioni assunte nella loro costruzione in relazione al sistema di visioni, invarianti, identità e codici proposto in questa ricerca. Ciò ha permesso di dimostrare un profilo di utilità per lo studio qui presentato rispetto all'interpretazione di alcune determinazioni ricorrenti dell'approccio parametrico, nonché nel supporto della possibile costruzione di personali narrative progettuali da parte di progettisti-utenti sia interessati all'approccio parametrico che precedentemente animati da pregiudizi ma desiderosi di meglio orientarsi in questo ambito di conoscenze.

La ricerca condotta restituisce perciò un originale modo per poter *parlare* di una particolare manifestazione della disciplina dell'architettura, cioè l'approccio parametrico, considerando questo come un autentico *materiale* del progetto e definendo per esso un chiaro lessico nonché una forma di conoscenza sistemica, aperta, non-finita e *rizomatica*.

Questa ricerca – la quale non sempre riconosce nell’approccio parametrico una dimensione salvifica ma guarda ad esso come a una interessante e possibile manifestazione del progetto – ha osservato e studiato l’approccio parametrico non esclusivamente dalle posizioni proprie della tecnica del digitale, ma anche e soprattutto attraverso la cultura, i metodi e i valori propri della disciplina della composizione architettonica. Le posizioni assunte ambiscono a ricucire una generale situazione di diffidenza e fraintendimento nei confronti del portato, dei profili di utilità e dei metodi propri dell’approccio parametrico. Per fare ciò, questo studio ha dovuto instaurare un dialogo con temi trasversali, attuali e spiccatamente innovativi, i cui risultati sono solo in parte cristallizzati e i cui sviluppi sono difficilmente prevedibili. Questo atteggiamento non appare in continuità con quel diffuso desiderio di distanziamento tra la composizione architettonica e quelle innovazioni ancora ritenute effimere che rappresenta uno dei fattori individuato da Franco Purini come precipuo della *misura italiana dell’architettura*, ovvero l’*attesa* e il conseguente atteggiamento di distacco nei confronti delle innovazioni, dalle quale viene *distillata* conoscenza solo quando esse si sono *raffreddate*. In realtà, questo studio ha cercato di fornire una visione *raffreddata* dell’approccio parametrico, nonostante esso non abbia ancora esaurito la sua capacità di innovazione, nella convinzione che nella cultura del progetto siano presenti tutti gli strumenti per guardare a queste tematiche di ricerca con coraggio e consapevolezza.

L’approccio parametrico secondo questa ricerca non si riduce all’uso di una particolare suite di strumenti, software o tool, ma assume la forma di una molteplicità di atteggiamenti, principalmente cognitivi e metodologici, le cui singole determinazioni sono portatrici di diversi valori culturali e tecnici, comunque riconoscibili come diverse manifestazioni di un unico spettro di possibilità.

APPARATI

:: APPLICAZIONI DI VISIONI, INVARIANTI, IDENTITÀ E CODICI PER LA SOSTENIBILITÀ

Costruzioni di narrative parametriche

Abstract

Questo apparato muove dall'ipotesi che il complesso sistema di visioni, invarianti, identità e codici presentato in questa ricerca possa assumere una rilevanza metodologica se utilizzato come palinsesto per la costruzione di una personale narrativa di adozione dell'approccio parametrico nel progetto di architettura.

Assumendo come finalità ispiratrice la ricerca di modalità di progetto capaci di migliorare la sostenibilità dell'edificio, si propone di indagare tre differenti applicazioni riconducibili ad altrettante possibili prassi metodologiche dell'approccio parametrico applicato al progetto di architettura che, in questo studio, sono definite rispettivamente come: processo scientifico, processo combinatorio e processo black box. Le tre applicazioni sono costruite per ottenere una consistente eterogeneità nelle loro modalità di generazione della forma architettonica, nei loro processi di identificazione delle soluzioni finali e nei loro ambiti di applicazione.

Per ogni applicazione è quindi tracciata una breve nota metodologica che esplicita gli obiettivi, le fonti, le strumentazioni e i metodi di ricerca adottati seguita da una estesa descrizione operativa del caso studio. La delineazione della prassi metodologica sottesa a ogni applicazione è rimandata alle conclusioni con il fine di tracciare analogie e divergenze tra le tre applicazioni alle quali corrispondono altrettanti modi di adottare l'approccio parametrico nel progetto di architettura.

L'operazione condotta in questo apparato è quindi tesa a dimostrare, attraverso la pratica progettuale, la flessibilità metodologica ottenibile nell'adozione dell'approccio parametrico.

Abstract

This apparatus stems from the hypothesis that the complex system of visions, invariants, identities and codes presented in this research can acquire methodological relevance when used as a palimpsest for the construction of a personal narrative of adoption of the parametric approach in architectural design.

Assuming as the guiding purpose the search for design methods capable of improving the sustainability of buildings, it is proposed to investigate three different applications that can be linked to three possible methodological praxis of the parametric approach applied to architectural design. The three applications are designed to achieve substantial heterogeneity in their manner of generating architectural form, in their processes for identifying final solutions and in their areas of application.

For each application, a brief methodological note is then provided explaining the objectives, sources, instruments and research methods adopted, followed by an extended operational description of the case study. The delineation of the methodological praxis underlying each application is postponed to the conclusions in order to draw similarities and divergences between the three applications that correspond to as many ways of adopting the parametric approach in architectural design.

The operation presented in this apparatus is therefore aimed at demonstrating, through design practice, the methodological flexibility achievable in the adoption of the parametric approach.

Abstract

A partire dagli anni Quaranta, Luigi Moretti teorizza i principi della sua Architettura Parametrica proponendo una nuova visione scientifica della progettazione architettonica nonché il rinnovamento dei suoi metodi, strumenti e obiettivi. Mentre le sue teorie sono state ampiamente discusse, i suoi processi progettuali legati all'uso di strutture matematiche rimangono in parte inesplorati, nonostante Moretti abbia più volte dichiarato di aver utilizzato i principi dell'Architettura Parametrica nella sua pratica professionale sin dagli anni Quaranta fino alla sua morte del 1973. Le fonti in cui Moretti espone in forma pratica e operativa il processo progettuale dell'Architettura Parametrica sono tuttavia estremamente limitate e coincidono sostanzialmente con le descrizioni delle applicazioni esposte alla famosa "Mostra di Architettura Parametrica e Ricerca Operativa in Urbanistica" del 1960 riguardanti stadi per il calcio, per nuoto, per il tennis e una sala per il cinema.

Utilizzando le informazioni contenute nel catalogo della mostra di Architettura Parametrica, si propone di ricostruire il processo progettuale seguito da Moretti attraverso la derivazione in forma esplicita delle equazioni parametriche da egli utilizzate. I risultati ottenuti saranno confrontati con i grafici e con i modelli esposti nella Mostra e saranno inoltre ricercate le eventuali analogie tra i risultati della mostra e la pratica professionale di Moretti.

La seguente applicazione è quindi sviluppata per delineare gli aspetti metodologici di una particolare declinazione dell'approccio parametrico che avvicina il progetto di architettura a una pratica riconducibile all'attuazione del pensiero scientifico.

SCIENTIFIC PARAMETRIC. DERIVATION AND VALIDATION OF LUIGI MORETTI'S EQUATIONS

Abstract

Starting in the 1940s, Luigi Moretti theorised the principles of his Parametric Architecture, proposing a new scientific vision of architectural design as well as the renewal of its methods, tools and objectives. While his theories have been widely discussed, his design processes related to the use of mathematical structures remain partly unexplored, even though Moretti repeatedly stated that he used the principles of Parametric Architecture in his professional practice from the 1940s until he died in 1973. The sources in which Moretti explains the design process of Parametric Architecture in a practical and operational form are, however, extremely limited and basically coincide with the descriptions of the applications exhibited at the famous 1960 'Exhibition of Parametric Architecture and Operational Research in Urban Planning' concerning football stadiums, swimming stadiums, tennis stadiums and a cinema hall.

Using the information contained in the Parametric Architecture exhibition catalogue, it is proposed to reconstruct the design process followed by Moretti through the derivation in an explicit form of the parametric equations he used. The results obtained will be compared with the graphs and models shown in the exhibition and any similarities between the results of the exhibition and Moretti's professional practice will also be investigated.

The following application is therefore developed to outline the methodological aspects of a particular declination of the parametric approach that brings architectural design closer to a practice related to scientific reasoning.

Nota metodologica

Le note applicazioni presentate alla mostra di “*Architettura Parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*” alla XII Triennale di Milano del 1960 rappresentano l'unico caso in cui Moretti associa una dimensione pratica alle sue teorie progettuali. Questa dimensione pratica è stata replicata, solo per un numero limitato delle applicazioni presentate alla mostra, da diversi autori⁵³³ che hanno tradotto le intuizioni di Moretti nella contemporanea strumentazione digitale. Tuttavia, si registra l'assenza di studi che affrontino tutti i sei casi studio architettonici esposti alla mostra e, soprattutto, che utilizzino gli strumenti tecnici a disposizione di Moretti dell'I.R.M.O.U. Ricostruire le modalità con cui il primo teorizzatore dell'Architettura Parametrica ha progettato le sue prime storiche applicazioni può quindi chiarire le modalità pratiche con cui egli proponeva di avvicinare il progetto di architettura al moderno pensiero scientifico. Ciò rappresenta una occasione per riflettere su una declinazione dell'approccio parametrico, definita in questa ricerca come “processo scientifico”, nel quale si aspira a supportare ogni decisione progettuale attraverso i risultati di analisi e studi interdisciplinari.

Si propone quindi di utilizzare un approccio puramente matematico per derivare esplicitamente tutti i parametri coinvolti nella costruzione delle applicazioni presentate alla mostra da Luigi Moretti. Si potrà così procedere a una più approfondita riflessione, al momento mancante nella letteratura di riferimento, sui rapporti tra la dimensione matematica e la forma architettonica nel passaggio dalla teoria alla pratica in questa particolare esperienza del maestro romano. I risultati ottenuti saranno quindi utilizzati per ricercare delle analogie formali e metodologiche in altri suoi progetti, antecedenti e successivi alla mostra. Ciò consentirà di verificare l'effettiva volontà di Moretti rispetto alla possibile

⁵³³ Cfr.: Bianconi, F., Filippucci, M., Buffi, A. & Vitali, L. (2020), “Morphological and visual optimization in stadium design: a digital reinterpretation of Luigi Moretti's stadiums”, *Architectural Science Review*, vol. 63, no. 2, pp. 194-209.

Palestini, C., Basso, A. (2019), “Parametric Architecture and Representation, the Experiments of Luigi Moretti”, in Marcos, C. (ed.), *Graphic Imprints. EGA 2018*, Cham: Springer, pp. 183-198.

Caponi P. &, Cutroni, F. (2019), “Revisiting the “M Stadium” Project by Luigi Moretti: A Forgotten Model of Parametric Architecture”, In Lázaro, C., Bletzinger, K. & Oñate, E. (eds.), *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019*, Barcellona: International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE).

introduzione dei metodi dell'approccio parametrico anche nella sua concreta ed estesa esperienza professionale.

La principale fonte di questo studio è il catalogo della mostra sull'Architettura Parametrica curato da Luigi Moretti e dall'I.R.M.O.U.. Presso il fondo Luigi Moretti nell'Archivio Centrale dello Stato Italiano sono presenti due versioni del catalogo, una bozza e il testo definito, le quali si differenziano per una serie di piccole correzioni, commenti e modifiche al testo (vedi Fig. 42). La parte del catalogo dedicata alla scala del progetto di architettura sarà poi in parte ripubblicata senza alcuna modifica sostanziale in *Rassegna dei Lavori Pubblici*⁵³⁴, e dieci anni più tardi, sulle pagine di *Moebius*⁵³⁵. Ulteriori possibili fonti per questo studio sono potenzialmente contenute nell'archivio Moretti-Magnifico che, tuttavia, non è stato possibile consultare in tempi utili a causa dell'emergenza sanitaria per Covid-19. Una recente pubblicazione⁵³⁶ mostra infatti le copertine e gli estratti di alcuni taccuini dedicati alle applicazioni della Mostra di Architettura Parametrica custoditi in quest'ultimo archivio, che, tuttavia, non chiariscono le incongruenze riscontrate in questo studio. Considerando i numerosi tentativi di Moretti di diffondere la teoria dell'Architettura Parametrica, appare comunque lecito - e anche utile per poter colmare una lacuna ancora presente in letteratura - domandarsi se il contenuto del catalogo e della mostra permettano di leggere il processo progettuale del maestro romano sotto una nuova luce

⁵³⁴ Ventriglia, F. (1960), *Luigi Moretti e la ricerca di un ordine oggettivo*, estratto da *Rassegna dei Lavori Pubblici*, n. 11, novembre 1960.

⁵³⁵ Moretti, L. (1971), "Ricerca matematica in architettura e urbanistica", *Moebius*, a. IV, no.1, pp. 30-53.

⁵³⁶ Cfr. l'apparato illustrativo in: Magliozzi, Z. (2021), "Patrik Schumacher. Dall'architettura parametrica ai parametri di funzionalità sociale. Intervista di Zaira Magliozzi", *AR Magazine*, vol. 125-126, pp. 440-455.

Il catalogo, prima di tracciare lo *“schema generale della ricerca”* per l’Architettura Parametrica, ripercorre le sue origini descrivendone il legame con la ricerca operativa e con l’istituzione dell’I.R.M.O.U.. Successivamente, il catalogo dedica ampio spazio ad alcuni esempi applicativi che, alla scala del progetto di architettura, riguardano due stadi per il calcio, due stadi per il nuoto, uno stadio per il tennis e una sala per il cinema. Ulteriori esempi riguardano problemi alla scala urbana quali la *“suddivisione di una città in zone scolastiche”*, i *“fenomeni elementari del traffico”*, le *“variazioni del traffico con l’estendersi della città”*, le *“variazioni di strutture del traffico”*, la *“regolamentazione automatica del traffico”*, il *“coordinamento degli investimenti”*, un *“simulatore analogico di fenomeni di interdipendenza”* e, infine, il contributo del *“calcolatore elettronico per la ricerca operativa”*.

Gli esempi applicativi alla scala del progetto di architettura sono presentati nel catalogo seguendo una struttura ricorrente in quanto, secondo Moretti, essi sono riconducibili a un unico problema progettuale: *“stima dei valori di informazione dei fenomeni correnti sul campo da gioco (o schermo, ecc.) per un numero n di spettatori”*⁵³⁷. Per ogni applicazione presentata nel catalogo, esso ne descrive brevemente le ipotesi preliminari, l’equazione della funzione di visibilità, lo schema geometrico del problema per proporlo, infine, il grafico delle curve di *“equiappetibilità visiva”*, il quale può essere considerato la visualizzazione bidimensionale di una moderna *funzione di fitness*. Il catalogo, quindi, non presenta le immagini dei plastici architettonici delle diverse applicazioni, che sono invece presenti nella documentazione fotografica del fondo Luigi Moretti.

Si può riconoscere, tuttavia, che il catalogo non esplicita completamente e chiaramente il processo progettuale di queste applicazioni di Architettura Parametrica. Le equazioni delle funzioni di visibilità, così come riportate nel catalogo, non permettono, ad esempio, di tracciare le superfici di *“equiappetibilità visiva”*, visto che non vengono esplicitate le indicazioni necessarie per ricavare analiticamente tutti i parametri da esse utilizzati. Se si guarda al passaggio dalle analisi della visibilità verso i modelli tridimensionali, il catalogo afferma che la loro forma *“si deduce dalla individuazione delle superfici di equiappetibilità visiva (equiinformazione) dei campi di gioco (o della piscina, o del tennis, ecc.) negli spazi esterni*

⁵³⁷ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 12

ai campi"⁵³⁸ e dai valori di *"ulteriori secondarie utilità"*, i quali però non sono definiti nel catalogo. Le superfici di *"equiappetibilità visiva"* permettono quindi di evitare la *"costruzione di spazi a 'basso rendimento visivo'"* attraverso una loro elaborazione per mezzo di *"usuali superfici di visibilità"*. Tuttavia, il catalogo non fornisce indicazioni per eseguire questo passaggio. Quanto detto finora si traduce in una certa difficoltà nel riprodurre il metodo progettuale utilizzato da Moretti che, a oggi non è ancora stata debitamente riconosciuta.

Muovendo da questa riflessione, nel corso di questo studio si è proceduto al confronto tra i risultati della Mostra e la pratica professionale di Luigi Moretti, compiuto attraverso una ricerca negli oltre 200 progetti visionabili attraverso le relative copie digitalizzate presso l'Archivio Centrale dello Stato Italiano nel fondo intitolato al maestro romano. Dopo un primo studio basato sull'affinità tipologica con le applicazioni della mostra, visionando quindi gli elaborati di progetti per stadi, piscine e teatri, la ricerca è stata estesa all'intero Fondo Moretti.

La ricerca condotta ha quindi permesso di riconoscere diverse incongruenze nel rapporto tra analisi matematica, scientificità e forma architettonica nella ricerca parametrica di Moretti, mostrando come il primo teorizzatore dell'Architettura Parametrica fosse disposto a derogare ai suoi precetti per raggiungere una più elevata qualità architettonica, nella dimostrazione dei fatti non ottenibile per mezzo della estrema tecnicizzazione del progetto.

⁵³⁸ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 12.

Stadio del calcio M

Per lo stadio del calcio, Moretti riconosce che questo tema progettuale richiede la

DEFINIZIONE DI UN ELEVATO NUMERO DI PARAMETRI, SUDDIVISI IN TRE CLASSI: PARAMETRI RISPETTO ALL'OGGETTO DELL'INFORMAZIONE (GIOCO), RISPETTO AL TIPO DI INFORMAZIONE (VISIVA DIRETTA), RISPETTO AI CARATTERI DELLA SPECIFICA CLASSE DI INFORMAZIONE NEI RIGUARDI DEL SOGGETTO (SPETTATORE)⁵³⁹.

Tuttavia, nel primo esempio pratico, cioè lo "Stadio M", presentato nel catalogo della mostra sull'Architettura Parametrica, egli assume diverse ipotesi semplificative per "*chiarezza espositiva*":

- a) "VISIBILITÀ DELL'INTERO CAMPO
- b) AREE DI MAGGIORE INTERESSE INDIVIDUATE NEI DUE CERCHI DI CENTRI C1 E C2, POSTI SULL'ASSE LONGITUDINALE DEL CAMPO, ALLA DISTANZA DI M. 15 DAI LATI MINORI E DI M. 50 DI DIAMETRO.
- c) PER CIASCUNA DELLE DETTE AREE DI INTERESSE LA VISIBILITÀ È UNA FUNZIONE DELLA DISTANZA DAI CENTRI DELLE AREE, NULLA AL CENTRO, MAX QUANDO L'AREA È VISTA SOTTO UN ANGOLO DI 35° E CHE TENDE A 0 QUANDO LA DISTANZA RENDE A ∞ ⁵⁴⁰

⁵³⁹ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 12.

⁵⁴⁰ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 12-17.

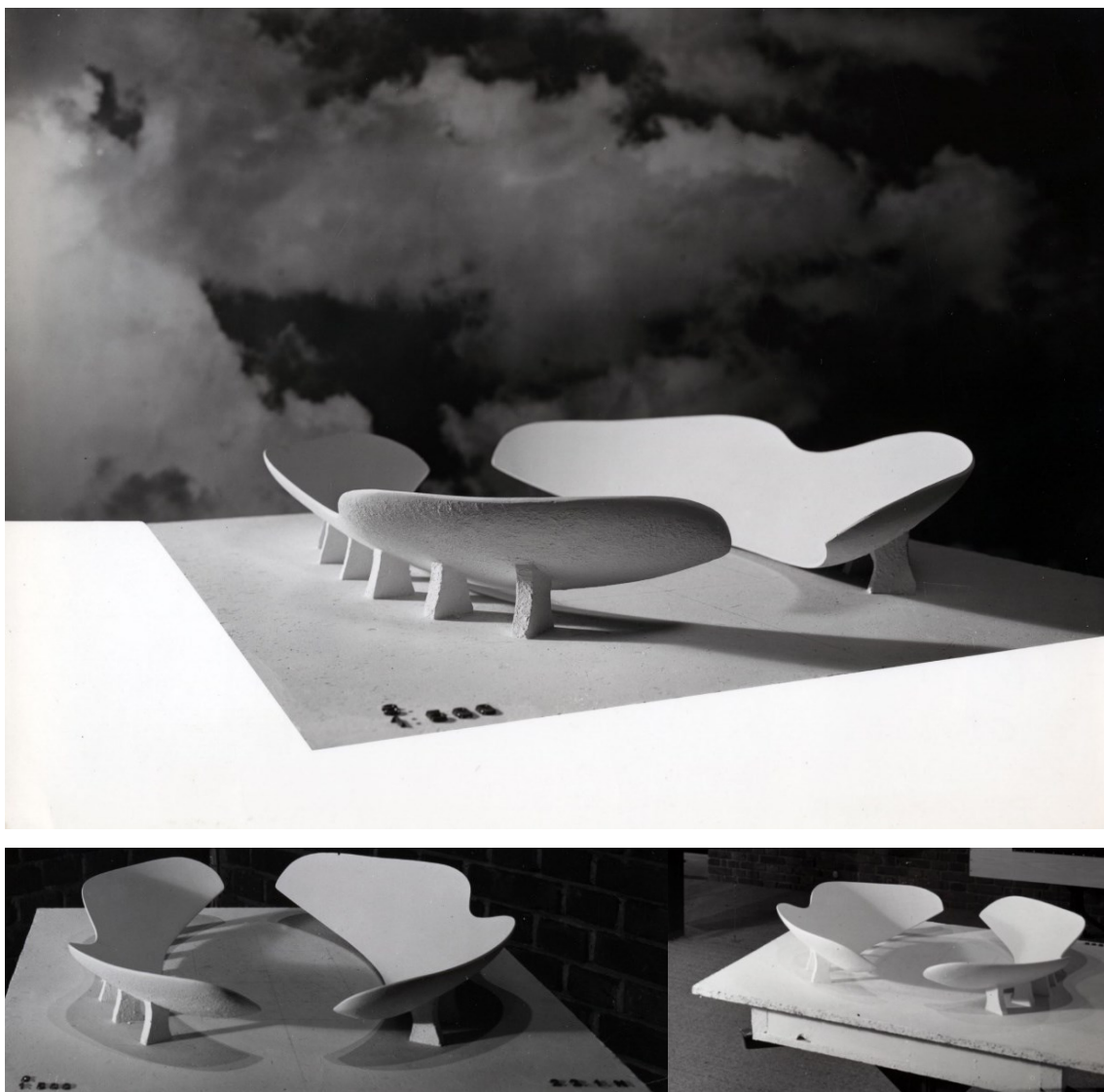


Fig. 43. Luigi Moretti. Stadio per il calcio M⁵⁴¹.

Moretti propone di misurare la qualità dello spazio attraverso l'uso di un'unica "*funzione di visibilità W*", composta dalla somma di due contributi relativi alla qualità visiva nei confronti dei centri di interesse C₁ e C₂. Per il calcolo della funzione di visibilità W, il catalogo fornisce la seguente equazione:

$$W = d_1^k e^{-kd_1} + d_2^k e^{-kd_2} \quad (1)$$

⁵⁴¹ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, "Mostra IRMOU (architettura parametrica) alla XII Triennale", F.03048; F. 03065; F. 03051.

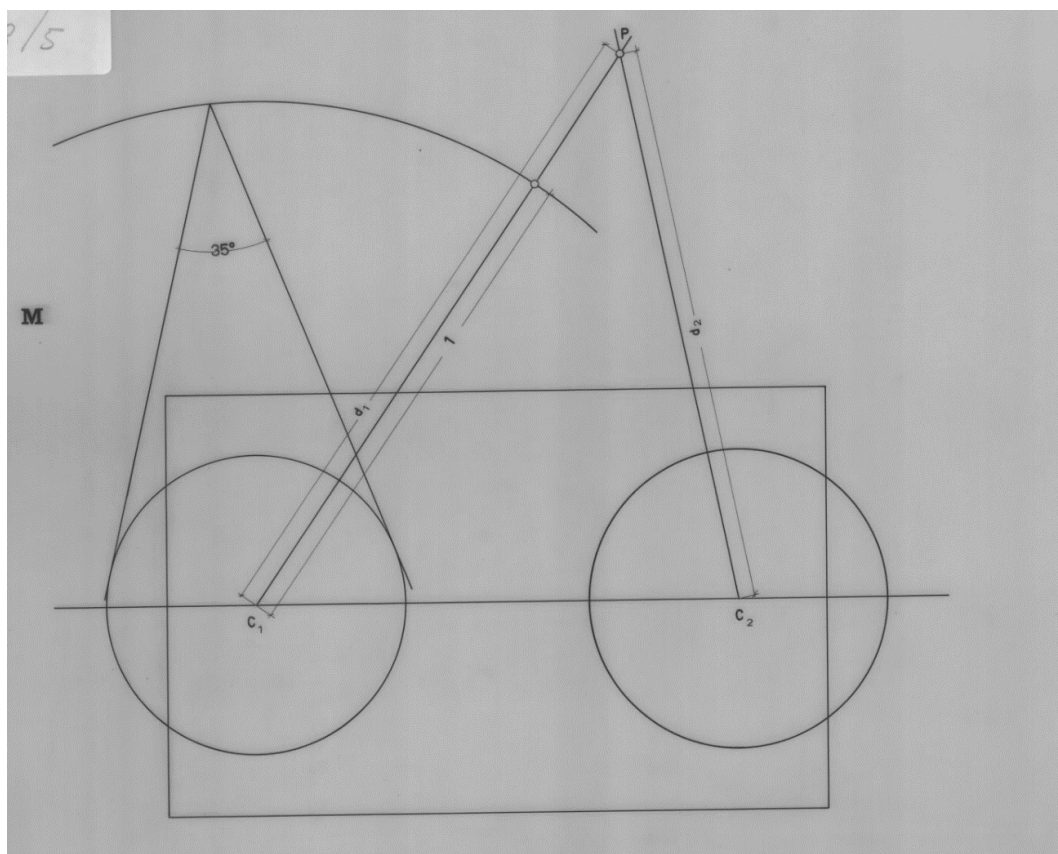


Fig. 44. Luigi Moretti. Schema geometrico del problema per lo Stadio per il calcio M⁵⁴².

A partire da queste ipotesi, grazie alle indicazioni geometriche fornite per le aree di maggiore interesse C_1 e C_2 , sono state ricavate graficamente le misure del campo di calcio considerato da Moretti, che presenta una lunghezza di 120 metri e una larghezza di 74 metri. Moretti non esplicita i fattori che lo hanno condotto a ipotizzare le posizioni dei punti C_1 e C_2 , ma è possibile far risalire la scelta di queste aree di interesse ai risultati di una analisi, spiegata sulle pagine di Moebius, basata sul rilievo fotogrammetrico delle posizioni dei giocatori durante una partita⁵⁴³.

Eseguendo una analisi sui vari termini usati nella equazione (1) è possibile ipotizzare che essa non è stata derivata rigorosamente, ma è stata costruita attraverso la composizione di una serie elementare di funzioni matematiche capaci di dare forma a un numero limitato di intuizioni. Il parametro d , che restituisce la distanza tra un punto P e i centri di interesse, è utilizzato per poter porre la visibilità pari a 0 quando P è posto su un centro di interesse e pari a infinito con l'allontanarsi del punto P . La seconda parte dell'equazione, invece, è utilizzata

⁵⁴² ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d.60/198/5.

⁵⁴³ Moretti, L., "Ricerca matematica in architettura e urbanistica"

per individuare un massimo quando le aree di interesse sono viste sotto un angolo di 35° . Più precisamente, si può riconoscere che la funzione $d_1^k e^{-kd_1}$ presenta un massimo per $d = 1$. Considerando che Moretti propone di normalizzare la distanza sul cerchio che vede le aree di interesse con un angolo all'arco pari a 35° , si può ipotizzare che la equazione (1) traduce in termini matematici l'individuazione della massima qualità visiva in quei punti da cui si vede la zona di interesse con un angolo all'arco proprio pari a 35° . Le spiegazioni di Moretti per lo stadio M terminano assegnando il valore 10 al parametro k.

Di seguito si propone di ipotizzare il processo progettuale adoperato per l'ideazione delle formule presentate da Moretti e si riportano brevemente le operazioni analitiche necessarie alla derivazione in forma esplicita della funzione di visibilità totale W.

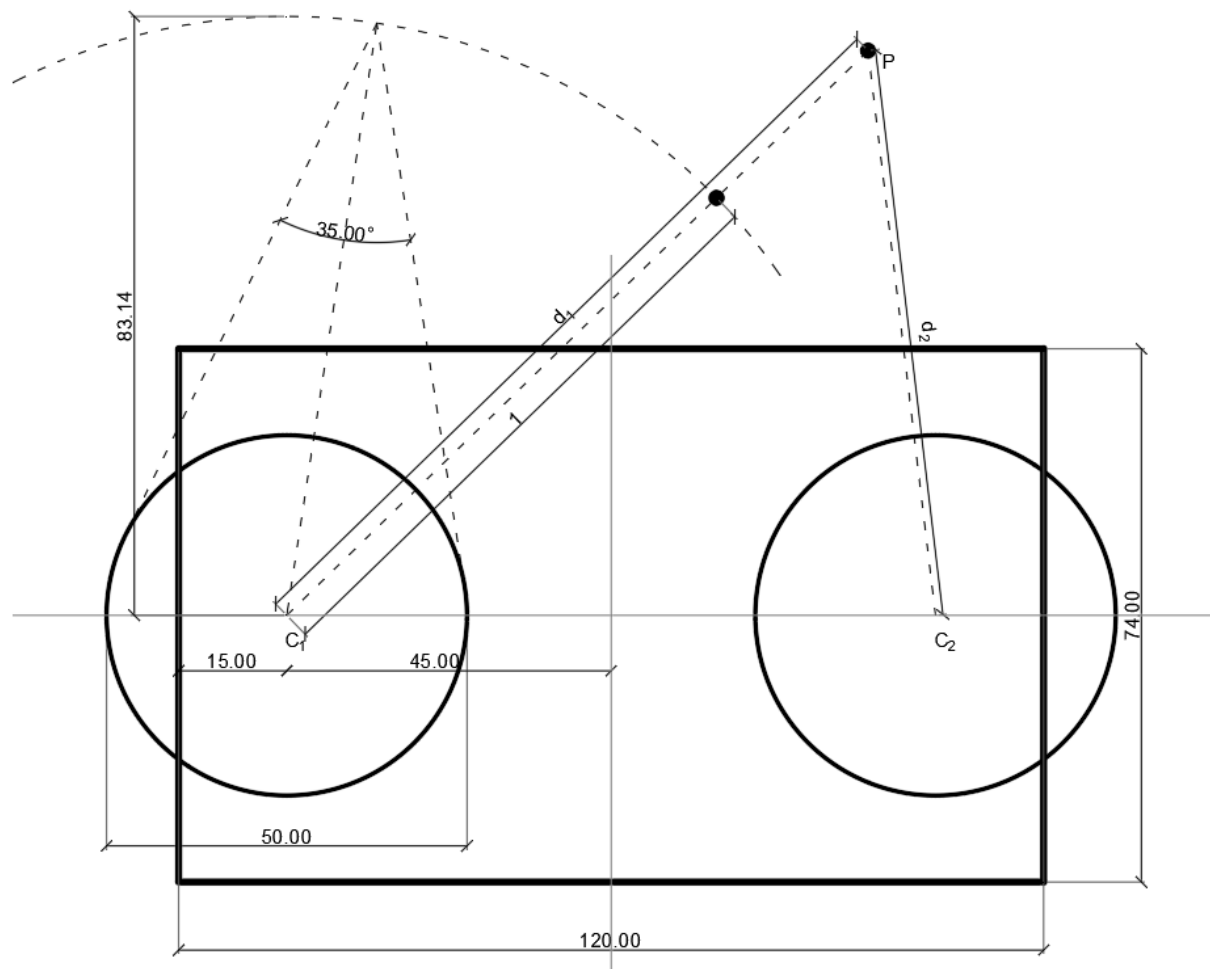


Fig. 45. Geometrizzazione del problema dello stadio del calcio M.

È necessario, propedeuticamente, calcolare la misura del raggio del cerchio rispetto al quale è effettuata la normalizzazione. Individuando con r il raggio del cerchio di interesse, questa distanza è calcolabile come:

$$d' = \frac{r}{\sin\left(\frac{35^\circ}{2}\right)} \quad (2)$$

Assumendo un sistema di coordinate cartesiane con origine nel centro del campo, la distanza di un generico punto P rispetto ai centri di interesse è calcolabile, per il centro C_1 , come:

$$d(p; C_1) = \sqrt{(x_p - x_{c1})^2 + (y_p - y_{c1})^2} \quad (3)$$

Le operazioni condotte permettono quindi di esprimere la (1) in termini espliciti, replicando quindi il processo progettuale utilizzato da Moretti e dall' I.R.M.O.U..

Confronto

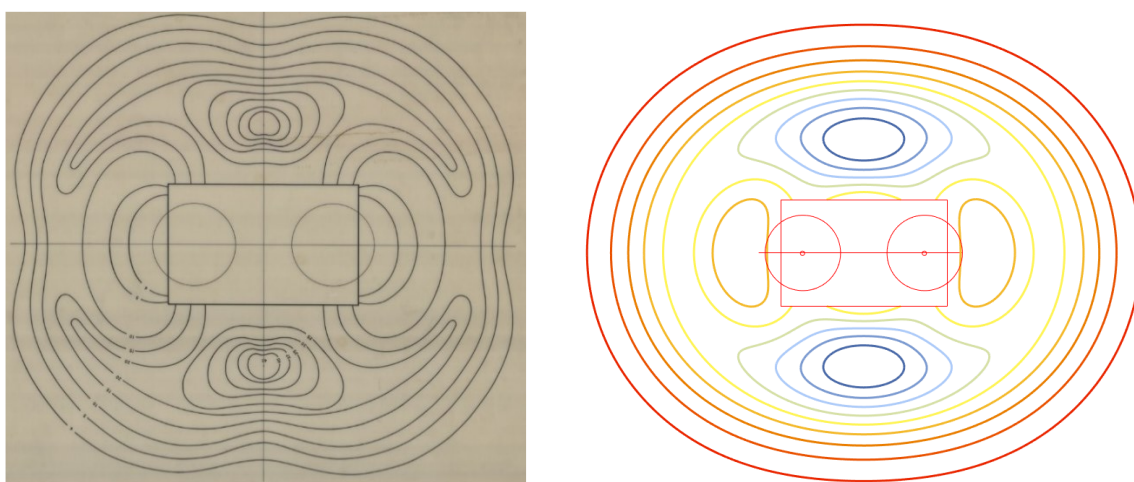


Fig. 46. Stadio del calcio M. Funzione di visibilità calcolata da Moretti⁵⁴⁴ e funzione di visibilità derivata analiticamente.

⁵⁴⁴ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d.60/198/7.

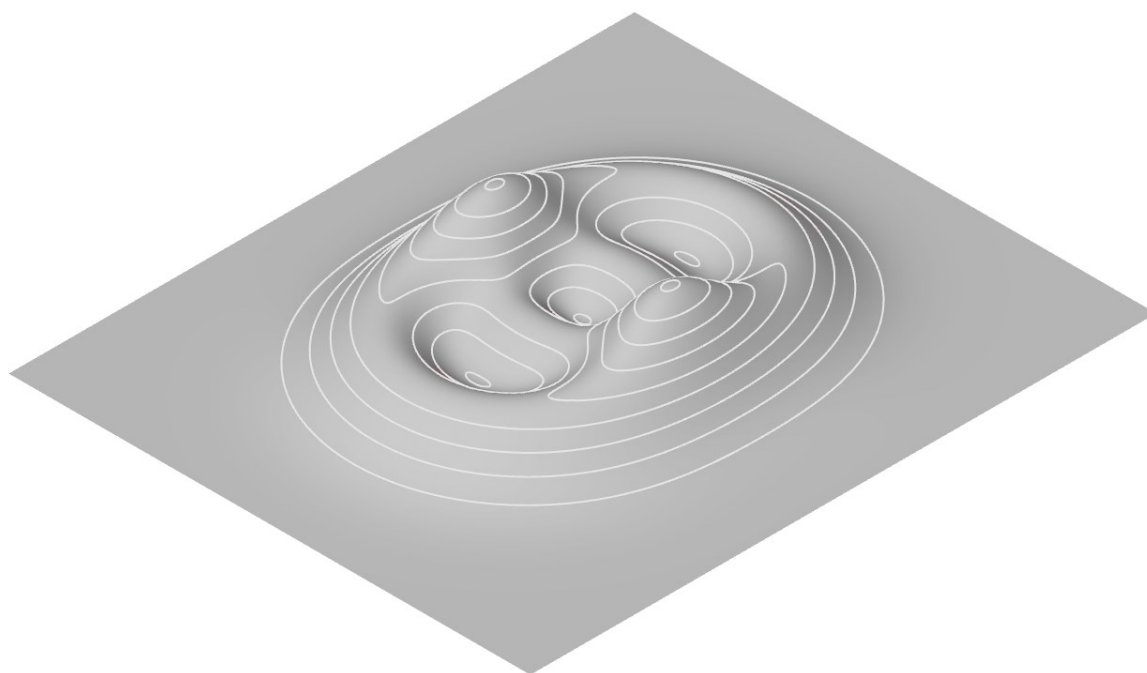


Fig. 47. Stadio del calcio M. Restituzione tridimensionale della funzione di visibilità.

Dal confronto tra le curve di visibilità calcolate da Moretti e le curve di visibilità calcolate analiticamente emergono importanti differenze. Queste differenze sono rintracciabili anche in precedenti ricerche che hanno digitalizzato, con diversi metodi, il processo progettuale di Moretti⁵⁴⁵. Tuttavia, queste ricerche non hanno riconosciuto esplicitamente queste divergenze.

L'intuizione di eliminare parte della tribuna in corrispondenza del lato corto del campo trova riscontro negli effettivi valori della funzione di visibilità. Invece, l'assottigliamento della tribuna in corrispondenza della parte centrale del lato lungo del campo non risulta essere giustificata dai valori assunti dalla curva di visibilità.

⁵⁴⁵ Cfr.: Bianconi, F., Filippucci, M., Buffi, A. & Vitali, L. (2020), "Morphological and visual optimization in stadium design: a digital reinterpretation of Luigi Moretti's stadiums", *Architectural Science Review*, vol. 63, no. 2, pp. 194-209.

Palestini, C., Basso, A. (2019), "Parametric Architecture and Representation, the Experiments of Luigi Moretti", in Marcos, C. (ed.), *Graphic Imprints. EGA 2018*, Cham: Springer, PP. 183-198.

Caponi P. &, Cutroni, F. (2019), "Revisiting the "M Stadium" Project by Luigi Moretti: A Forgotten Model of Parametric Architecture", In Lázaro, C., Bletzinger, K. & Oñate, E. (eds.), *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019*, Barcellona: International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE).

È possibile rintracciare alcune analogie formali tra lo Stadio M e alcune proposte progettuali di Luigi Moretti precedenti e successive alla mostra sull'Architettura Parametrica. Già a partire dai disegni preliminari per lo stadio-teatro al foro Mussolini del 1937 emerge l'intuizione che un semplice ellissoide non sia la forma più efficiente per ottimizzare la visibilità di un particolare evento sportivo quale il calcio, come mostrato negli schizzi in Fig. 48.

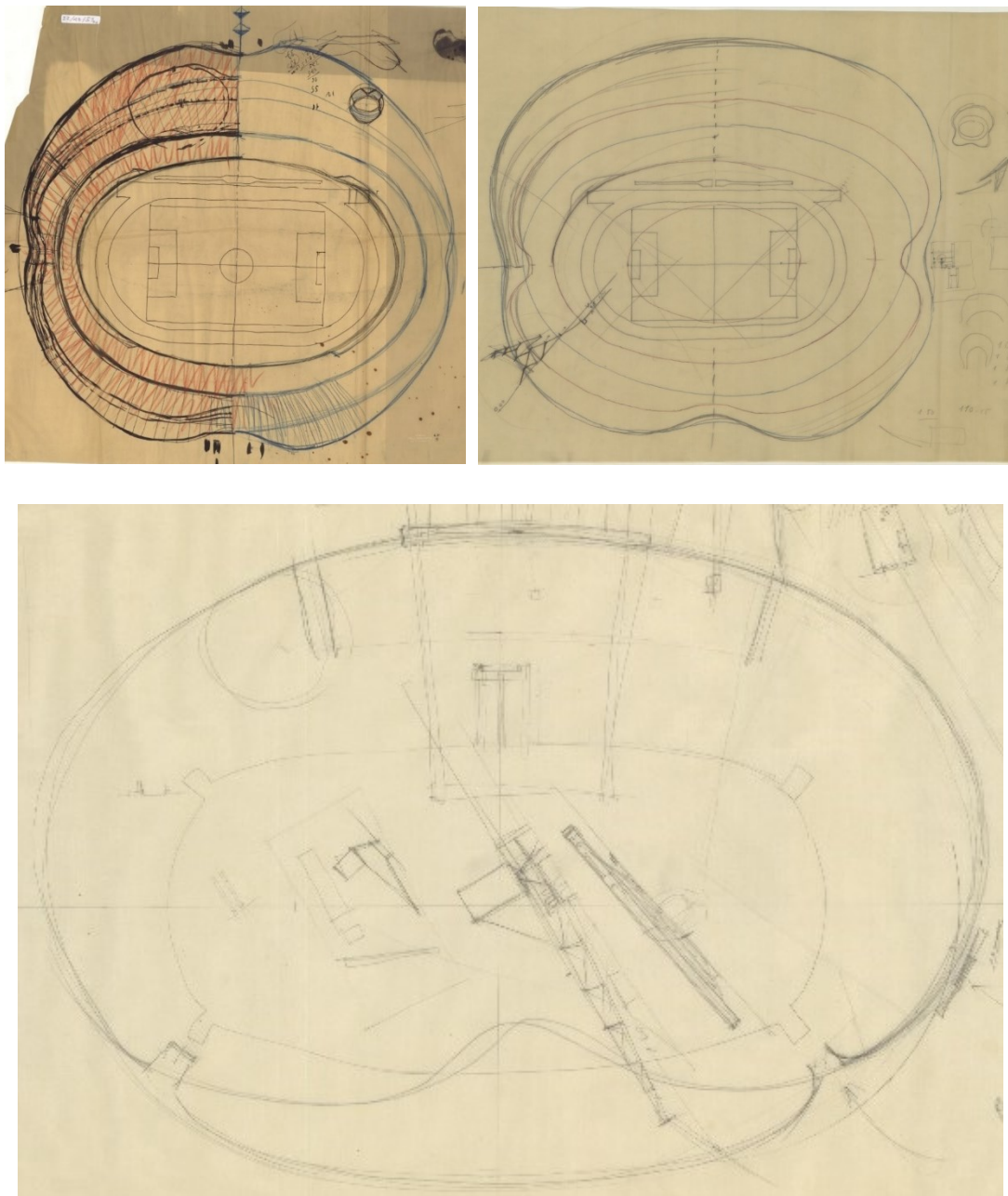


Fig. 48. Luigi Moretti, schizzi preliminari per il "Progetto dello stadio olimpico ed esecuzione fino al secondo anello delle gradinate" (1937-1940)⁵⁴⁶

⁵⁴⁶ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 62, d.37/48/53OR; 37/48/54OR; 37/48/31OR

Queste intuizioni non trovano però riscontro nell'effettiva proposta per lo stadio presso il foro Mussolini. È necessario, quindi, aspettare più di 20 anni affinché venga data forma più compiuta alle intuizioni sulla visibilità di Luigi Moretti. Il fondo Luigi Moretti presso l'Archivio Centrale dello Stato conserva gli schizzi e il progetto architettonico di massima per un *"Progetto di uno stadio secondo i canoni dell'Architettura Parametrica"* datato al 1960, la cui proposta ricalca le intuizioni alla base degli stadi del calcio presentanti alla triennale di Milano. Negli schizzi di progetto (vedi Fig. 49) possiamo infatti individuare una graficizzazione dei due centri di interesse e dell'angolo di visuale di circa 35°. La proposta finale, invece, presenterà solo su tre lati rastremazioni analoghe a quelle della mostra (vedi Fig. 50)

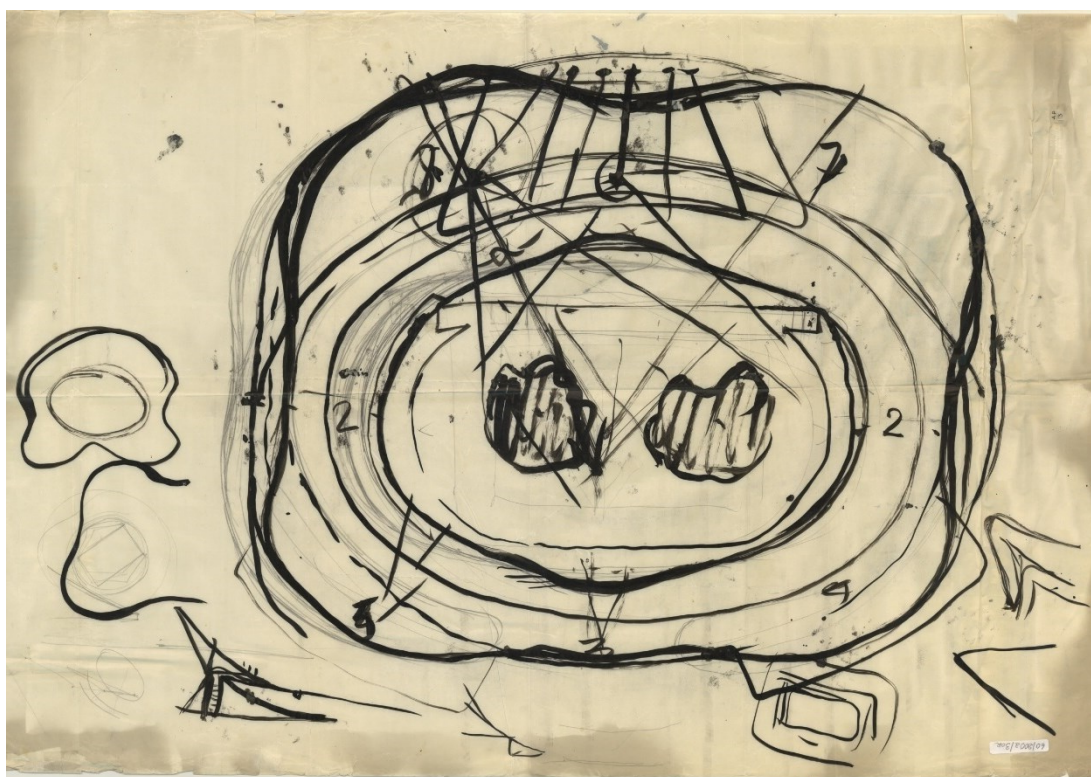


Fig. 49. Luigi Moretti. Schizzi preliminari per *"Progetto di uno stadio secondo i canoni dell'Architettura Parametrica"* (1960)⁵⁴⁷.

⁵⁴⁷ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 165, d.60/200a/3OR

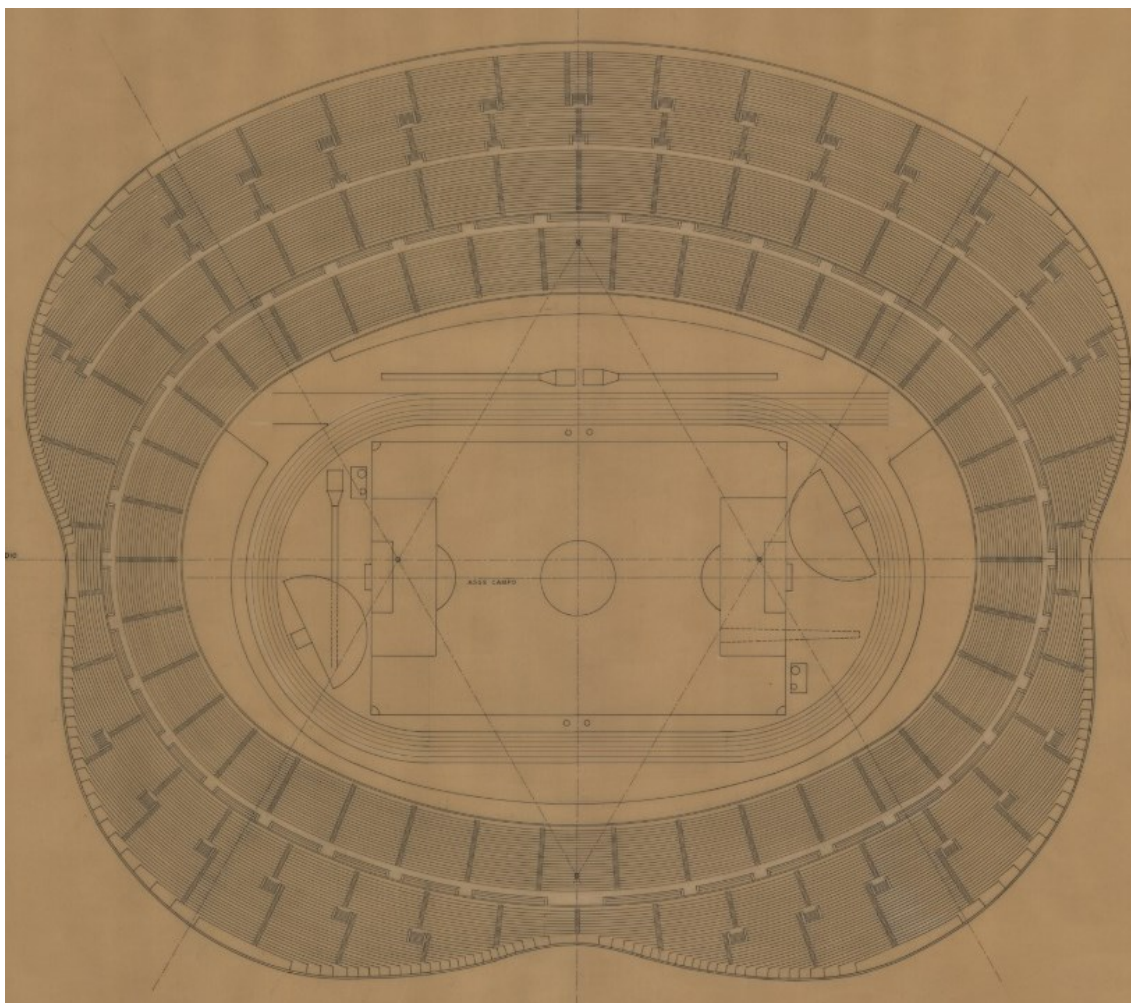


Fig. 50. Luigi Moretti. Pianta di progetto di uno stadio secondo i canoni dell'Architettura Parametrica (1960)⁵⁴⁸.

Ulteriori progetti sugli stadi del calcio offrono l'occasione di visualizzare il rapporto tra la *pre-forma* derivante dall'Architettura Parametrica e l'effettiva forma architettonica richiamata da Moretti nei suoi scritti teorici⁵⁴⁹. Per la proposta progettuale di "*ampliamento e ristrutturazione dello stadio olimpico*" del 1960 a un'unica tribuna che per mezzo delle sue rastremazioni elimina le aree a bassa qualità visiva, sono sostituite due tribune le quali presentano una netta separazione. La particolare geometria ottenuta risulta essere estremamente coerente con i valori della funzione di visibilità calcolati analiticamente (vedi Fig. 46, destra).

⁵⁴⁸ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 165, d.60/200a/6

⁵⁴⁹ Moretti, L., "Struttura come Forma".

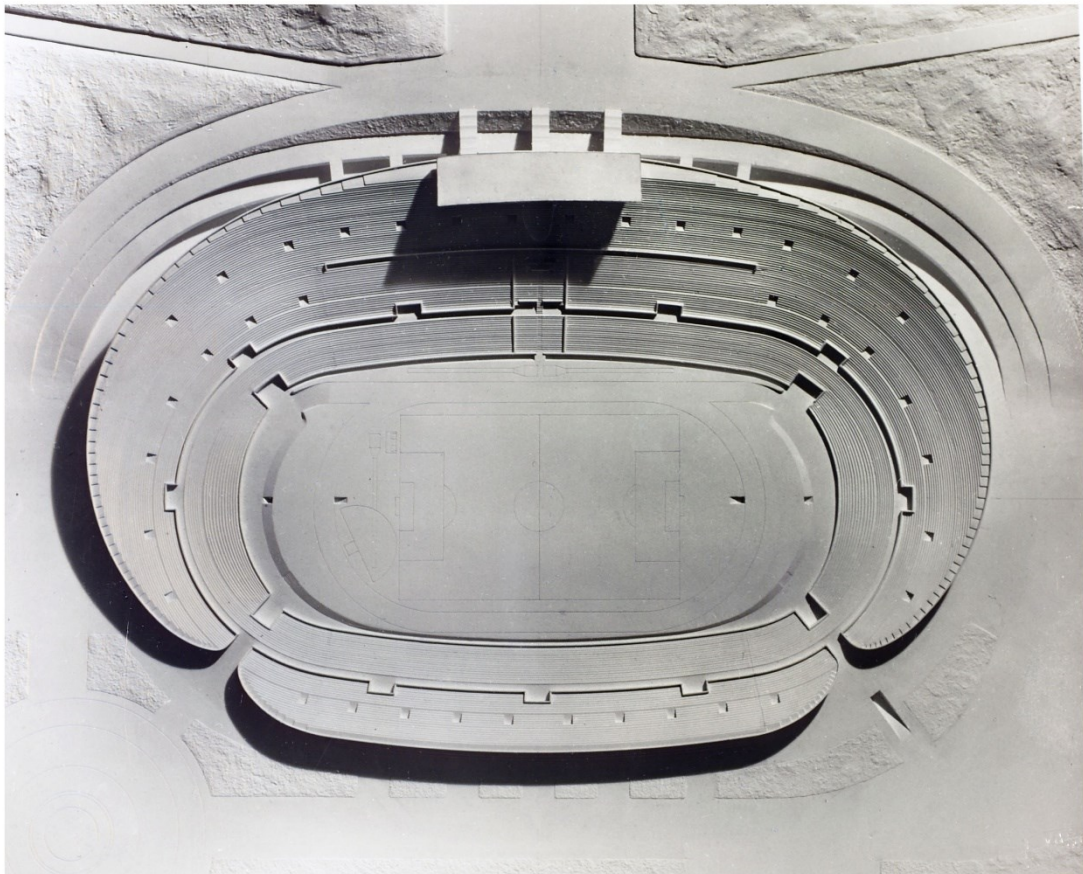


Fig. 51. Luigi Moretti. Proposta per ampliamento e ristrutturazione dello stadio olimpico (1960)⁵⁵⁰.

I progetti per gli stadi del complesso olimpico di Teheran possono invece essere considerati un campionario di soluzioni di Architettura Parametrica, nel quale sono indagate differenti possibili declinazioni formali derivanti dalle ormai note intuizioni sulla qualità visiva.

⁵⁵⁰ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 164, F.03083

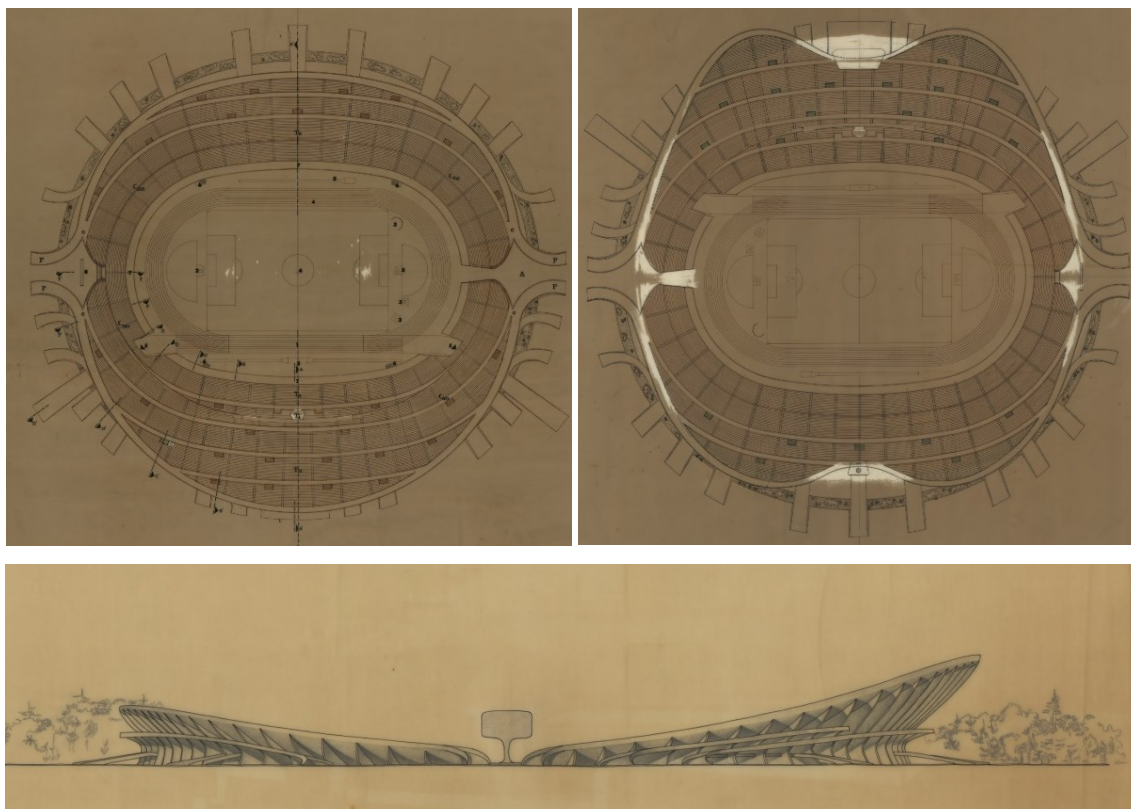


Fig. 52. Luigi Moretti. Stadio per 65000 spettatori nel complesso olimpico di Teheran (1966) Soluzioni planimetriche 1 e 2. Soluzione di prospetto⁵⁵¹.

⁵⁵¹ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 222 d.66/248/11; 66/248/11; 66/248/17.

Stadio del calcio N

Come per lo Stadio M, anche per lo “Stadio N” Moretti propone una serie di intuizioni in forma testuale a partire dalle quali ricavare una funzione di visibilità:

- a) LUNGO OGNI RAGGIO PER O LA VISIBILITÀ, NULLA IN O , CRESCE FINO AD UN MASSIMO, POI DECRESCE FINO AD ANNULARSI ALL'INFINITO;
- b) IL LUOGO DEI MASSIMI È UN ELLISSE, AVENTE COME FUOCHI 2 PUNTI C_1, C_2 SITUATI SULL'ASSE MAGGIORE DEL CAMPO 15 METRI INNANZI A CIASCUNA DELLE PORTE, E CHE PASSA PER IL PUNTO SITUATO SULL'ASSE TRASVERSO DA CUI SONO VISTI SOTTO UN ANGOLO DI 35° I DUE CERCHI, DI CENTRO RISPETTIVAMENTE IN C_1 E C_2 E RAGGIO 25 METRI (ZONA DI INTERESSE);
- c) AL VARIARE DI ϑ I MASSIMI SU CIASCUN RAGGIO VARIANO RAGGIUNGENDO IL MASSIMO VALORE QUANDO ϑ È DI 36° .⁵⁵²

⁵⁵² Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 17.

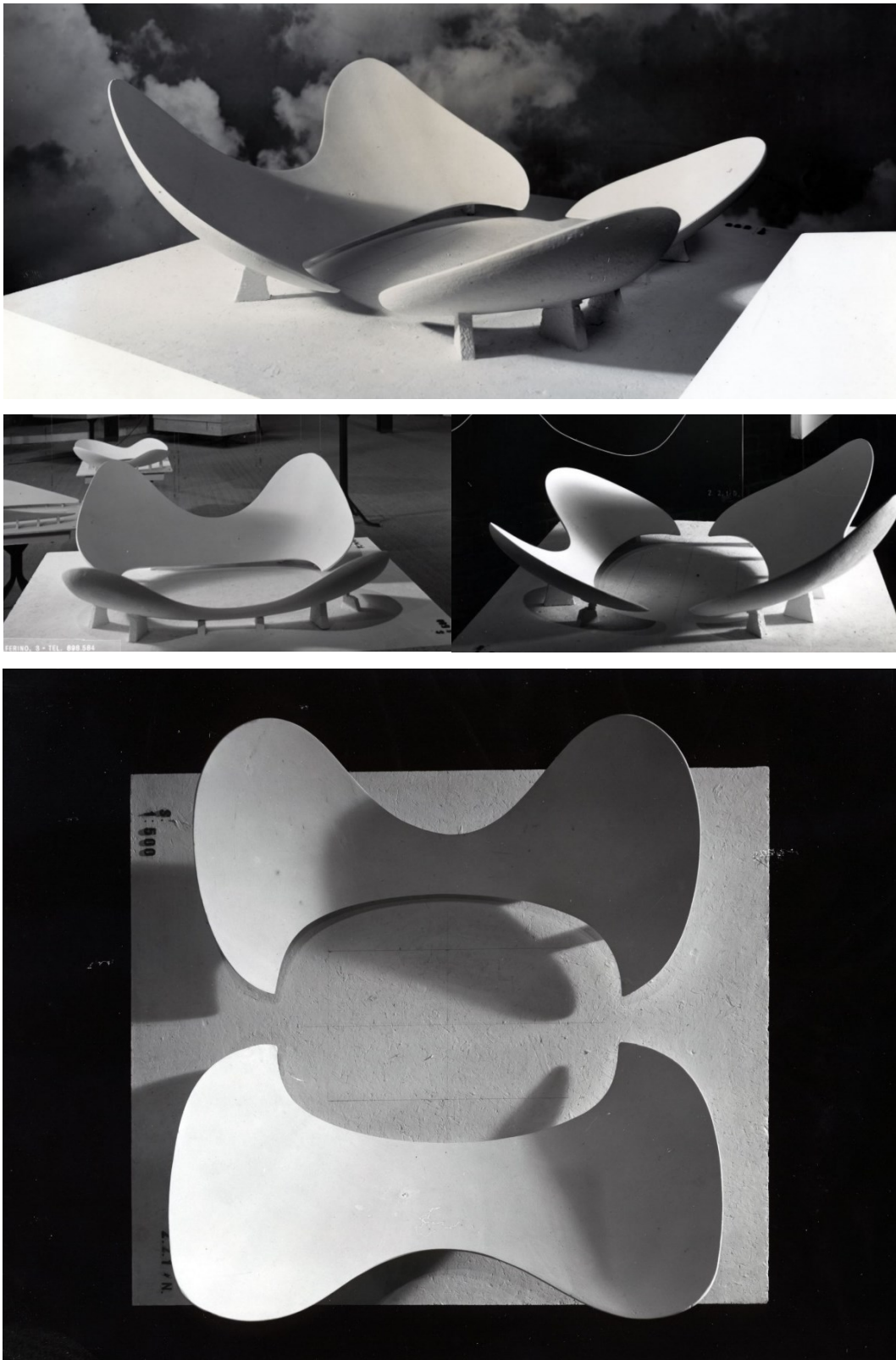


Fig. 53. Luigi Moretti. Stadio per il calcio N⁵⁵³

⁵⁵³ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, "Mostra IRMOU (architettura parametrica) alla XII Triennale", F. 03056, F.03050, F.03058, F.03066

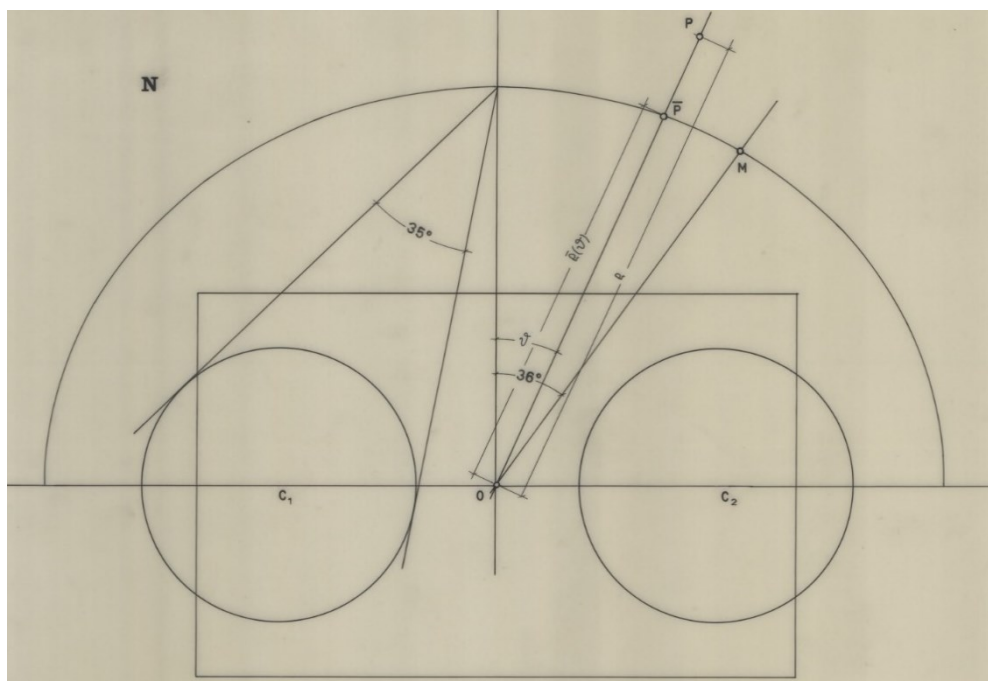


Fig. 54. Luigi Moretti. Schema geometrico del problema per lo Stadio per il calcio M⁵⁵⁴.

La formula per la funzione di visibilità proposta da Moretti è la seguente:

$$W = x^{k(y)} e^{-k(y)x} \quad (4)$$

Con:

$$k(y) = 3.5y^2 - 2.5y + 1.5 \quad (5)$$

$$x = \frac{\rho}{\bar{\rho}(\vartheta)} \quad (6)$$

$$y = \frac{2\vartheta}{\pi} \quad (7)$$

Lo Stadio N aggiunge rispetto allo Stadio M un parametro relativo all'angolo di visione che permette di calcolare la qualità visiva come un unico contributo, anche se continuano a essere considerate due zone di interesse per l'individuazione della curva di massima visibilità. Questa curva è infatti una ellisse che presenta i due fuochi nei centri delle due zone di

⁵⁵⁴ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, "Mostra IRMOU (architettura parametrica) alla XII Triennale", d. 60/198/6.

interesse, le quali sono posizionate in modo analogo allo Stadio M. Moretti dichiara che la visibilità è funzione dell'angolo ϑ tra l'asse verticale e la congiungente tra lo spettatore e il centro del campo. Propone, infine, di individuare il massimo della visibilità assoluta per $\vartheta=36^\circ$.

Si propone di ipotizzare il processo progettuale adottato per l'ideazione delle formule presentate da Moretti e si riportano brevemente le operazioni analitiche necessarie alla derivazione in forma esplicita della funzione di visibilità totale W .

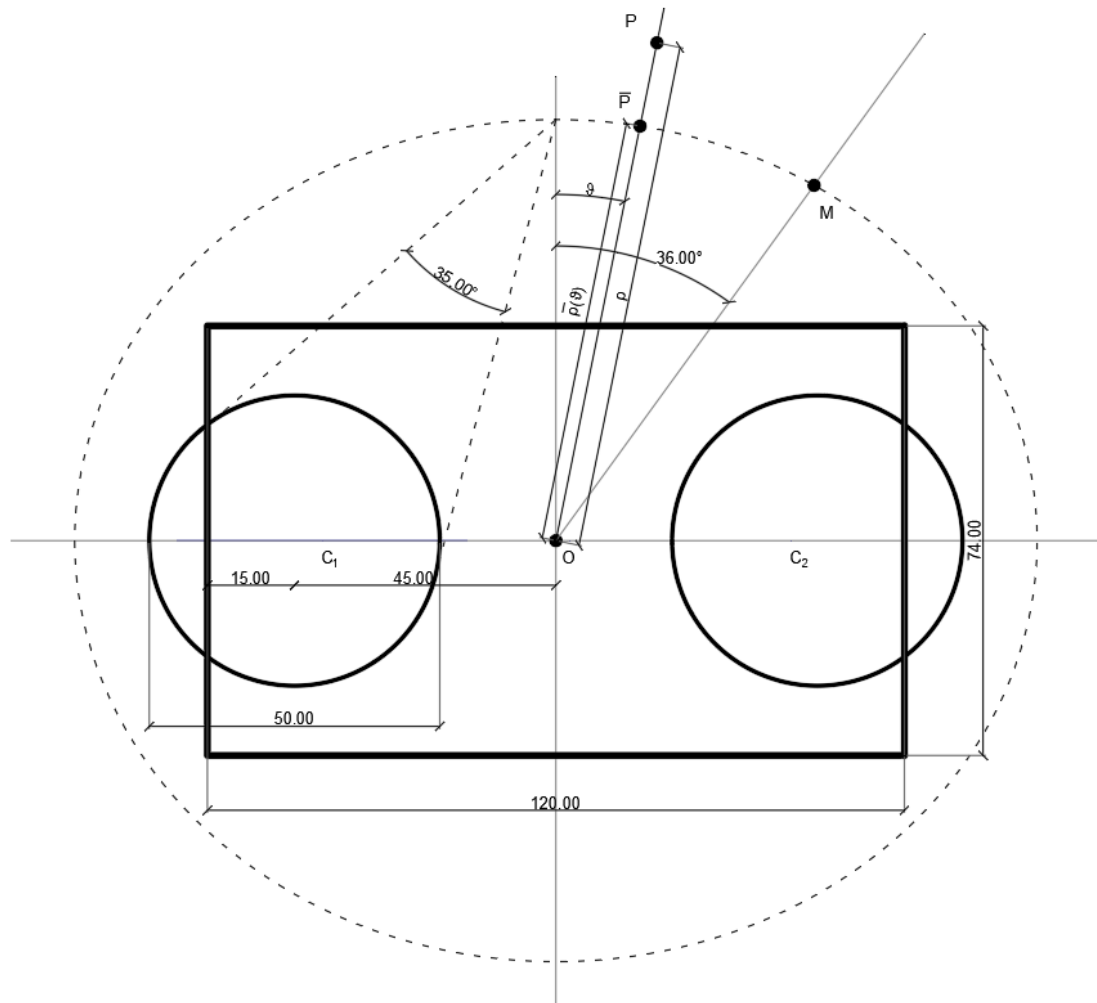


Fig. 55. Geometrizzazione del problema dello stadio del calcio M.

L'equazione (4) presenta una composizione analoga all'equazione (1), in quanto basata sulla combinazione di un parametro che tiene conto della distanza e di un parametro che tiene conto dell'angolo di visione. L'equazione polinomiale del contributo k (5), invece, restituisce un punto di massimo per $y = \frac{5}{14}$. Sostituendo tale valore nella equazione (7), si ottiene

l'angolo di visuale che massimizza la funzione k , cioè quel valore che Moretti definisce come "ottimale".

$$\frac{5}{14} = \frac{2\vartheta}{\pi} \rightarrow \vartheta_{MAX} \cong 35.6^\circ \quad (8)$$

Di conseguenza, si può ipotizzare che la funzione k , cioè una semplice equazione di secondo grado, è costruita e introdotta per poter massimizzare la funzione di visibilità in corrispondenza dell'angolo ottimale scelto.

Per ricavare in modo esplicito la funzione di visibilità W (4), è prima necessario chiarire i ruoli dei vari parametri coinvolti nella sua generazione. Moretti indica con ρ la distanza di un generico punto P dal centro del campo O , mentre con $\bar{\rho}(\vartheta)$ indica la distanza tra il centro del campo O e l'intersezione tra l'ellisse e la retta passante per P e O (vedi Fig. 55). Per il calcolo di $\bar{\rho}(\vartheta)$ risulta necessario introdurre la formula di intersezione tra una ellisse e una linea. Assumendo un sistema di coordinate cartesiane centrato nel punto O , possiamo ricavare le coordinate del punto $\bar{P}$:

$$\bar{x}_p = \pm \frac{(a \ b)}{\sqrt{a^2 y_p^2 + b^2 x_p^2}} x_0 \quad (9)$$

$$\bar{y}_p = \pm \frac{(a \ b)}{\sqrt{a^2 y_p^2 + b^2 x_p^2}} y_0 \quad (10)$$

Nelle equazioni precedenti, a e b rappresentano rispettivamente il semiasse maggiore e il semiasse minore dell'ellisse di visibilità ottimale, mentre y_p e x_p rappresentano le coordinate cartesiane di un generico punto P . Le equazioni (9) e (10) restituiscono solo delle coordinate cartesiane, di conseguenza bisogna ricavare le distanze necessarie per il calcolo della equazione (6). Esse possono essere calcolate come:

$$\rho = \sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2} \quad (11)$$

$$\bar{\rho}(\vartheta) = \sqrt{(\bar{x}_p - x_0)^2 + (\bar{y}_p - y_0)^2} \quad (12)$$

Per il calcolo di γ (7) è necessario esplicitare in forma analitica il valore dell'angolo ϑ . È possibile calcolare tale angolo attraverso la formula dell'arcotangente:

$$\vartheta = \left| \text{atan} \left(\frac{x_p - x_0}{y_p - y_0} \right) \right| \quad (13)$$

Le operazioni condotte permettono quindi di esprimere la (4) in termini espliciti, replicando quindi il processo progettuale utilizzato da Moretti e dall' I.R.M.O.U..

Confronto

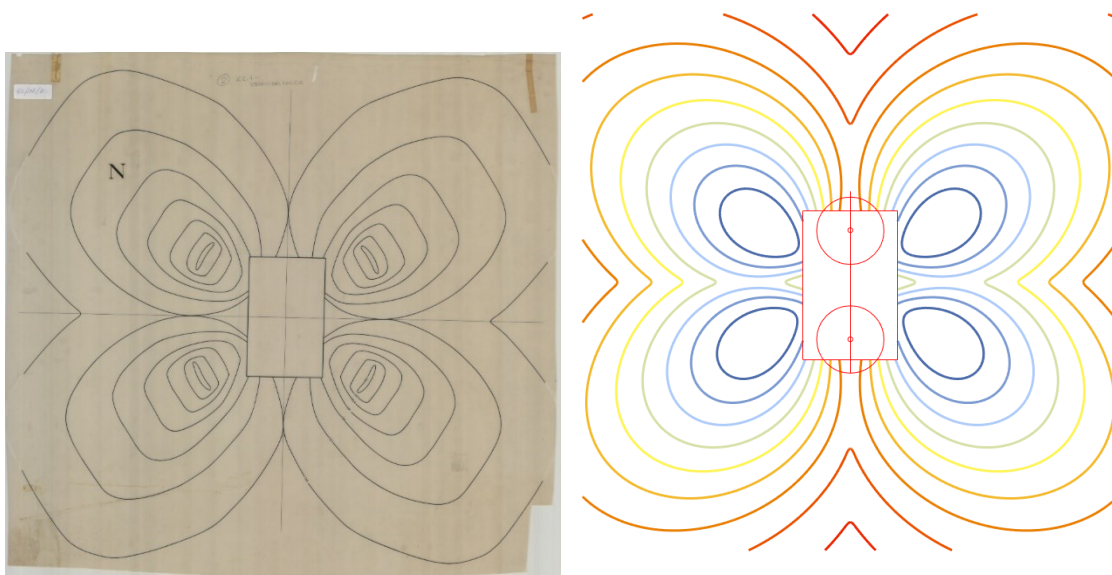


Fig. 56. Stadio N. Funzione di visibilità calcolata da Moretti⁵⁵⁵ e funzione di visibilità derivata analiticamente.

⁵⁵⁵ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d. 60/198/8.

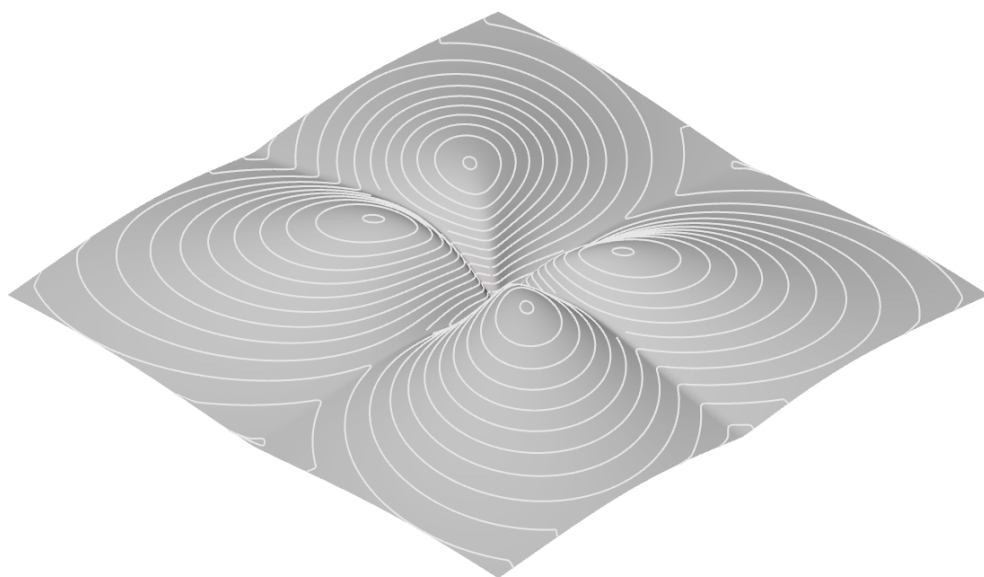


Fig. 57. Stadio N. Restituzione tridimensionale della funzione di visibilità.

Dal confronto tra le curve di visibilità calcolate da Moretti e le curve di visibilità calcolate analiticamente emergono alcune differenze che comunque non mettono in discussione la validità delle intuizioni di Moretti. In particolare, in corrispondenza di ϑ_{MAX} (36°) la funzione di visibilità proposta da Moretti risulta essere più schiacciata rispetto al calcolo analitico.

È possibile notare che le equazioni proposte per lo stadio N sono state nel tempo rimaneggiate. In particolare, numeratore e denominatore della funzione y (7) sono stati invertiti nella bozza del catalogo e nelle didascalie di un articolo dedicato all'Architettura Parametrica.

c) al variare di θ i massimi su ciascun raggio variano raggiungendo il massimo valore quando θ è di 36° per W perciò si è scelta la seguente funzione:

$$W = x^{k(y)} e^{-k(y)x}$$

con $k(y) = 3,5 y^2 - 2,5 y + 1,5$

cancelare il trattino -

$$x = \frac{\rho}{\bar{\rho}(\theta)} \quad y = \frac{\pi}{2\theta}$$

1; 1/2

Fig. 58. Correzioni sulla funzione y nella bozza del catalogo della mostra⁵⁵⁶.

c) al variare del centro, i massimi su ciascun raggio variano raggiungendo il massimo valore quando l'angolo è di 36° per W perciò si è scelta la seguente funzione:

$$W = x^{k(y)} e^{-k(y)x}$$

con $K(y) = 3,5 y^2 - 2,5 y + 1,5$; $x = \frac{\rho}{\bar{\rho}(\theta)} \quad y = \frac{\pi}{2\theta}$

Fig. 59. Differente valore della funzione y ⁵⁵⁷.

È possibile rintracciare alcune analogie tra lo Stadio N e altri lavori di Luigi Moretti.

Le intuizioni alle base dello Stadio N sono riconoscibili nella pratica professionale di Moretti già nel primo dopoguerra, ben prima dell'istituzione dell'I.R.M.O.U. Nella proposta per il "Piazzale delle Adunate" al Foro Mussolini è possibile riconoscere un aumento della superficie della tribuna in corrispondenza di quell'angolo ottimale $\theta_{MAX} \cong 35^\circ$. Ciò si traduce in una forma architettonica che predilige una visione obliqua degli eventi, al pari delle tribune dello stadio N.

⁵⁵⁶ Cfr. ACSRo, Fondo Luigi Moretti, busta 51.

⁵⁵⁷ Ventriglia, F. (1960), *Luigi Moretti e la ricerca di un ordine oggettivo*, estratto da *Rassegna dei Lavori Pubblici*, n. 11, novembre 1960.

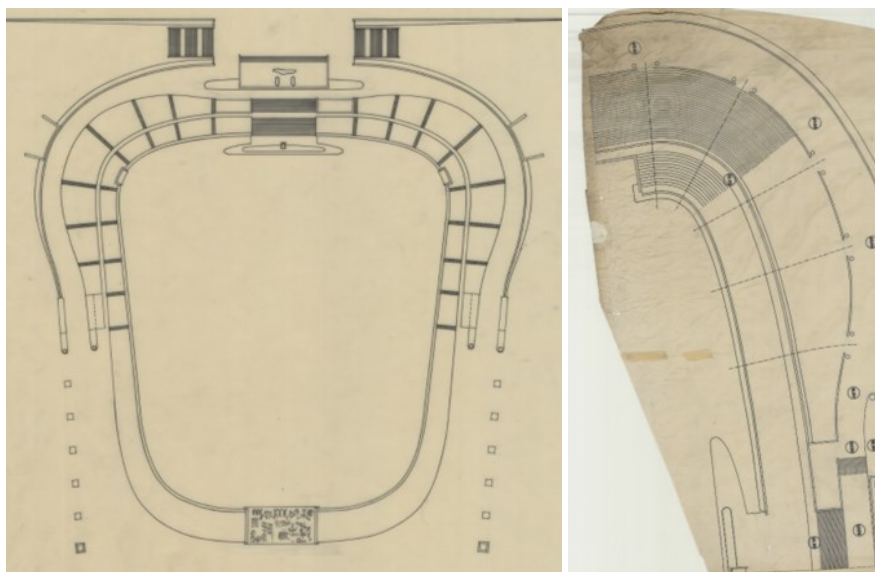


Fig. 60. Luigi Moretti. *Proposta progettuale per il piazzale delle adunate (1936-1942)*⁵⁵⁸.

L'intuizione dello Stadio N non può che condurre a una “*pre-forma latissima*” - concetto centrale nella teoria dell'*Architettura Parametrica*⁵⁵⁹ - che deve essere trasformata in forma attraverso il progetto di architettura, come testimoniato in uno schizzo di difficile datazione con cui Moretti indaga diverse alternative progettuali chiaramente riconducibili allo Stadio N.

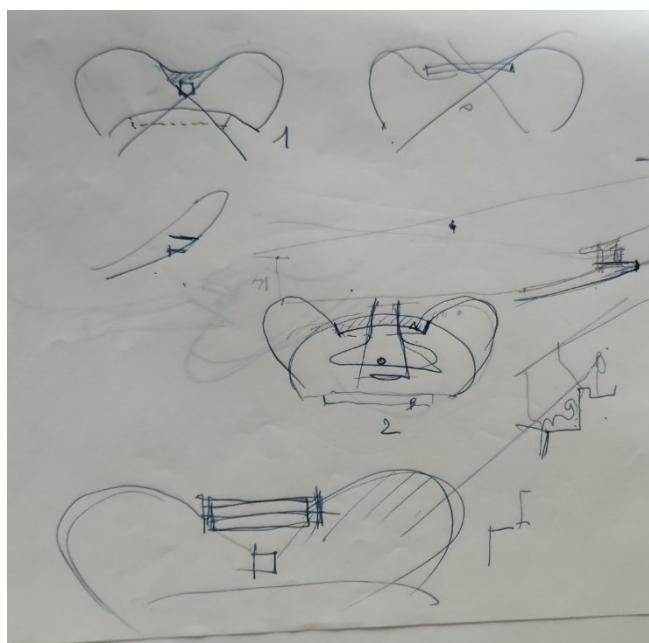


Fig. 61. Luigi Moretti. *Schizzo*.⁵⁶⁰

⁵⁵⁸ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 59, d.36/42/8;36/42/9.

⁵⁵⁹ Moretti, L., “Struttura come Forma”.

⁵⁶⁰ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, busta 40.

Stadi per il Nuoto A-B

Il catalogo presenta le curve di visibilità per due stadi “A” e “B” destinati al nuoto. Tuttavia, solo uno dei due, lo Stadio B, appare replicabile. Nel catalogo, infatti, Moretti si limita a dire che per lo Stadio A *“si è preferita una curva che tenesse conto della preminenza di interesse della zona A₁”* senza specificare la natura di questa curva. Di conseguenza, per evitare una ricostruzione basata su un numero eccessivo di ipotesi, si è preferito non derivare questa curva a partire dalle curve di visibilità. Si presenta quindi solamente il processo di analisi e ricostruzione compiuto sullo Stadio B.

Per lo Stadio B Luigi Moretti espone una serie di ipotesi propedeutiche al calcolo di una funzione di visibilità W:

- a) VISIBILITÀ DELL'INTERA PISCINA
- b) APPETIBILITÀ VISIVA: MAGGIORE PER ZONE A₁ E B₁ DOVE SI HANNO LE PARTENZE, GLI ARRIVI, I TUFFI E IL CAMPO DELLA PALLANUOTO; MINORE PER LE ZONE A₂ E B₂ DELLE VIRATE.
- c) NON ALTA VELOCITÀ DEGLI SPOSTAMENTI DEGLI ATLETI IN ACQUA E CONSEGUENTE POSSIBILITÀ DI CONSIDERARE UN CAMPO VISIVO, FISIOLGICAMENTE SOPPORTABILE, SINO A 120°.
- d) SU UN RAGGIO R PER IL CENTRO P₀ DELLA ZONA DI MAGGIORE INTERESSE, LA VISIBILITÀ CRESCE DA ZERO FINO AD UN MASSIMO (DIPENDENTE DA θ , ANGOLO CHE R FORMA CON L'ASSE LONGITUDINALE DELLA PISCINA) POI DECRESCENDO TENDENDO A ZERO QUANDO LA DISTANZA DA P₀ TENDE AD INFINITO
- e) IL MASSIMO SU UN RAGGIO, M(θ), È MINIMO PER $\vartheta = 0$, CRESCE FINO A CHE $\vartheta \leq \frac{\pi}{2}$, DECRESCENDO QUINDI FINO A RIPRENDERE, PER $\vartheta = \pi$, LO STESSO VALORE CHE PER $\vartheta = 0$.

- f) COME LUOGO DEI MASSIMI (PER CIASCUN RAGGIO, AL VARIARE DI ϑ) È STATO ASSUNTO IN UN CASO (B) UNA ELLISSE AVENTI I FUOCHI NEI CENTRI DELLE DUE ZONE DI INTERESSE.⁵⁶¹

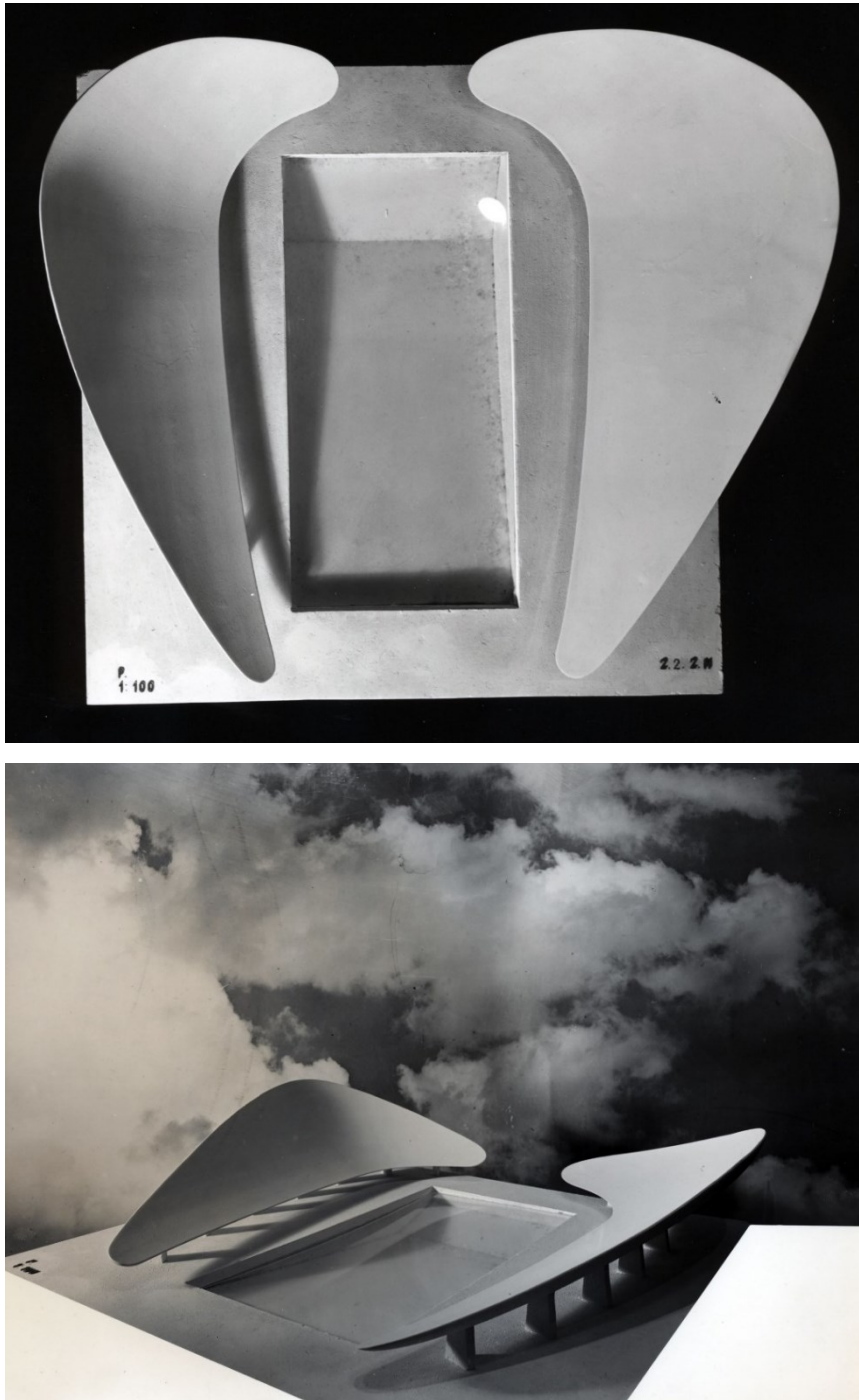


Fig. 62. Luigi Moretti. Stadio per il Nuoto⁵⁶².

⁵⁶¹ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 18.

⁵⁶² ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, F. 03053; F. 03055.

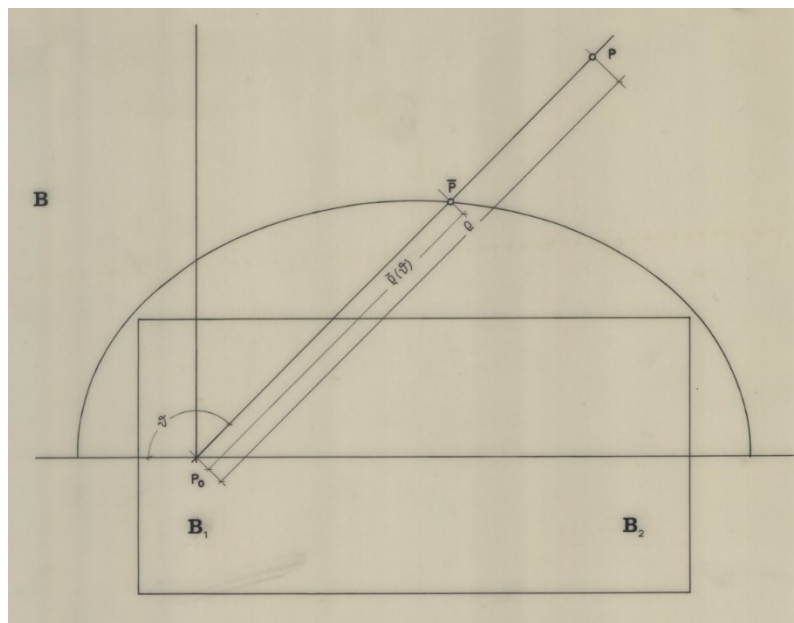


Fig. 63. Luigi Moretti, problema geometrico per lo stadio del nuoto ⁵⁶³.

La formula per la funzione di visibilità proposta da Moretti è la seguente:

$$W = e^{y(1-y)-k(y)(x-\log(x))} \quad (14)$$

Con:

$$k(y) = 4y^2 - 4y + 2 \quad (15)$$

$$x = \frac{\rho}{\bar{\rho}(\theta)} \quad (16)$$

$$y = \frac{\theta}{\pi} \quad (17)$$

Lo Stadio B continua quindi a riproporre l'approccio utilizzato per lo Stadio M e lo Stadio N. Tuttavia, tale approccio in questo caso annovera l'ipotesi che l'informazione visiva è molto più importante in corrispondenza delle partenze e degli arrivi e non della linea di svolta. Ciò significa, come esplicitato da Moretti, che per la progettazione di uno stadio per il nuoto è necessario considerare che a diverse aree della piscina corrispondono diversi valori di *appetibilità visiva*. Di conseguenza, tutti gli angoli e le distanze sono calcolati nei confronti del

⁵⁶³ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d.60/198/9.

fuoco B_1 dell'ellisse di visibilità ottimale. Le distanze sono normalizzate nei confronti dell'ellisse ottimale con un procedimento analogo allo Stadio N, mentre l'angolo di visuale ϑ è misurato sull'asse longitudinale dello stadio.

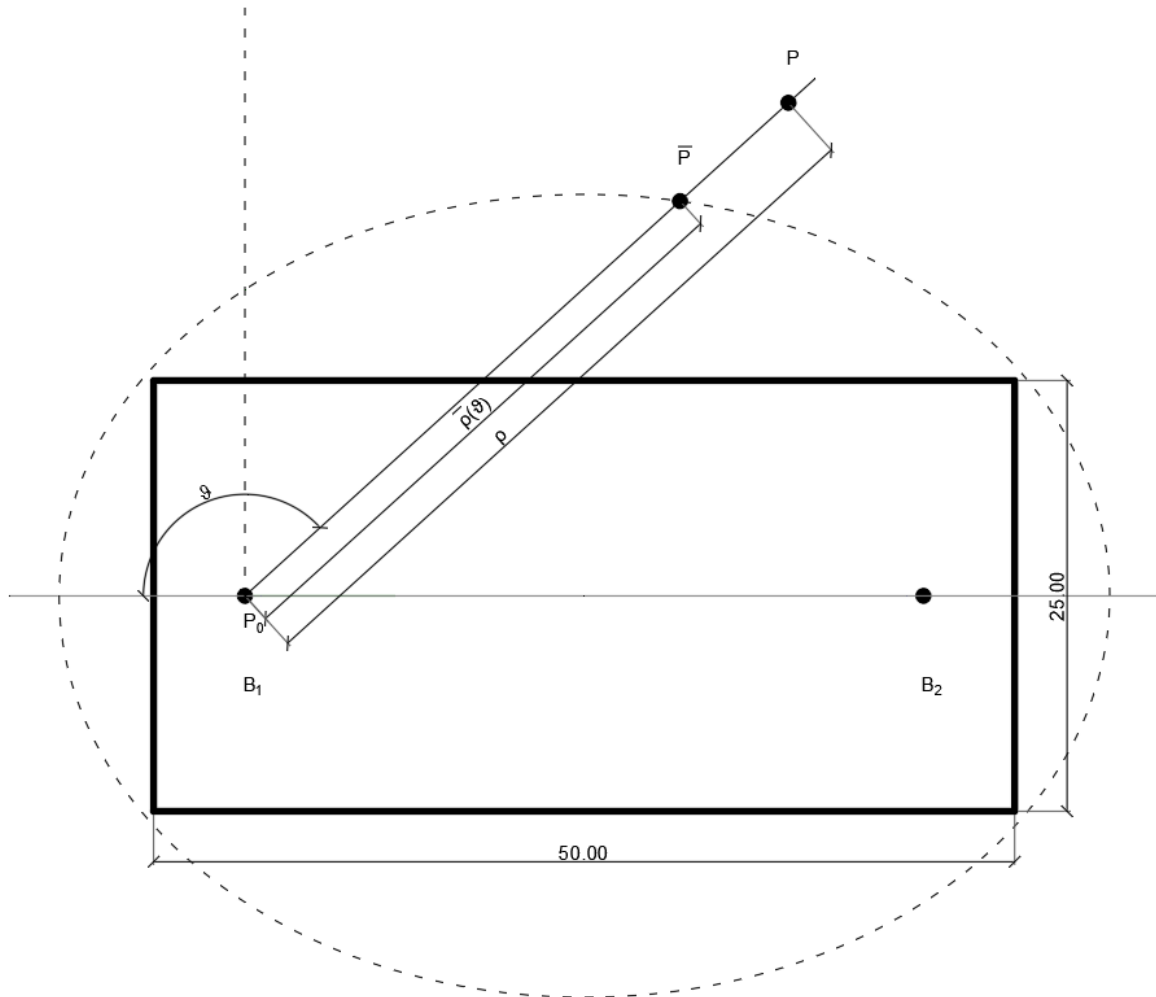


Fig. 64. Geometrizzazione del problema dello stadio B.

In assenza di indicazioni dimensionali, la geometria del problema è stata ricondotta a una piscina olimpionica di dimensioni 50 metri per 25 metri. Analizzando le equazioni, è possibile notare che Moretti propone ancora la composizione di diverse equazioni che, se prese singolarmente, mirano a massimizzare o minimizzare la visibilità in accordo con le sue intuizioni. La funzione k presenta infatti un minimo per $y = \frac{1}{2}$ che, se sostituito nella (17) restituisce l'angolo di visione ottimale:

$$\frac{1}{2} = \frac{\vartheta}{\pi} \rightarrow \vartheta_{MAX} = 90^\circ \quad (18)$$

In modo analogo, si può notare che anche $e^{y(1-y)}$ presenta un massimo per $y = \frac{1}{2}$ che rafforza l'angolo di visuale ottimale $\vartheta_{MAX} = 90^\circ$. Infine, la parte $(x - \log(x))$ è inserita per ottenere un massimo per $x=1$, cioè per tutti i punti sull'ellisse ottimale.

Si propone di ipotizzare il processo progettuale adottato per l'ideazione delle formule presentate da Moretti e si riportano brevemente le operazioni analitiche necessarie alla derivazione in forma esplicita della funzione di visibilità totale W .

Si ipotizza che il posizionamento del centro di interesse in corrispondenza di un fuoco di una ellisse sia compiuto per poter esprimere la funzione di visibilità attraverso delle coordinate polari con le quali risulta più immediato il calcolo delle distanze e degli angoli. Si propone di utilizzare un sistema di coordinate polari centrato nel fuoco sinistro B_1 (punto di interesse scelto da Moretti) per un calcolo più agevole di $\bar{\rho}(\vartheta)$:

$$\bar{\rho}(\vartheta) = \frac{a(1 - e^2)}{1 \pm e \cos \vartheta} \quad (19)$$

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \quad (20)$$

In cui a e b sono il semiasse maggiore e il semiasse minore dell'ellisse ottimale mentre e è la sua eccentricità. Per utilizzare la equazione (19), è necessario ricavare per ogni punto P i relativi valori dell'angolo ϑ . Ciò è possibile per mezzo della funzione arcotangente⁵⁶⁴:

$$\vartheta = \text{atan2}(y_p; x_p) \quad (21)$$

La distanza ρ tra il generico punto P e il centro d'interesse è calcolata per mezzo di un sistema di coordinate cartesiane centrato in B_1 :

$$\rho = \sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2} \quad (22)$$

⁵⁶⁴ È utilizzata la funzione trigonometrica atan2 per non appesantire eccessivamente la parte di derivazione analitica della funzione W nonostante essa sia stata introdotta nel linguaggio Fortran a partire dal 1961.

Le operazioni condotte permettono di esprimere la (14) in termini espliciti, replicando il processo progettuale utilizzato da Moretti e dall' I.R.M.O.U.

Confronto

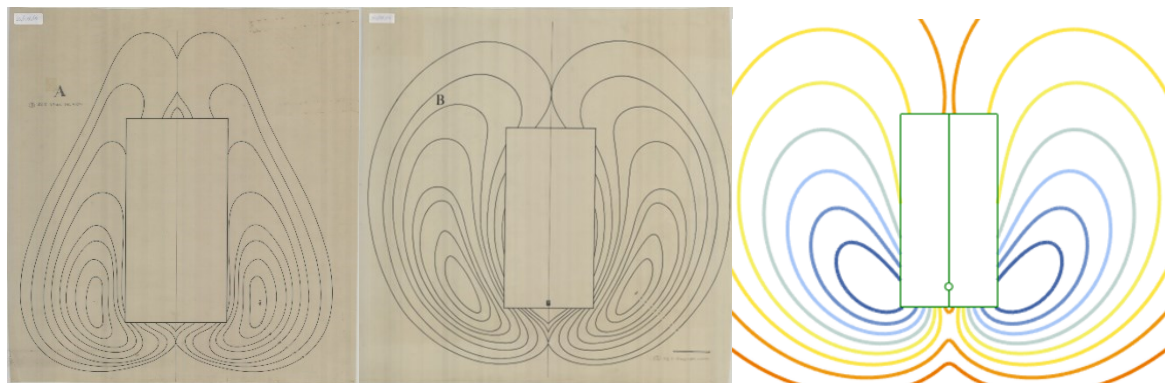


Fig. 65. Stadio del nuoto A e B. Funzione di visibilità calcolata da Moretti⁵⁶⁵ e funzione di visibilità derivata analiticamente.

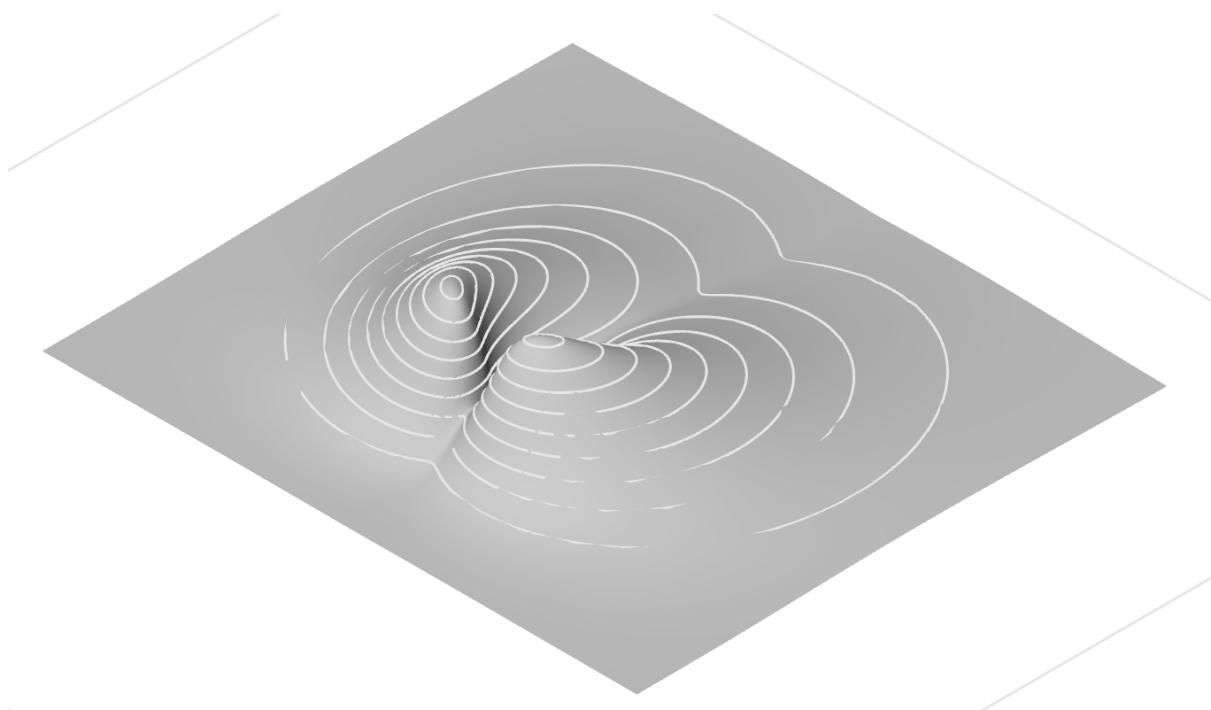


Fig. 66. Stadio del nuoto B. Restituzione tridimensionale della funzione di visibilità.

Le curve di visibilità calcolate analiticamente presentano delle lievi divergenze nelle larghezze trasversali delle singole isoipse e in corrispondenza delle loro geometrie nella linea

⁵⁶⁵ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d.60/198/11; 60/198/10.

di svolta. Il modello 3D dell'unico stadio per nuoto presentato, invece, appare come un compromesso tra le curve di visibilità dei due stadi A e B.

È necessario riconoscere che, come nel caso dello Stadio N, le equazioni proposte presentano alcune incongruenze nei confronti di altre pubblicazioni. In particolare, il termine $(x - \log(x))$ è indicato in altri testi come $(x - 1)$.

Di conseguenza la espressione della funzione è la seguente:

$$W = e^{y(1-y) - x(y)(x-1)} \log x$$

$y = \frac{\pi}{\vartheta}$; $x = \frac{\rho}{\bar{\rho}(\vartheta)}$; $k(y) = 4y^2 - 4y + 2$

dove ρ indica la distanza del generico punto del piano (nel quale si valuta la

Fig. 67. Correzioni sulla funzione W nella bozza del catalogo della mostra⁵⁶⁶.

Di conseguenza l'espressione della funzione è la seguente:

$$W = e^{y(1-y) - k(y)(x-1)}$$

$y = \frac{\pi}{\vartheta}$; $x = \frac{\rho}{\bar{\rho}(\vartheta)}$; $k(y) = 4y^2 - 4y + 2$

del generico punto del piano

Fig. 68. Differente valore della funzione W ⁵⁶⁷.

Alcune piscine di dimensioni contenute sono presenti nelle proposte progettuali della Casa delle Armi e dei Bagni romani nelle terme al Foro Mussolini. Tuttavia, questi due esempi non mostrano similitudini con lo Stadio B, in quanto destinati a un numero contenuto di spettatori. L'unico progetto di Moretti per uno stadio del nuoto è rintracciabile nella proposta progettuale per i giochi olimpici di Teheran il quale è caratterizzato da una lieve eccentricità delle tribune verso l'area dei tuffi. Questa eccentricità risulta ancora più accentuata nei primi schizzi progettuali del masterplan per il complesso olimpico.

⁵⁶⁶ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d.60/198/10.

⁵⁶⁷ Ventriglia, F. (1960), *Luigi Moretti e la ricerca di un ordine oggettivo*, estratto da *Rassegna dei Lavori Pubblici*, n. 11, novembre 1960.

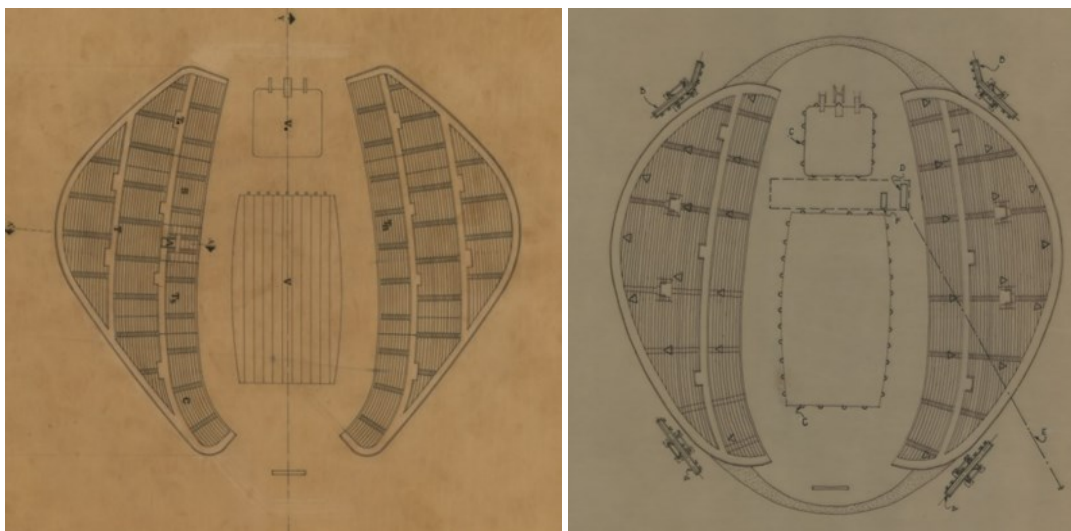


Fig. 69. Luigi Moretti. Proposte progettuali per la piscina scoperta per 10 000 spettatori nel complesso olimpico di Teheran (1966)⁵⁶⁸.

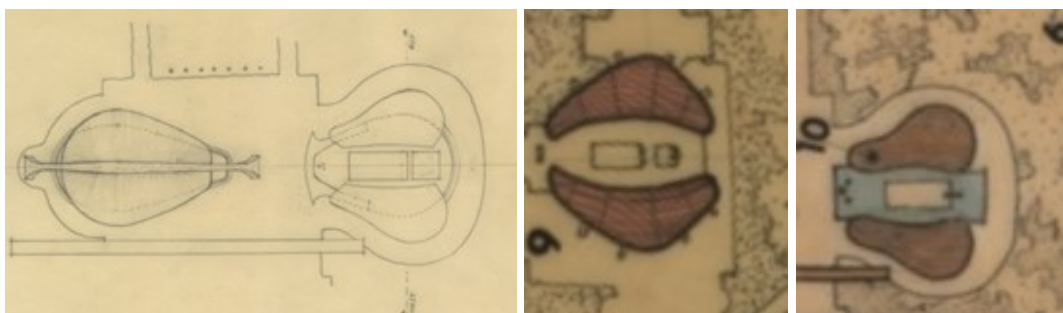


Fig. 70. Luigi Moretti. Proposte preliminari per la piscina scoperta nel complesso olimpico di Teheran (1966)⁵⁶⁹.

È possibile individuare un caso di ibridazione tra lo Stadio per il calcio M e lo Stadio per il nuoto in una delle proposte per lo stadio olimpionico di Teheran in cui le tribune presentano una lieve eccentricità verso le zone di maggiore interesse dal punto di vista dell'atletica leggera, cioè le aree destinate al salto in alto, lancio del martello e simili.

⁵⁶⁸ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 222, d.66/248/8; d.66/248/91.

⁵⁶⁹ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 222, d.66/248/127; 66/248/1; 66/248/113.

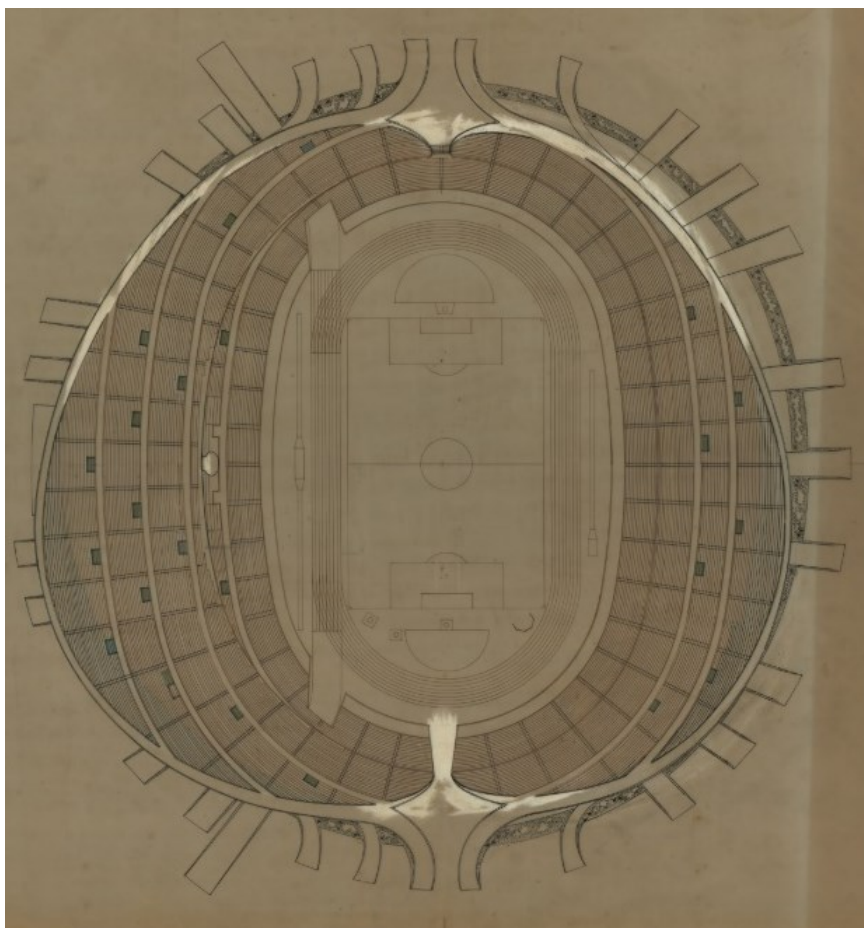


Fig. 71. Luigi Moretti. Stadio per 65000 spettatori nel complesso olimpico di Teheran (1966). Soluzione planimetrica ⁵⁷⁰.

I casi citati correggono una certa inerzia, riconosciuta da Moretti, nella progettazione di stadi destinati a grandi numeri di spettatori. In merito agli errori concettuali nelle modalità per cui, *“per intuito e esperienza”*, si conformano le tribune degli stadi, scrive Moretti:

PER IL NUOTO È ANCORA PIÙ EVIDENTE: DARE ALLE GRADINATE FORME DI SEZIONE COSTANTE E PARALLELE ALLA VASCA È UN ERRORE LOGICO DI INCREDIBILE, IMPENSABILE, MISURA. ERRORE IN CUI CADONO PERSINO ARCHITETTI COME KENZO TANGE CHE PURE FACENDO UN INVASO DISSIMMETRICO E NON PARALLELO ALLA PISCINA HA REALIZZATO LE GRADINATE PARALLELE ALLA VASCA. A TANTO ARRIVA DA UNA PARTE IL FORMALISMO ATTUALE, DALL'ALTRO LA MANCANZA DI RIFLESSIONE E D'IMPEGNO CRITICO⁵⁷¹.

⁵⁷⁰ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 222, d.66/248/13.

⁵⁷¹ Moretti, L., *“Ricerca matematica in architettura e urbanistica”*

Stadio per il Tennis

Dopo la mostra, Moretti afferma che alla base del suo progetto per lo Stadio del Tennis vi è la volontà, considerati i rapidi spostamenti della palla, di minimizzare i movimenti della testa degli spettatori. Scrive egli:

PER LO STADIO PER IL TENNIS IL FORMALISMO USUALE RAGGIUNGE PUNTE AL LIMITE DELLA STUPIDITÀ. SAREBBERO BASTATI AGLI ARCHITETTI I CARTONI ANIMATI DI TRENTA ANNI FA QUANDO PRESENTARONO 'TOPOLINO SPETTATORE DI UNA PARTITA' CHE GIRA DI QUASI 180° LA TESTA OGNI 1/2" O ANCHE MENO. LE ESPERIENZE PERSONALI AVREBBERO PERALTRO DOVUTO INSEGNARE. TANTO PUÒ LA VISCOSITÀ DELLA TRADIZIONE A MANCANZA BIOLOGICA DI FORZA VITALE AD AFFRONTARE LA REALTÀ CON IMPEGNATA ATTENZIONE⁵⁷².

Di conseguenza, per questo stadio Moretti propone una forma che permetta agli spettatori di avere una visione totale del campo di gioco. Le ipotesi alla base dello Stadio per il Tennis proposte da Moretti sono le seguenti:

- a) VISIBILITÀ DELL'INTERO CAMPO
- b) MAGGIORE APPETIBILITÀ VISIVA DI UNA AREA PARTICOLARE DEL CAMPO
- c) ALTA VELOCITÀ DEGLI SPOSTAMENTI DEL GIOCO (TRAJETTORIA DELLA PALLA) E DI CONSEGUENZA MASSIMO FISIOLÓGICO COMPATIBILE PER IL CAMPO VISIVO 100°
- d) APPETIBILITÀ VISIVA IN FUNZIONE DELLA DISTANZA DAL CENTRO DEL CAMPO E DELL'ANGOLO SOTTO CUI È VISTA LA ZONA DI INTERESSE.

⁵⁷² Moretti, L., "Ricerca matematica in architettura e urbanistica".

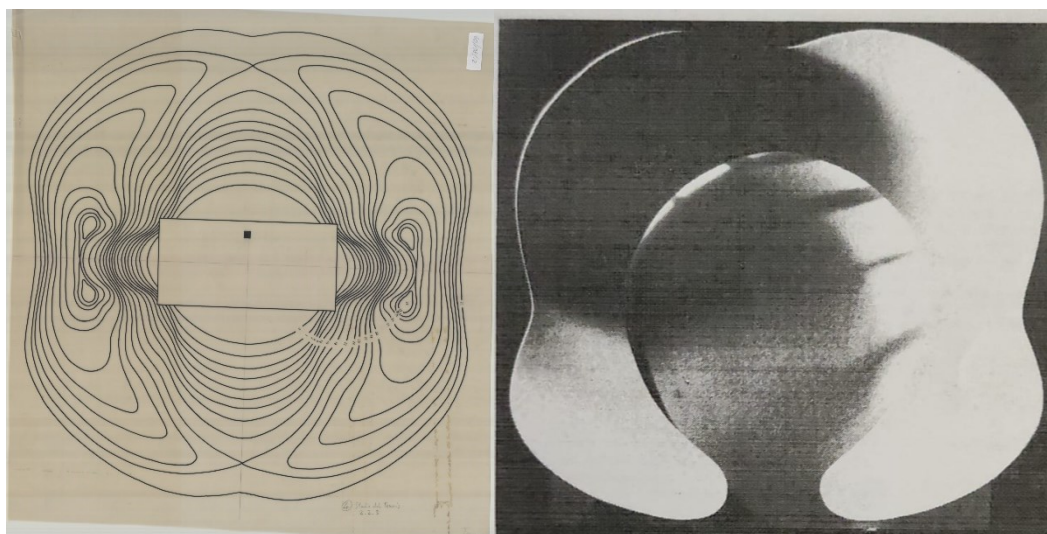


Fig. 72. Luigi Moretti. Stadio per il Tennis⁵⁷³

⁵⁷³ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, F. 03057; d. 60/198/13. L'immagine in basso a destra è scansionata da: Moretti, L., "Ricerca matematica in architettura e urbanistica"

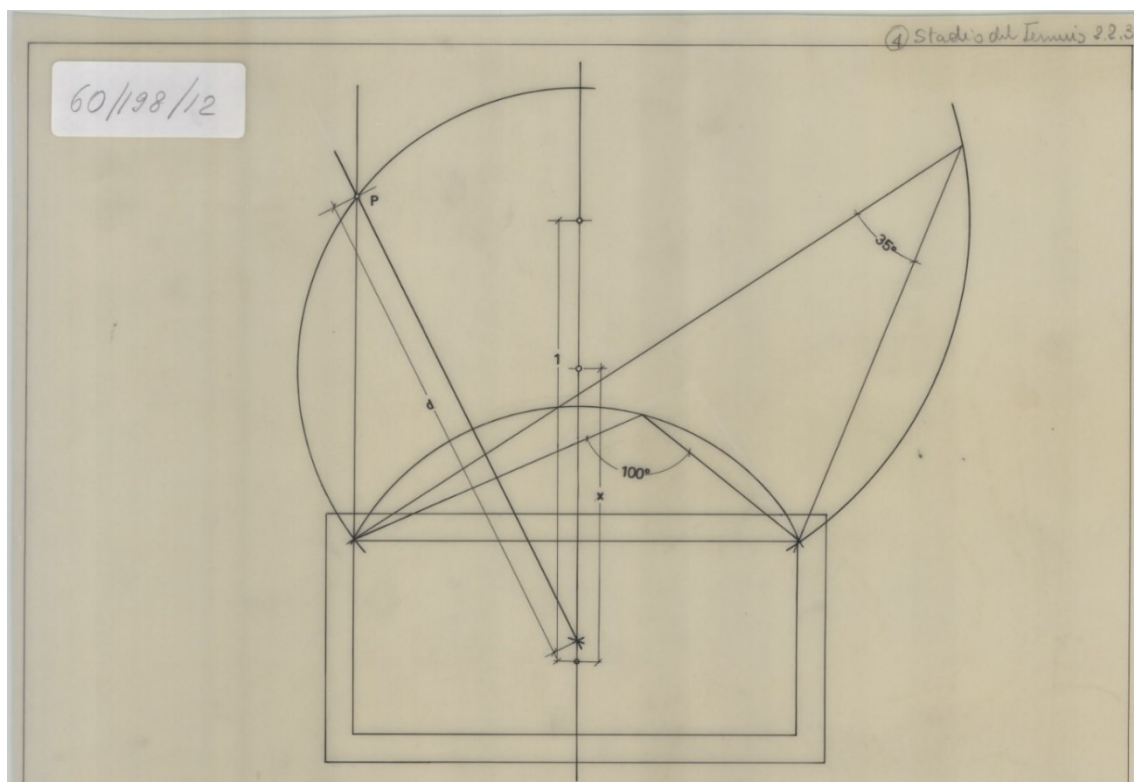


Fig. 73. Luigi Moretti. Problema geometrico per lo stadio del tennis⁵⁷⁴.

La formula per la funzione di visibilità proposta da Moretti è la seguente:

$$W = x^k e^{-kx} e^{-hd} \quad (23)$$

Con:

$$k = 4.5 \quad (24)$$

$$h = 1 \quad (25)$$

Le indicazioni fornite nel catalogo non appaiono sufficienti a ricostruire in forma analitica il processo progettuale dello stadio per il tennis. Inoltre, è possibile registrare alcune incongruenze tra la funzione di visibilità proposta da Moretti, e il corrispondente modello 3D dello stadio. La funzione di visibilità, così come disegnata da Moretti, suggerisce una maggiore qualità visiva in corrispondenza del lato più corto del campo, mentre il plastico propone maggiori tribune in corrispondenza di visuali più angolate.

⁵⁷⁴ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d. 60/198/12.

Analizzando la funzione W (23), si può riconoscere che la visibilità totale è “il prodotto di due funzioni, una dipendente dall’angolo sotto cui è vista la zona di interesse e l’altra dalla distanza dal centro del campo (d)”⁵⁷⁵. Il contributo dell’angolo è iscrivibile al termine x^k , ma Moretti non fornisce nessuna indicazione testuale per il suo calcolo. Se si guarda alla geometrizzazione del problema proposta da Moretti (vedi Fig. 63), si può ipotizzare che x è riconducibile alla distanza tra il centro della circonferenza che forma un angolo all’arco di 100° nei confronti dei due spigoli del campo e il centro di un secondo cerchio che dipende dalla posizione del punto in esame P . Con riferimento alla Fig. 74, è evidente che il valore di x tende all’infinito nel quadrante indicato in arancione mentre non è calcolabile per il quadrante indicato in rosso. Di conseguenza, in assenza di altre fonti, si ritiene che le indicazioni fornite da Moretti nel catalogo non siano sufficienti a derivare rigorosamente la funzione di visibilità W . Inoltre, anche altre pubblicazioni nelle quali sono proposte le equazioni per lo stadio del Tennis⁵⁷⁶ non forniscono ulteriori informazioni rispetto al catalogo.

⁵⁷⁵ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 27.

⁵⁷⁶ Cfr.: Moretti, L., “Ricerca matematica in architettura e urbanistica”; Ventriglia, F. (1960), *Luigi Moretti e la ricerca di un ordine oggettivo*, estratto da *Rassegna dei Lavori Pubblici*, n. 11, novembre 1960.

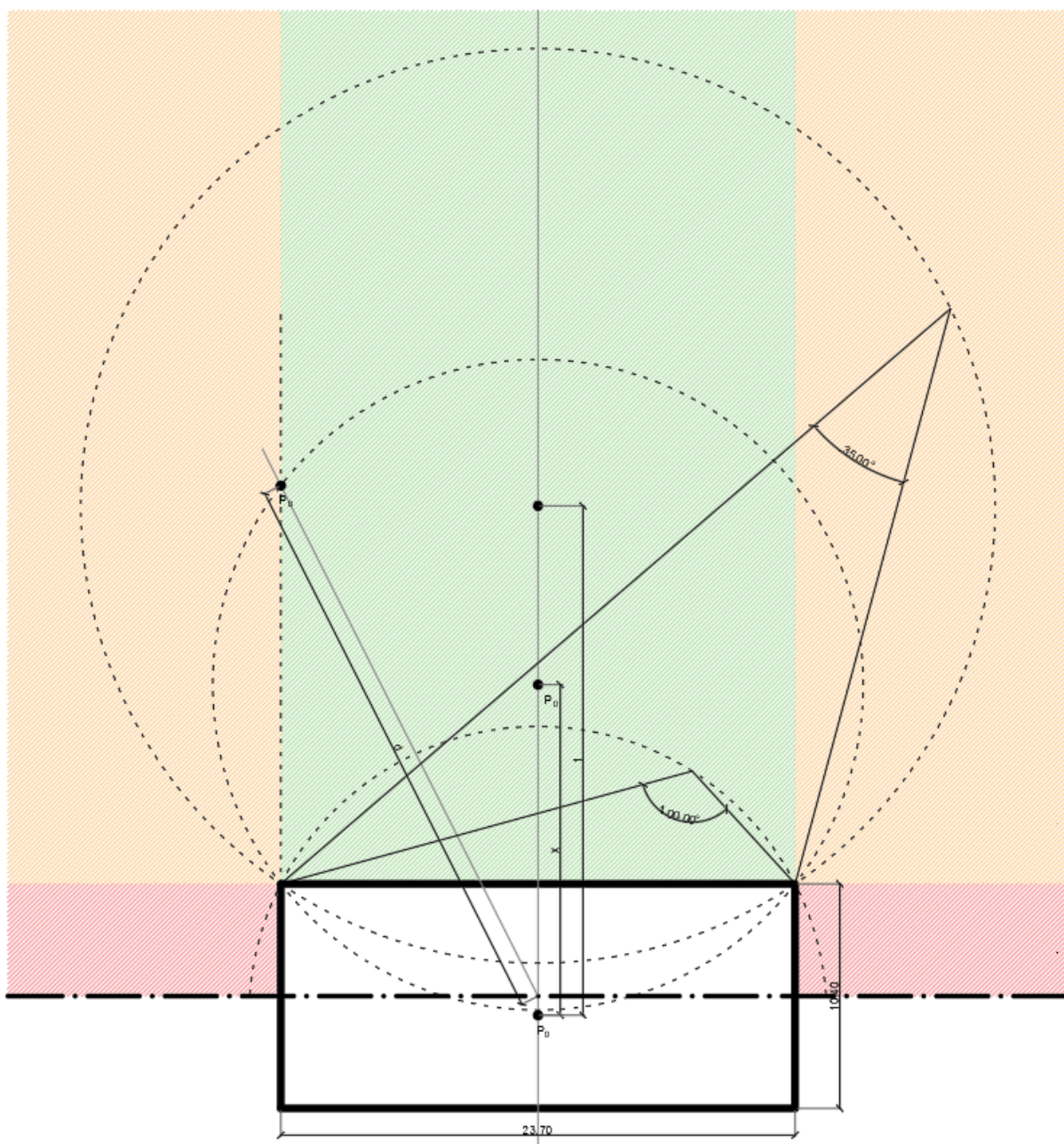


Fig. 74. Geometrizzazione del problema dello stadio del tennis. In verde le aree per le quali W è calcolabile, in giallo le aree per le quali W tende ad infinito, in rosso le aree per le quali le informazioni esistenti non permettono il calcolo di W .

Si segnala, infine, che l'unica proposta progettuale di Moretti per uno stadio del tennis è individuabile nel complesso olimpico di Teheran. Essa però, in quanto basata su un impianto perfettamente circolare, non presenta alcuna affinità con lo stadio presentato in occasione della mostra.

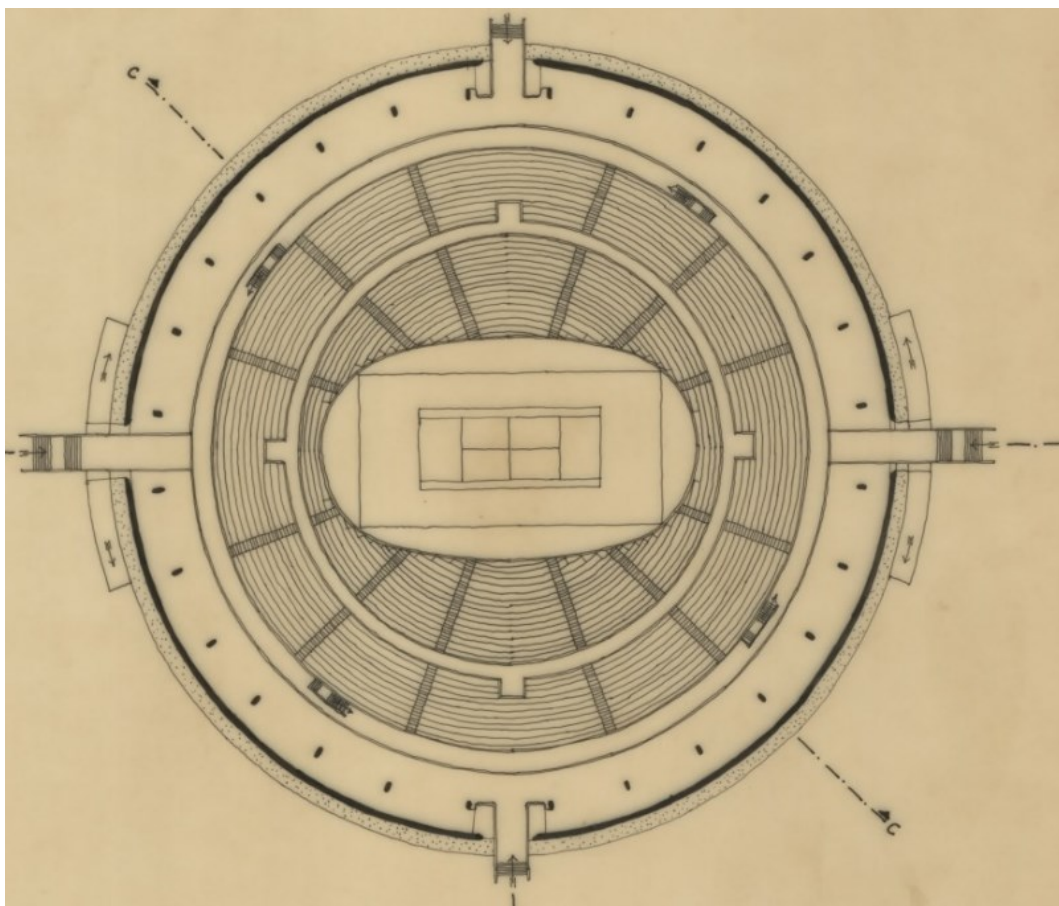


Fig. 75. Luigi Moretti. Proposta per uno stadio del Tennis per 8000 spettatori nel complesso olimpico di Teheran (1966)⁵⁷⁷.

⁵⁷⁷ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 222, d.66/248/102.

Sala per il cinema

L'ultimo modello presentato alla mostra sull'Architettura Parametrica fa riferimento a una sala per il cinema per la quale Moretti calcola l'appetibilità visiva nei confronti del "*piano normale allo schermo passante per l'asse maggiore di questo*"⁵⁷⁸.

Moretti assume le seguenti ipotesi:

- a) LA VISIBILITÀ, SU UN RAGGIO PASSANTE PER IL CENTRO O DELLO SCHERMO AB, È NULLA SULLA CIRCONFERENZA CHE VEDE LO SCHERMO SOTTO UN ANGOLO DI 60° E ALL'INTERNO DI QUESTA, PERCHÉ IN QUESTA ZONA DIVIENE TROPPO PICCOLA LA PARTE DI SCHERMO CHE SI PUÒ VEDERE SENZA MUOVERE LA TESTA; LUNGO IL RAGGIO LA VISIBILITÀ CRESCE FINO A DIVENTARE MASSIMA SULLA CIRCONFERENZA Γ CHE VEDE AB SOTTO UN ANGOLO DI 40° , QUINDI DECRESCE PER ANNULLARSI ALL'INFINITO
- b) SULLA Γ LA VISIBILITÀ È MASSIMA IN M, INTERSEZIONE DI Γ CON LA NORMALE ALLO SCHERMO PER O; DECRESCE DA AMBO LE PARTI DI OM FINO A DIVENTARE NULLA SUI RAGGI O (NEL PIANO CONSIDERATO) CHE FORMANO UN ANGOLO DI 30° CON LO SCHERMO, PERCHÉ, PER DETTO ANGOLO MINORE DI 30° , SI PUÒ RITENERE TROPPO FORTE LA DEFORMAZIONE PROSPETTICA DELLE FIGURE SULLO SCHERMO.

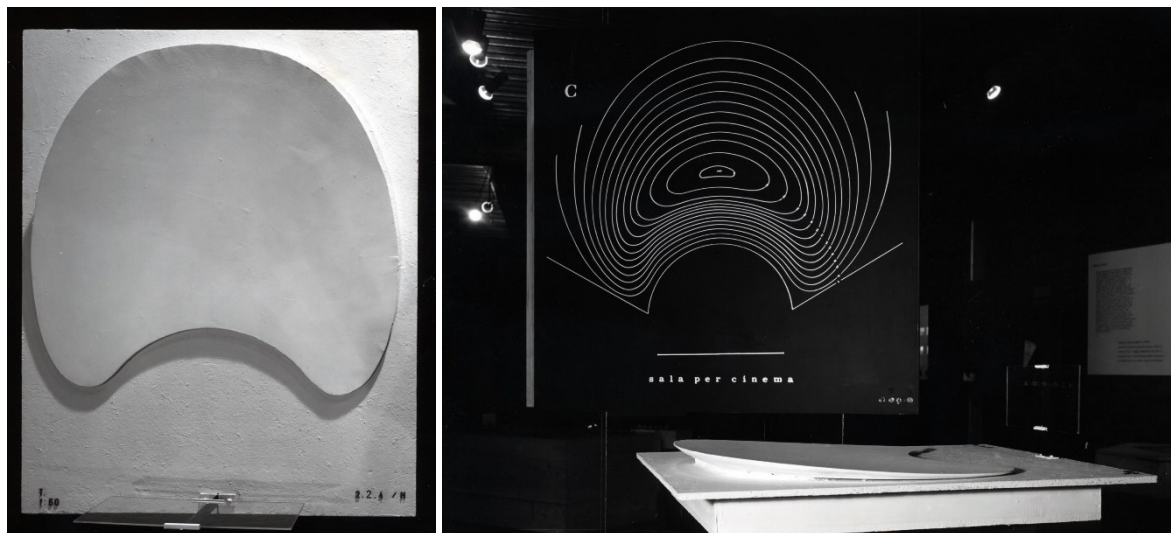


Fig. 76. Luigi Moretti. *Sala per il cinema*⁵⁷⁹.

⁵⁷⁸ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 27.

⁵⁷⁹ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, F. 03054; F. 03063.

Successivamente, Moretti individua la funzione adatta “*per tradurre nel modo più semplice queste proprietà*”:

$$W = 4y(1 - y)x^k e^{-k y} \quad (26)$$

Con:

$$x = \frac{\rho}{\bar{\rho}(\vartheta)} \quad (27)$$

$$y = \frac{3\vartheta}{2\pi} \quad (28)$$

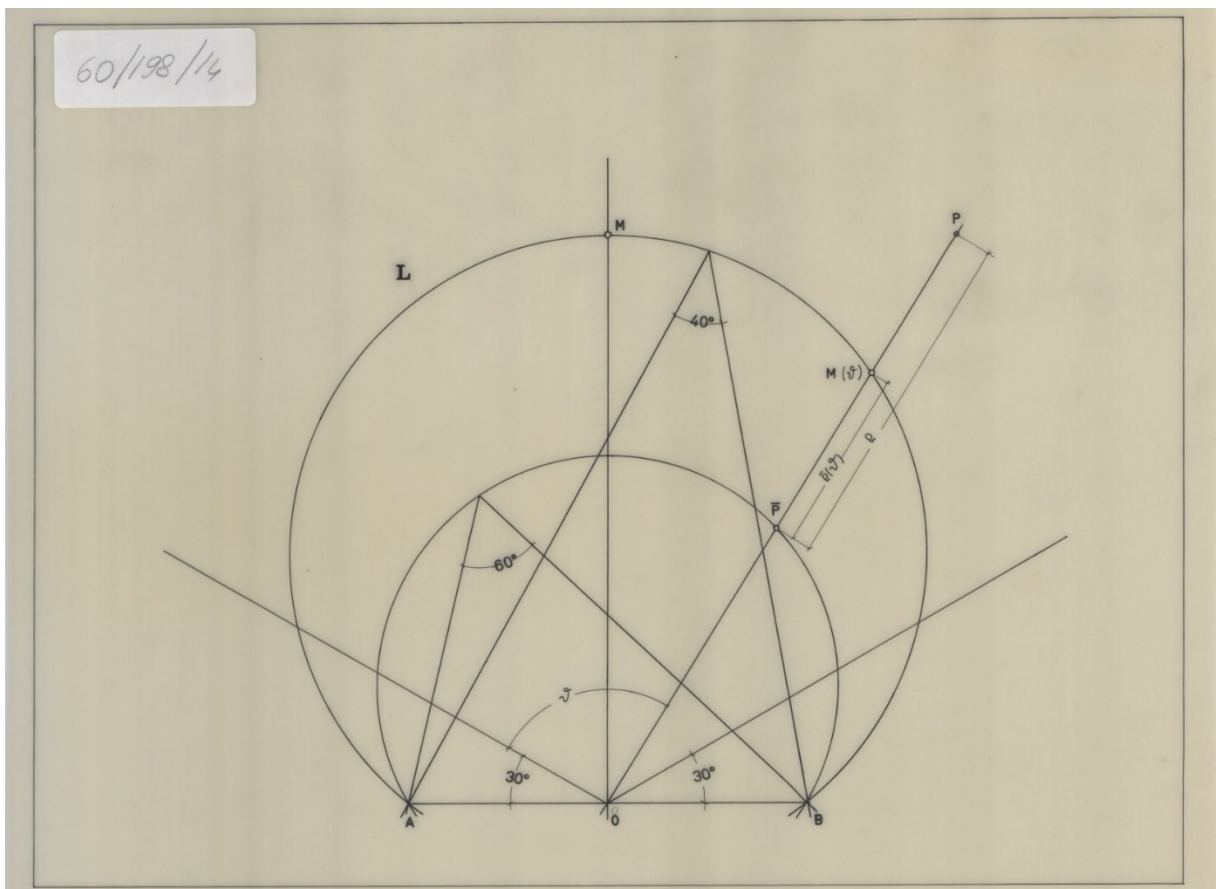


Fig. 77. Luigi Moretti. Problema geometrico per la sala per il cinema⁵⁸⁰. NB: Moretti indica con L la circonferenza con angolo di visibilità 40°, la quale è invece indicata nel testo come Γ.

Per soddisfare le sue ipotesi, Moretti è quindi chiamato a costruire una equazione che presenta un minimo in corrispondenza di un angolo di visione di 40° e un massimo in corrispondenza di un angolo di visione di 60°. Inoltre, è necessario massimizzare la visibilità

⁵⁸⁰ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d. 60/198/14.

quando lo spettatore è perpendicolare rispetto al centro dello schermo. Se si guarda al prodotto $4y(1 - y)$ si può invece riconoscere che questa parte di equazione restituisce un massimo per lo spettatore perpendicolare allo schermo e un minimo per lo spettatore posto con un angolo di visuale pari a 30° : essa presenta un massimo in corrispondenza di $y = \frac{1}{2}$ che, se sostituito nella (28), restituisce proprio la posizione perpendicolare al centro dello schermo. L'equazione x (27), invece, restituisce un massimo quando lo spettatore è posto sulla circonferenza Γ .

Si propone di ipotizzare il processo progettuale seguito per l'ideazione delle formule presentate da Moretti e si riportano brevemente le operazioni analitiche necessarie alla derivazione in forma esplicita della funzione di visibilità totale W .

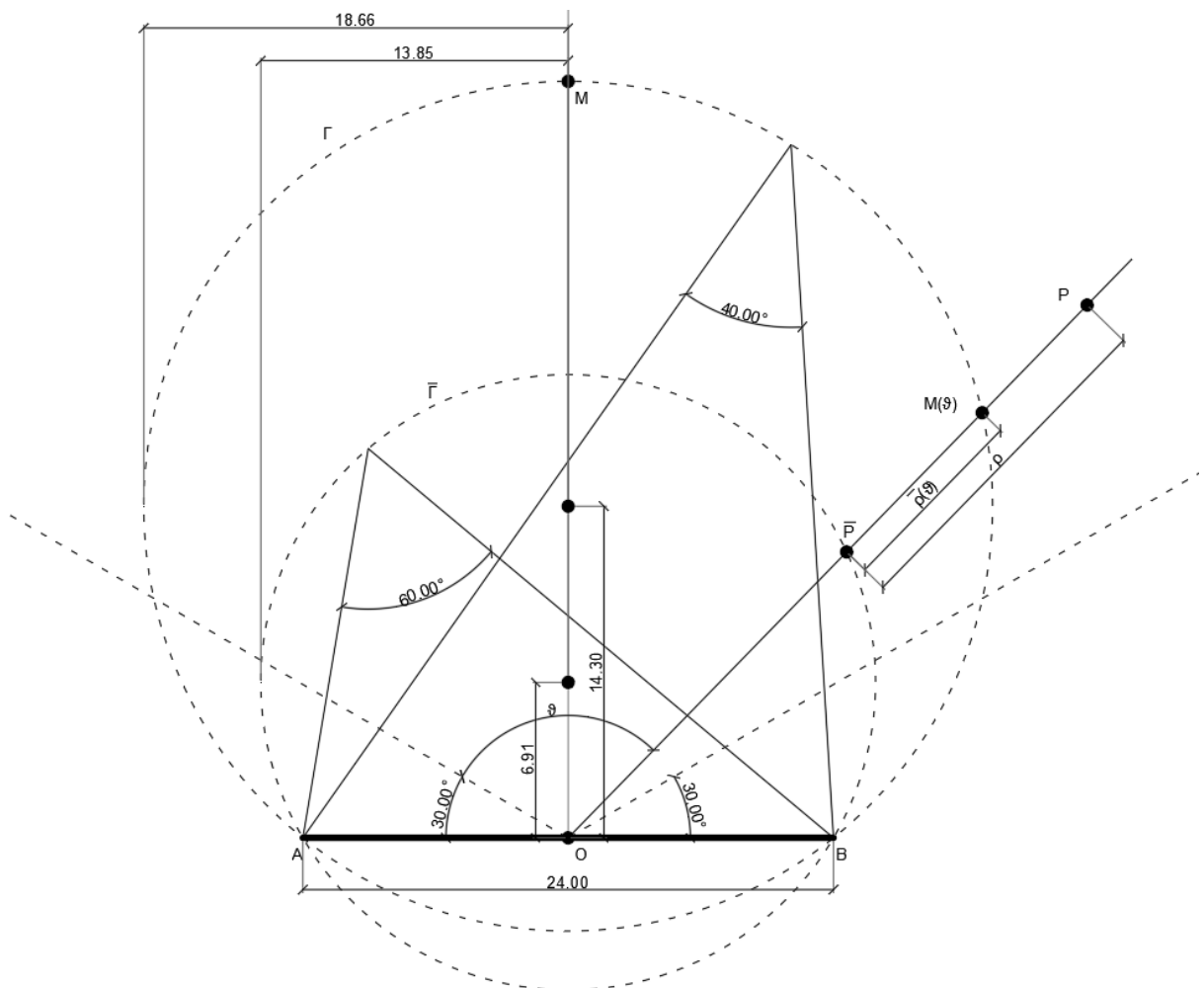


Fig. 78. Geometrizzazione del problema della sala per il cinema.

Nella Fig. 78 è evidente che Moretti utilizza diverse lunghezze normalizzate rispetto a delle circonferenze, di conseguenza risulta molto più agevole ricavare queste distanze a partire dalla equazione polare della circonferenza. Si ipotizza quindi un sistema di coordinate polari con origine nel centro dello schermo O. Di conseguenza, per ogni punto P è necessario calcolare ϑ e, successivamente, si possono ricavare $\bar{\rho}(\vartheta)$ e ρ attraverso delle differenze tra le coordinate polari e le distanze nei confronti del centro O.

I raggi delle circonferenze Γ e $\bar{\Gamma}$ sono calcolati attraverso il noto teorema della corda:

$$AB = 2r \sin \alpha \quad (29)$$

Mentre le distanze tra i centri di Γ e $\bar{\Gamma}$ e il centro del sistema di riferimento, le quali assumono il valore di r_0 nella Fig. 79, sono calcolati attraverso il teorema di pitagora:

$$r_0 = \sqrt{r^2 - OA^2} \quad (30)$$

I valori degli angoli ϑ sono calcolati a partire da un sistema di coordinate cartesiane con origine nel centro dello schermo attraverso la funzione arcotangente⁵⁸¹:

$$\vartheta = \text{atan2}(y_p; x_p) \quad (31)$$

È necessario ora richiamare la generica equazione polare per una circonferenza in quanto si è ipotizzato di non centrare il sistema di riferimento nel centro cerchio. Una generica circonferenza individuata dalle coordinate polari $(r_0; \gamma)$ ⁵⁸² e di raggio a è descritta dalla equazione:

$$r^2 - 2rr_0 \cos(\varphi - \gamma) + r_0^2 = a^2 \quad (32)$$

I cui termini sono individuati nella Fig. 79.

⁵⁸¹ È utilizzata la funzione trigonometrica atan2 per non appesantire eccessivamente la parte di derivazione analitica della funzione W nonostante essa sia stata introdotta nel linguaggio Fortran a partire dal 1961

⁵⁸² La equazione è disponibile al seguente link: https://en.wikipedia.org/wiki/Polar_coordinate_system#Circle

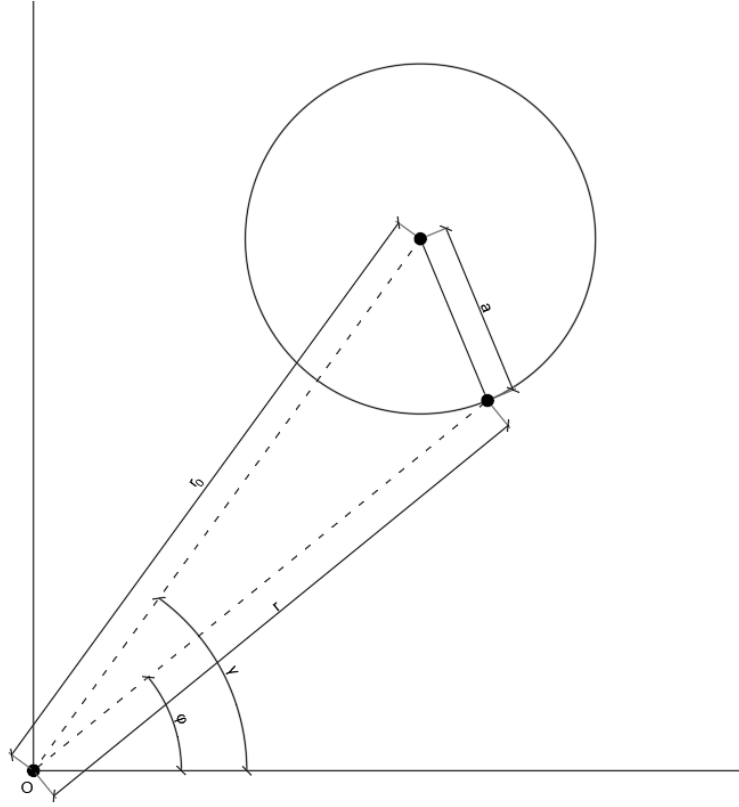


Fig. 79. Problema della generica equazione polare del cerchio.

Esplicitando r nella (33) si ottiene:

$$r = r_0 \cos(\varphi - \gamma) + \sqrt{a^2 - r_0^2 \sin^2(\varphi - \gamma)} \quad (33)$$

Particolarizzando la equazione (33) per il problema geometrico individuato da Moretti, si può notare che per le circonferenze Γ e $\bar{\Gamma}$ si ha $\gamma=90^\circ$. È necessario ora procedere al calcolo di tutte le distanze necessarie per il calcolo delle lunghezze $\bar{\rho}(\vartheta)$ e ρ . La distanza $\overline{OP}$ è calcolata come:

$$\overline{OP} = \sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p + y_0)^2} \quad (34)$$

Le distanze $\overline{OP}$ e $\overline{OM}(\vartheta)$ sono calcolate introducendo nella equazione (33) i corretti valori dei parametri r_0 , γ e a per le circonferenze Γ e $\bar{\Gamma}$:

$$\overline{OP} = 6,81 \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) + \sqrt{13,85^2 - 6,81^2 \sin^2\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)} \quad (35)$$

$$\overline{OM}(\vartheta) = 14,30 \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) + \sqrt{18,66^2 - 14,30 \sin^2\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)} \quad (36)$$

È ora possibile ricavare $\bar{\rho}(\vartheta)$ e ρ attraverso delle semplici differenze tra le equazioni ricavate. In particolare, si ha ρ pari alla differenza tra la (34) e la (35) mentre $\bar{\rho}(\vartheta)$ è pari alla differenza tra la (36) e la (35).

Le operazioni condotte permettono quindi di esprimere la (26) in termini espliciti, replicando quindi il processo progettuale utilizzato da Moretti e dall' I.R.M.O.U.. Si sottolinea che il catalogo non fornisce alcuna indicazione per il calcolo del parametro k . Di conseguenza, si assume $k=4.5$ come nel precedente caso dello stadio per il tennis.

Confronto



Fig. 80. Sala per cinema. Funzione di visibilità calcolata da Moretti⁵⁸³ e funzione di visibilità derivata analiticamente.

⁵⁸³ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 162, d. 60/198/15.

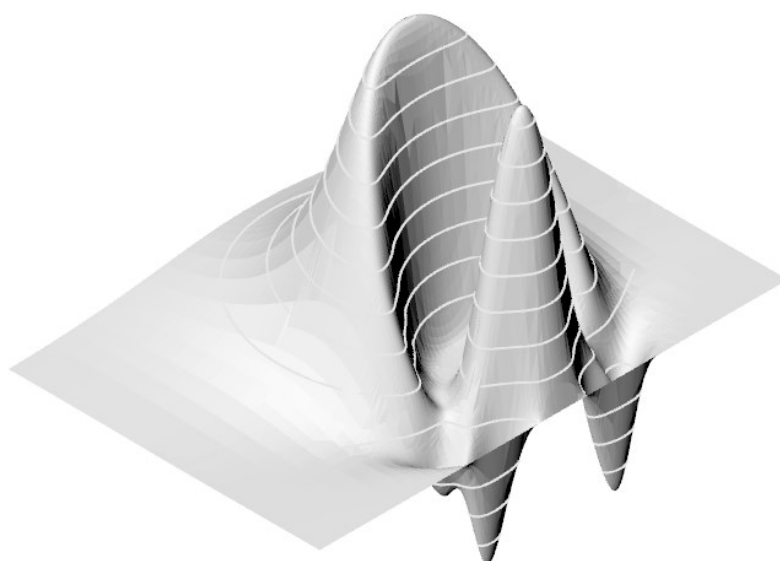


Fig. 81. Sala per cinema. Restituzione grafica della funzione di visibilità.

Le curve di visibilità calcolate analiticamente possono considerarsi consistenti e congruenti rispetto ai risultati ottenuti da Moretti.

Il tema della visibilità rispetto a uno spettacolo di tipo cinematografico è stato già affrontato da Moretti nel suo brevetto per *Aviorama*, depositato nel 1957 e descritto come “dispositivo di ripresa, di proiezione cinematografica con schermo orizzontale o anche con schermo orizzontale insieme a schermi variamente inclinati a superfici piane o curve”⁵⁸⁴. Questo dispositivo, tuttavia, è descritto esclusivamente tramite sezioni e di conseguenza non è possibile tracciare analogie con la sala per il cinema presentata alla mostra di Architettura Parametrica.

⁵⁸⁴ Moretti, L. (1957), *Aviorama*, Brevetto per Marchio d’Impresa, N. 143320.

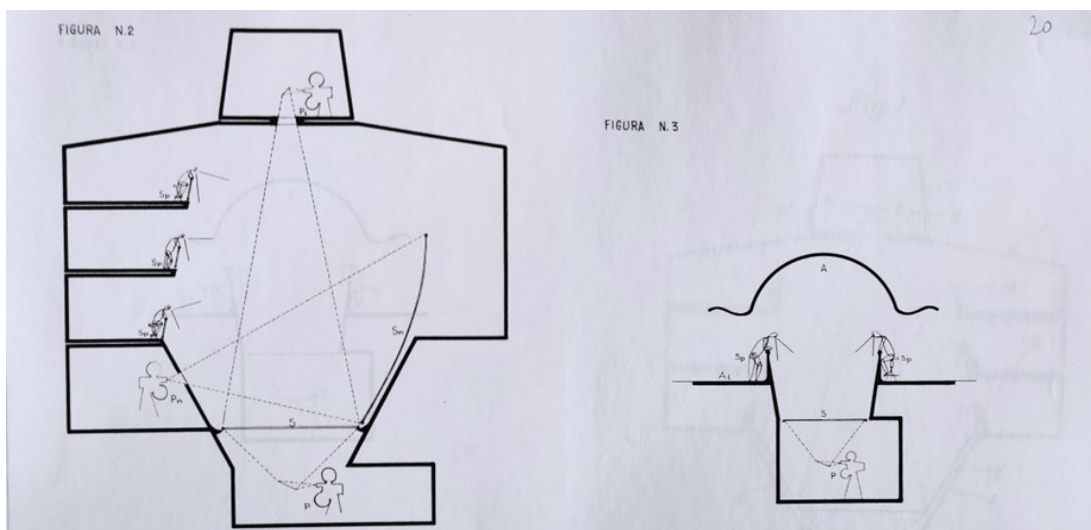
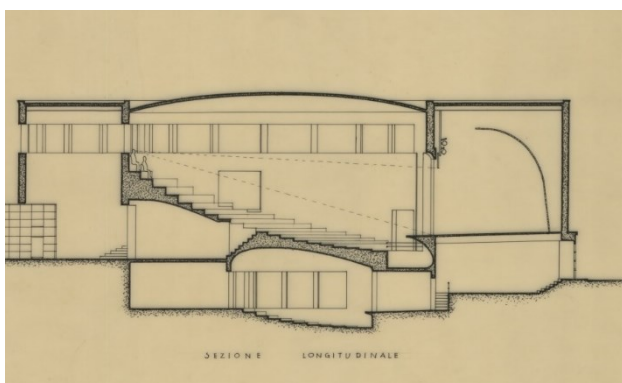
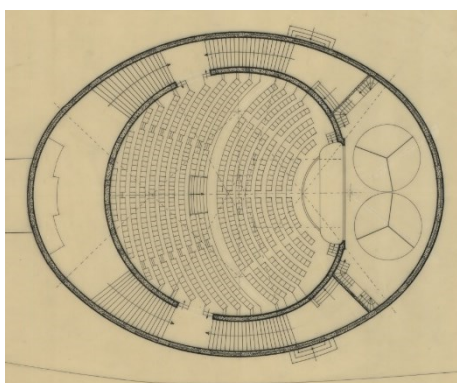


Fig. 82. Luigi Moretti. Sezioni del brevetto "Aviorama"⁵⁸⁵.

Se si allarga la ricerca al tema del teatro al chiuso e all'aperto, concettualmente prossimo al tema della sala del cinema, si può notare come le intuizioni sugli ottimali angoli di visibilità sono introdotte da Moretti già nei progetti antecedenti alla seconda guerra mondiale. Una delle alternative progettuali per il teatro GIL di Piacenza e gli schizzi preliminari per il Gran Teatro EUR presentano infatti degli invasi estremamente prossimi alla forma della sala per il cinema esposta alla mostra di Architettura Parametrica. Questa analogia è riscontrabile anche nelle diverse alternative progettuali sviluppate per il teatro all'aperto dell'Accademia di Danza a Roma.



⁵⁸⁵ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, busta 40.

Fig. 83. Luigi Moretti. Proposta progettuale per "P.N.F. Nuova casa della G.I.L. - Progetto per il teatro e per gli uffici" (1933-1935)⁵⁸⁶.

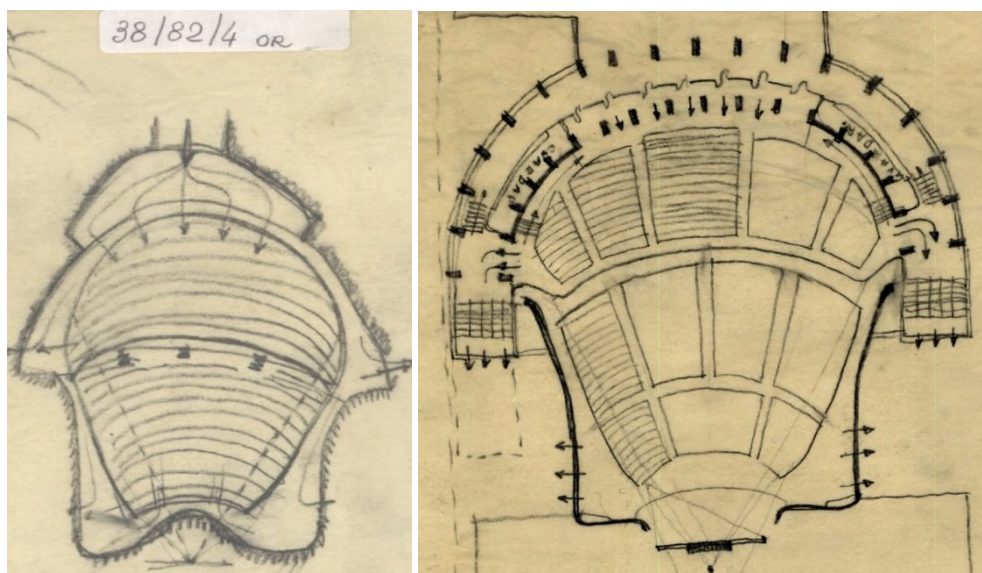
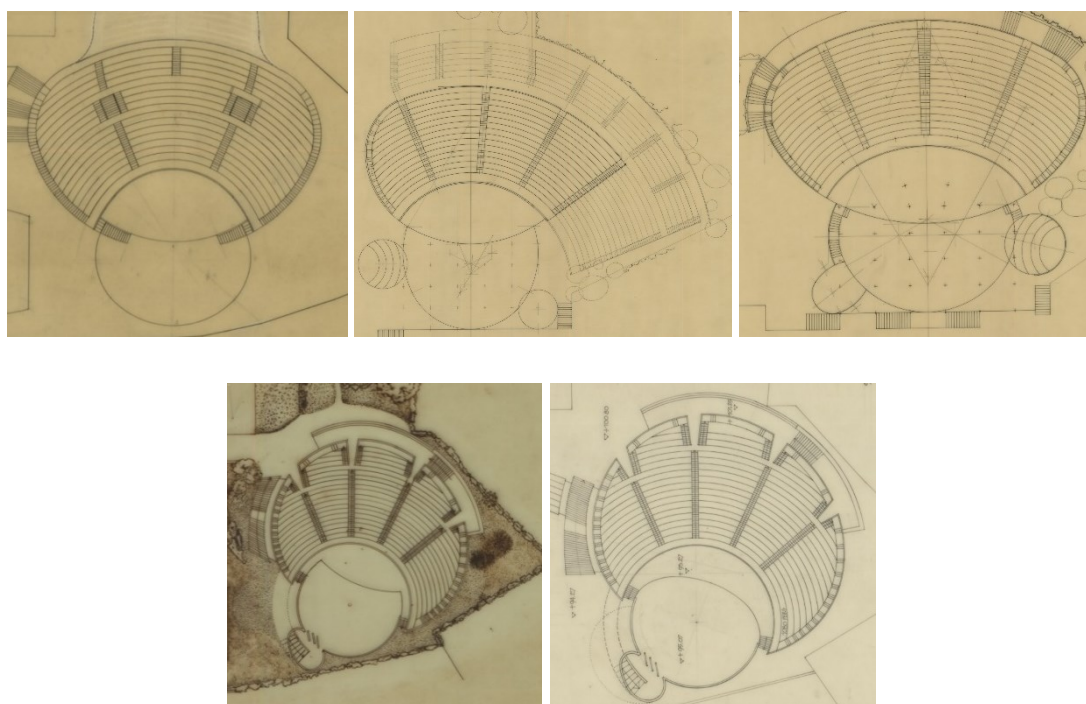


Fig. 84. Luigi Moretti. Schizzi preliminari per il progetto del Gran Teatro EUR a Roma (1938-1942).⁵⁸⁷



⁵⁸⁶ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 49, d. 41/131/9; 41/131/10.

⁵⁸⁷ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 45, d. 50/115d/10; 50/115d/10; 50/115d/3; 50/115d/14

Fig. 85. Luigi Moretti. Differenti proposte progettuali per il teatro all'aperto dell'accademia di danza a Roma. (1950-1969).⁵⁸⁸

La discussione su come il processo adottato da Moretti per il progetto degli stadi per il calcio M e N, per il nuoto, per il tennis e della sala per il cinema possano essere valutati uno dei modi possibili modi di introdurre delle tematiche affini all'approccio parametrico nel progetto di architettura è rimandata al paragrafo 0 a valle dell'esposizione delle applicazioni pratiche.

⁵⁸⁸ ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto 227.

PARAMETRICO COMBINATORIO. COSTRUZIONE DI UN ALGORITMO PER L'ESPLORAZIONE FORMALE DI UN INVOLUCRO ARCHITETTONICO

Abstract

La seguente applicazione è sviluppata per delineare gli aspetti metodologici di un particolare e diffuso modo di attuare l'approccio parametrico definibile come combinatorio. Con questo termine, si indica una modalità di progetto in cui la forma architettonica emerge come una sommatoria di parti e attributi e in cui la sua stessa progettazione, è di conseguenza espletata attraverso l'estesa indagine dei diversi valori assumibili da queste parti e attributi.

Con lo scopo di mostrare che l'approccio parametrico può integrarsi anche in processi progettuali che traggono origine dall'uso di strumentazioni di più tradizionali, si propone di ricondurre a una logica combinatoria un sistema costruttivo esistente. Tale sistema costruttivo, Ac.Ca. Building, è caratterizzato da un consistente repertorio di soluzioni compositive e tecnologiche che in questa sperimentazione sono tradotte in forma algoritmica per minimizzare i tempi di ideazione, generazione e valutazione di una possibile alternativa progettuale.

Questa modalità attuativa dell'approccio parametrico non individua nelle sue strumentazioni tecniche il luogo di genesi dell'idea progettuale. Ciò significa che in questa applicazione l'approccio parametrico non è assunto come un cambio di paradigma cognitivo che impone le sue modalità di sintesi della forma architettonica, ma piuttosto come una possibilità di rinnovamento e potenziamento della prassi del progetto di architettura.

COMBINATORIAL PARAMETRIC. CONSTRUCTION OF AN ALGORITHM FOR THE FORMAL EXPLORATION OF AN ARCHITECTURAL ENVELOPE

Abstract

The following application is developed to outline the methodological aspects of a particular and widespread way of implementing the parametric approach that can be defined as combinatorial. This term refers to a design method in which the architectural form emerges as a sum of parts and attributes and in which its actual design is consequently carried out through the extensive investigation of the different values assumed by these parts and attributes.

To prove that the parametric approach can also be integrated into design processes that originate from the use of more traditional tools, it is proposed to trace an existing construction system to a combinatorial logic. This construction system, Ac.Ca. Building, is characterised by a substantial repertoire of compositional and technological solutions that in this experimentation are translated into algorithmic form to minimise the time required for the conception, generation and evaluation of a possible design alternative.

This manner of implementing the parametric approach does not identify its technical instruments as the place of the genesis of the design idea. This means that in this application, the parametric approach is not taken as a cognitive paradigm shift that imposes its own ways of synthesising architectural form, but rather as a possibility for renewing and enhancing the practice of architectural design.

Nota metodologica

Nei capitoli precedenti si può riconoscere come l'approccio parametrico è stato associato da diversi autori a una risemantizzazione delle modalità di pensare e praticare il progetto di architettura. Di conseguenza, la strumentazione propria dell'approccio parametrico, richiamando una posizione di Franco Purini in merito alla cultura digitale, è spesso considerata il luogo di *"palingenesi totale dell'idea di progetto"*⁵⁸⁹. In realtà, questa ricerca ambisce a chiarire che, nell'ambito della sua condizione plurale ed eterogenea, l'approccio parametrico può essere introdotto non solo nelle fasi di genesi dell'idea progettuale, ma anche nei successivi momenti di indagine, approfondimento, documentazione, costruzione e gestione della forma architettonica. Inoltre, nella pratica progettuale, appare possibile limitare il campo operativo dell'approccio parametrico ad alcuni dei subsistemi della forma architettonica, come la pianta, l'involucro, il programma funzionale o il sistema tecnologico.

Si propone quindi di sviluppare una applicazione in cui l'approccio parametrico è introdotto nel progetto di architettura in una fase successiva alla sua genesi ideativa, limitando il suo campo operativo al solo involucro architettonico. Questa operazione non consegna all'approccio parametrico la possibilità di modificare le regole compositive o tecnologiche del progetto, bensì individua in esso la possibilità di una indagine più estesa e rapida delle possibili soluzioni alternative assumibili dall'idea-progetto.

Una ottimale occasione progettuale per sviluppare un caso studio che possa presentare le caratteristiche appena descritte è offerta dall'utilizzo di *Ac.Ca. Building* (Ac.Ca.)⁵⁹⁰, un

⁵⁸⁹ Purini, F. (2008), *La misura italiana dell'architettura*, Laterza: Roma-Bari, p. 79.

⁵⁹⁰ Il progetto di ricerca e sviluppo *"Ac.Ca. Building: Progettare e costruire in sicurezza con l'acciaio e la canapa. Tecnologie innovative per edifici ecosostenibili"* è stato finanziato con i FESR-FSE 2014-2020. L'autore, in particolare, ha collaborato alle attività afferenti all'S.S.D. ICAR/14 del Laboratorio di Progettazione Architettonica e Tecnologica (LAPAT) dell'Università della Calabria.

Si riporta una selezione degli output scientifici derivanti dal progetto di ricerca:

Canestrino, G., Greco, L., Spada, F. & Lucente, R. (2020), "Generating architectural plan with evolutionary multiobjective optimization algorithms: a benchmark case with an existent construction system", in Escobar, N. B. & Torreblanca-Díaz, D. A. (eds.), *Trasformative design - Proceedings of the XXIV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics – SigraDi 2020*. Medellin, novembre 2020. San Paolo: Blucher, pp.149-156.

Lucente, R. (2020), *Abitare Acciaio. Esperienze di ricerca progettuale*, Siracusa: LetteraVentidue.

Lucente, R. (2020), "Reality and vision in a steel and hemp design research project", in Carpenzano, O., Capanna, A., Del Monaco, A. I., Menegatti, F., Monestirol, T. & Nencini, D. (2020), *Creativity and reality. The art of building future cities. 1st ICONA International Conference on Architecture. Creativity and reality. The art of building future cities*, Roma: Edizioni Nuova Cultura, pp. 236-243.

sistema costruttivo sviluppato nell'ambito di un progetto di ricerca e sviluppo in cui l'autore è stato coinvolto. Tale sistema costruttivo, fondato sull'utilizzo dell'acciaio per la struttura portante e della canapa per le chiusure e le partizioni, è basato sull'uso di un sistema di coordinazione modulare a "maglia tartan", il quale descrive in pianta un modulo elementare quadrato, coincidente con la campata strutturale, avente luce netta di 6.60 metri e dimensione dei pilastri variabile. La luce di 6.60 metri è ricondotta nell'involucro architettonico a 11 moduli da 0.60 metri ai quali vengono associati elementi da 1.20 metri e 0.60 metri. Più precisamente, ogni campata presenta nell'involucro un modulo di 0.60 metri, in posizione variabile, e 5 moduli da 1.20 metri a cui corrispondono elementi tecnici di parete perimetrale ed elementi tecnici di schermatura solare.

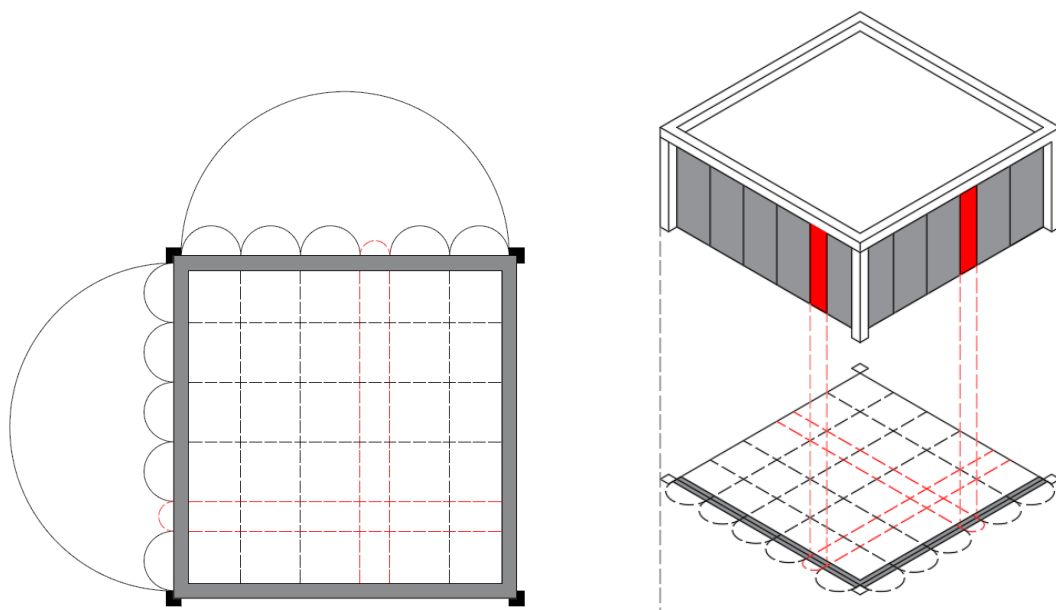


Fig. 86. Schema di coordinamento dimensionale dell'involucro architettonico nel sistema Ac.Ca. Building.

Lucente, R. (2019) "Architectural quality and typological flexibility: the role of buffer spaces in warm climates. An application in a steel and hemp construction system", in *Sustainable Built Environment Conference Proceedings Book*. Scilla, 16-17 maggio 2019, pp. 43-48.

Spada, F., Canestrino, G., Giaquinta, G. & Greco, L. (2022), "Dry Construction Systems for Sustainable Buildings in Mediterranean Context: An R&D Project in South Italy", *ATINER's Conference Paper Series*, no. CIV2022-2746.

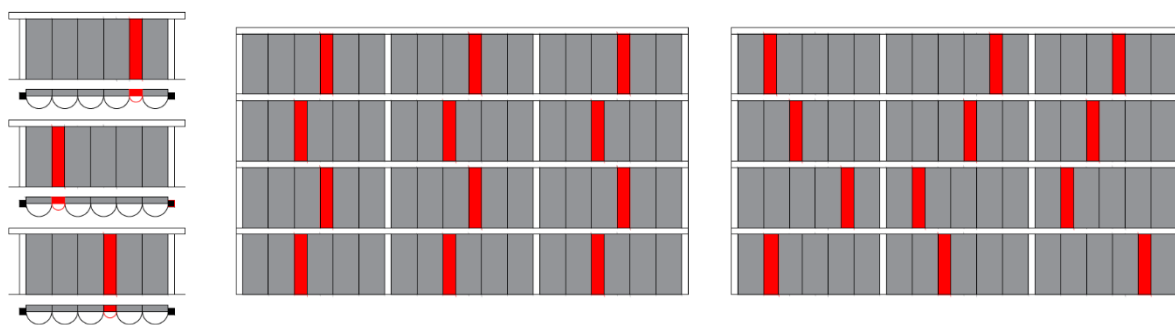


Fig. 87. Diversi posizionamenti del modulo di 0.60 metri nel sistema di facciata Ac.Ca. Building.

Il modulo base da 6.60 metri può essere, grazie a una attenta progettazione della flessibilità del sistema ambientale e all'impiego di tecnologie a secco, aggregato in molteplici configurazioni volumetriche, da realizzarsi per mezzo di un esteso campionario di soluzioni tipologiche sperimentali per la residenza - individuale e collettiva, anche per usi temporanei ed emergenziali - e per le attività produttive, tutte componibili in assetti rimodulabili nel tempo.

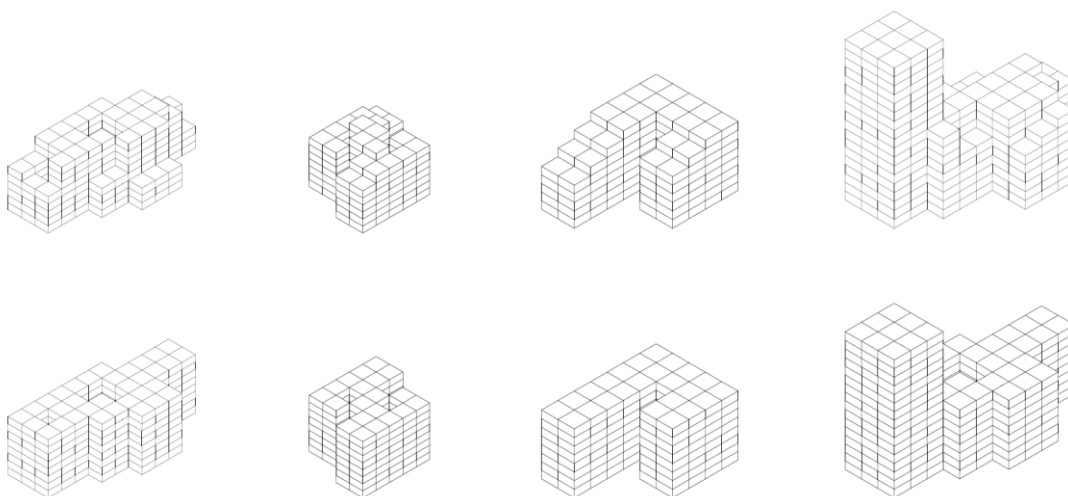


Fig. 88. Diverse configurazioni ottenibili con il sistema Ac.Ca. Building.

DATI	PIANTA	RESIDENZE UNIVERSITARIE	ALBERGHI	EDILIZIA RESIDENZIALE	DATI	PIANTA	RESIDENZE UNIVERSITARIE	ALBERGHI	EDILIZIA RESIDENZIALE
H1 - Balconio esterno - Utilizzo flessibile per permeabilità o bilocale Sup. Tot 105,0 mq Sup. L = 10,1 mq Sup. B = 4,4 mq		Vedi U2.2. La tipologia H1 è essenzialmente un'alternativa rispetto a minima normale.	Da leggi regionali, in media: Sup. Tot 1 p.i. + 20mq Sup. B = 24,2 mq a norma su attrezzature minime Attrezzature min.: 1x letto, 1x armadio, 1x scrivania, 1x comodino, 1x mobiletto	Da R.E.U. comuni, in media: Sup. Tot 1 p.i. + 20mq Sup. L=10,1 mq Anticipo obbligatorio su soggiorno/cucina Bagno completo	H3 - Balconio inglobato L=1,1 x 2,5 Sup. Tot 91 mq Sup. L = 10,8 mq Sup. L=11 mq Sup. B = 5,5 mq Sup. S+G 37,7 mq L=av.Cap + 4,2 mq "Tempi di montaggio in cantiere molto ridotti rispetto a tipologie tradizionali"		Vedi U1/2.2 per comuni. S+G = 8 mq P.L. Sup. S+G 24 mq Convertibile modificando la zona notte in 2L+2L.	Da R.E.U. comuni, in media: Sup. L = 9 mq Sup. B = 13-14 mq Sup. S+G 20 mq Anticipo obbligatorio su soggiorno/cucina Bagno completo	
H1.dx - Balconio esterno - Utilizzo flessibile per permeabilità o bilocale Sup. Tot 105,0 mq Sup. L = 9,5 mq Sup. B = 4,5 mq		Vedi U2.2. La tipologia H1 è essenzialmente un'alternativa rispetto a minima normale.	Da leggi regionali, in media: Sup. Tot 1 p.i. + 20mq Sup. B = 24,2 mq a norma su attrezzature minime Attrezzature min.: 1x letto, 1x armadio, 1x scrivania, 1x comodino, 1x mobiletto	Da R.E.U. comuni, in media: Sup. Tot 1 p.i. + 20mq Sup. L=10,1 mq Anticipo obbligatorio su soggiorno/cucina Bagno completo	H3.dx - Balconio inglobato L=1,1 x 2,5 Sup. Tot 90,7 mq Sup. L = 10,8 mq Sup. L=10,2 mq Sup. B = 5,5 mq Sup. S+G 37,5 mq "Tempi di montaggio in cantiere molto ridotti rispetto a tipologie tradizionali"		Vedi U1/2.2 per comuni. S+G = 8 mq P.L. Sup. S+G 24 mq Convertibile modificando la zona notte in 2L+2L.	Da R.E.U. comuni, in media: Sup. L = 9 mq Sup. B = 13-14 mq Sup. S+G 20 mq Anticipo obbligatorio su soggiorno/cucina Bagno completo	
H1.sx - Balconio esterno - Utilizzo flessibile per permeabilità o bilocale Sup. Tot 105,0 mq Sup. L = 9,5 mq Sup. B = 4,5 mq		Vedi U2.2. La tipologia H1 è essenzialmente un'alternativa rispetto a minima normale.	Da leggi regionali, in media: Sup. Tot 1 p.i. + 20mq Sup. B = 24,2 mq a norma su attrezzature minime Attrezzature min.: 1x letto, 1x armadio, 1x scrivania, 1x comodino, 1x mobiletto	Da R.E.U. comuni, in media: Sup. Tot 1 p.i. + 20mq Sup. L=10,1 mq Anticipo obbligatorio su soggiorno/cucina Bagno completo	H3.sx - Balconio inglobato L=1,1 x 2,5 Sup. Tot 90,7 mq Sup. L = 10,8 mq Sup. L=10,2 mq Sup. B = 5,5 mq Sup. S+G 37,5 mq "Tempi di montaggio in cantiere molto ridotti rispetto a tipologie tradizionali"		Vedi U1/2.2 per comuni. S+G = 8 mq P.L. Sup. S+G 24 mq Convertibile modificando la zona notte in 2L+2L.	Da R.E.U. comuni, in media: Sup. L = 9 mq Sup. B = 13-14 mq Sup. S+G 20 mq Anticipo obbligatorio su soggiorno/cucina Bagno completo	

Fig. 89. Estratto dei possibili moduli tipologici realizzabili con il sistema Ac.Ca. Building.

A ciò è associato un ricco repertorio di possibili elementi schermanti - le cui dimensioni e posizionamenti sono basati sul coordinamento dimensionale del sistema Ac.Ca. Building - i quali permettono di modulare la permeabilità visiva e solare dell'involucro architettonico nonché la generale composizione del prospetto.

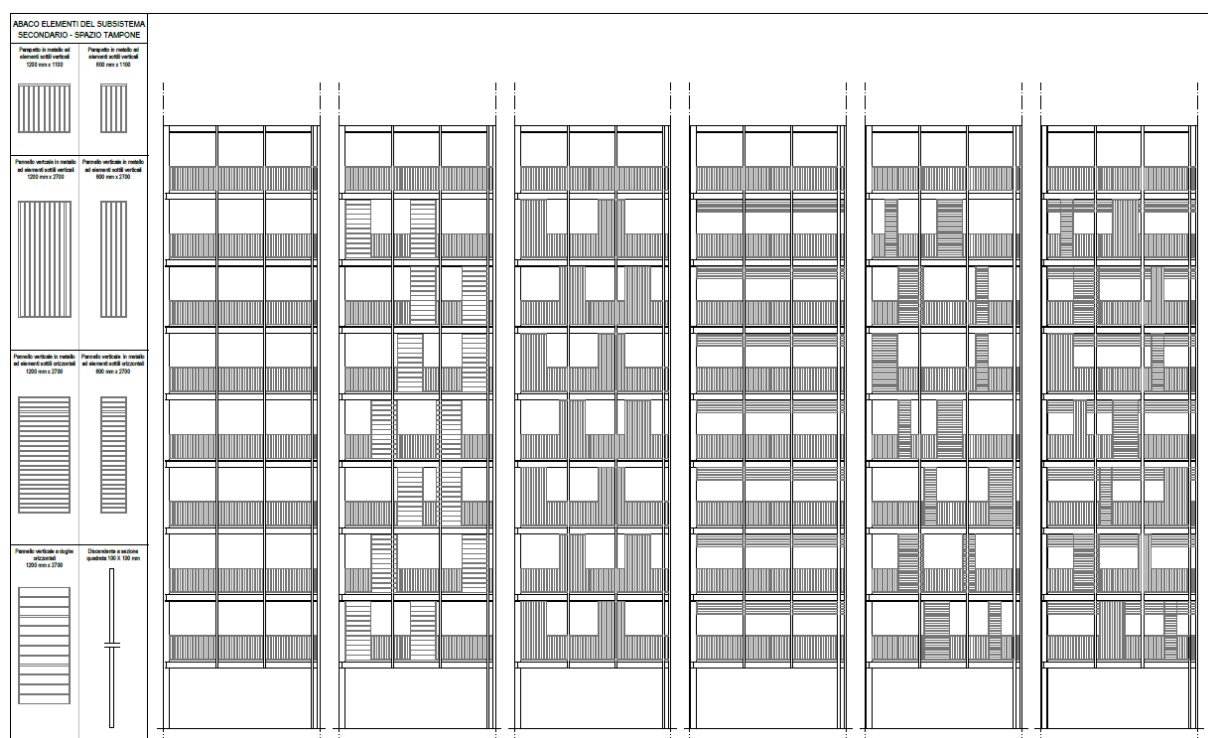


Fig. 90. Estratto del repertorio degli elementi tecnici schermanti per il sistema Ac.Ca. Building.



Fig. 91. Esempi di alternative progettuali ottenibili con il sistema Ac.Ca. Building.

Quanto detto finora, suggerisce un profilo di utilità nello sviluppo di uno strumento affine all'approccio parametrico capace di supportare un progettista nell'utilizzo del sistema Ac.Ca. Building. Più precisamente, si propone di sviluppare non già uno strumento a cui delegare la progettazione architettonica ma piuttosto uno strumento capace di accelerare il processo di generazione e successiva valutazione delle differenti alternative ottenibili con il sistema Ac.Ca..

Descrizione del caso studio

Concentrantosi sulla parte schermante dell'involucro architettonico, evidenziata in Fig. 92, si registra la possibilità di riprodurre le sue logiche compositive in forma computazionale. Ciò è permesso dall'esistenza di un repertorio di elementi tecnici all'interno del quale sono definite numerose regole e possibilità di aggregazione.



Fig. 92. Porzione dell'involucro architettonico affrontata nel caso studio.

Utilizzando il lessico proposto da Frazer, è necessario definire per questo involucro architettonico una “*minimal coded configuration*”⁵⁹¹, intesa come una astrazione delle informazioni minime necessarie a permettere la generazione, e la successiva analisi, di una soluzione architettonica. Prima di procedere con la fase di *scripting*, è necessario però chiarire per lo strumento parametrico da sviluppare quale sia il suo “*model use*”, cioè le finalità per le quali esso è introdotto nel processo di progettazione. Si propone quindi di creare uno strumento da utilizzare nelle prime fasi progettuali, capace di restituire in forma grafica diverse alternative progettuali e capace di associare ad esse una informazione relativa alla loro efficienza nei confronti dei materiali utilizzati e della gestione della radiazione solare.

La geometria generale di un involucro architettonico costruibile con il sistema Ac.Ca. è in questa sperimentazione ricondotta, all'interno del software di modellazione parametrica Grasshopper, alla definizione di due parametri relativi al numero di campate e al numero di piani. Successivamente, a questa *informatizzazione minima* è associata la generazione della relativa struttura portante (vedi Fig. 93).

⁵⁹¹ Frazer, J. (1995). *An evolutionary Architecture*. London: Architectural Association, p. 74.

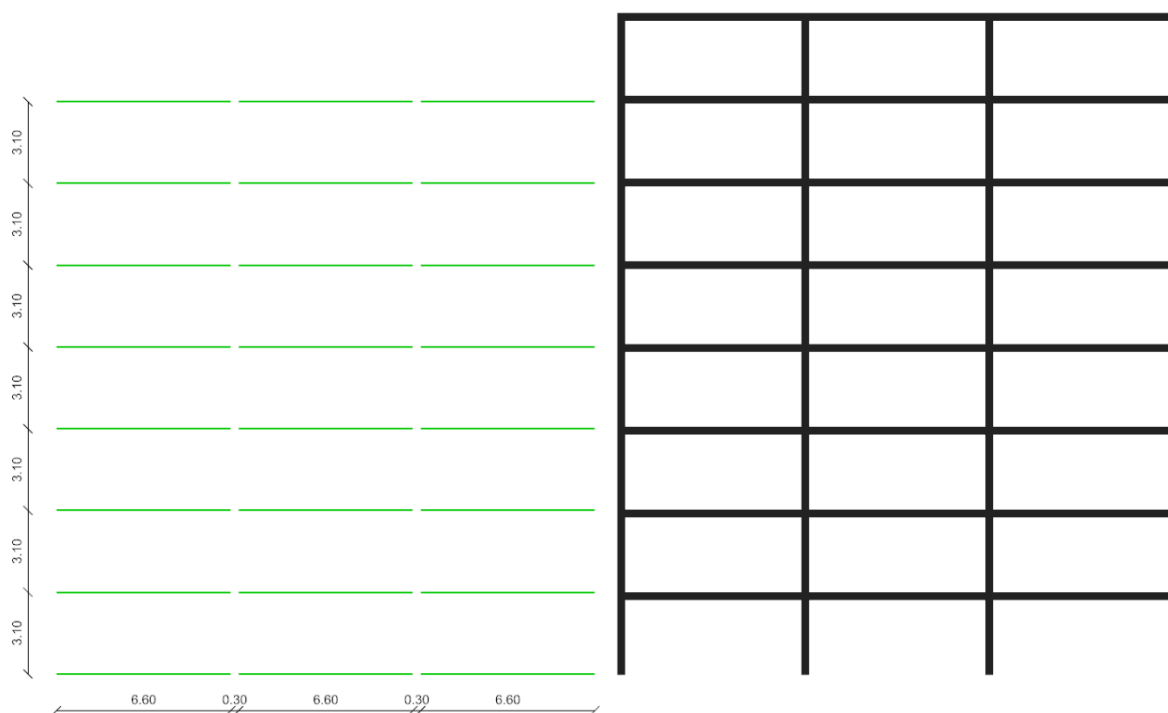


Fig. 93. Geometrizzazione dell'involucro architettonico (sx) e generazione della geometria strutturale.

Tra le numerose alternative progettuali realizzabili con il sistema Ac.Ca., si propone di codificare un sistema compositivo basato sull'utilizzo di tre elementi: un primo elemento schermante, posto sul filo esterno dell'involucro architettonico; un elemento di parapetto, baricentrico rispetto al sistema strutturale; un secondo elemento schermante, posto sul filo interno dell'involucro.

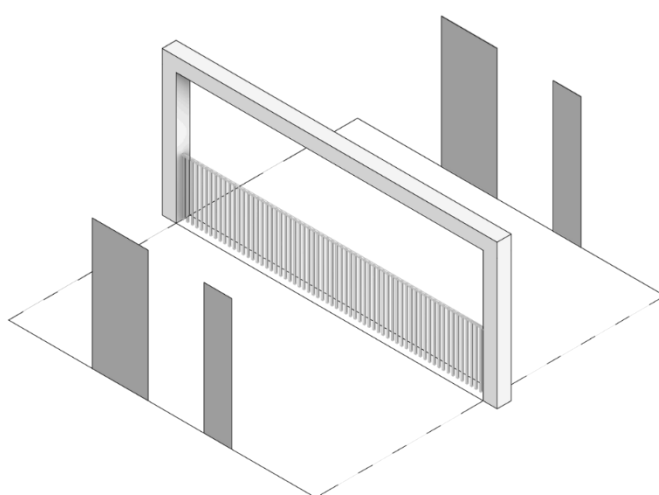


Fig. 94. Logica compositiva della parte schermante dell'involucro architettonico

È necessario ora procedere con la codifica del sistema di coordinamento modulare utilizzato nell'involucro architettonico. Ogni campata è quindi divisa in sei moduli di cui cinque da 1.20 metri e uno da 0.60 metri. La posizione del modulo da 0.60 metri, fondamentale rispetto agli esiti formali dell'involucro, può essere gestita manualmente oppure attraverso un approccio randomico. Si introduce quindi un ulteriore parametro capace di gestire il numero medio di moduli da occupare nelle campate che compongono la facciata.

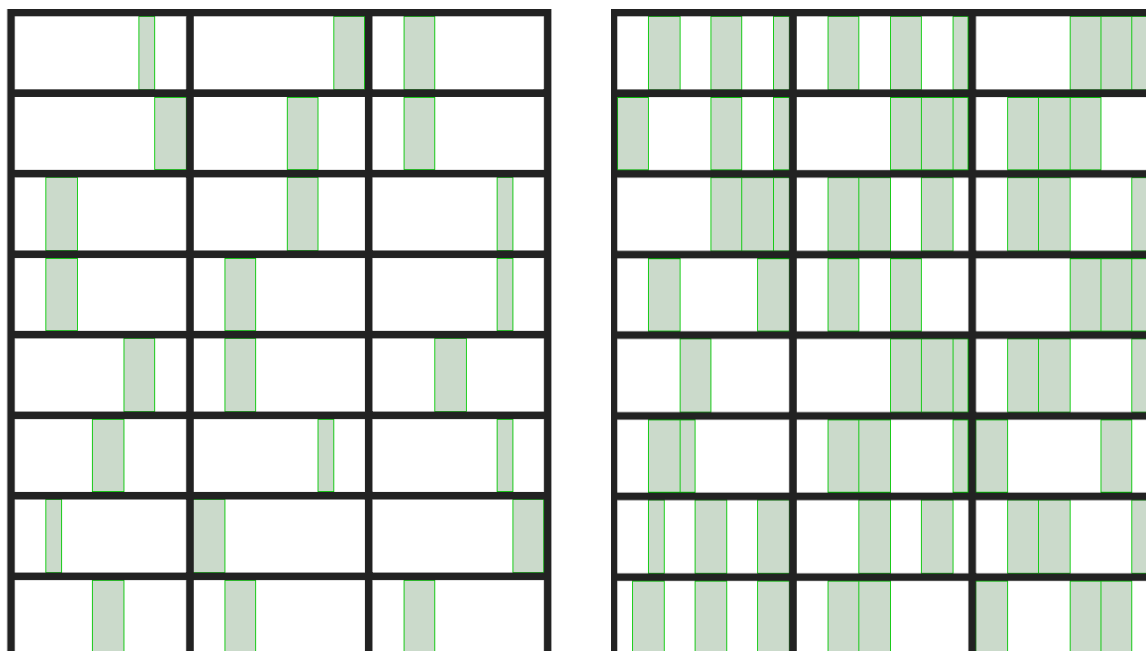


Fig. 95. Posizionamento, con un approccio randomico, degli elementi schermanti nell'involucro architettonico. Parametro numero medio pannelli nelle campate pari a uno a sinistra e pari a tre a destra.

Al sistema modulare ricreato è necessario associare uno dei diversi elementi schermanti definiti nel repertorio degli elementi tecnici del sistema Ac.Ca. Si propone quindi di utilizzare tre possibili pannelli di dimensioni pari a 1.20 metri o 0.60 metri: un pannello pieno, un pannello a doghe verticali e un pannello a doghe orizzontali (vedi Fig. 96). Gli elementi schermanti scelti possono essere agevolmente modificati nei loro parametri generativi (es. numero di doghe) oppure possono essere sostituiti con altri elementi.

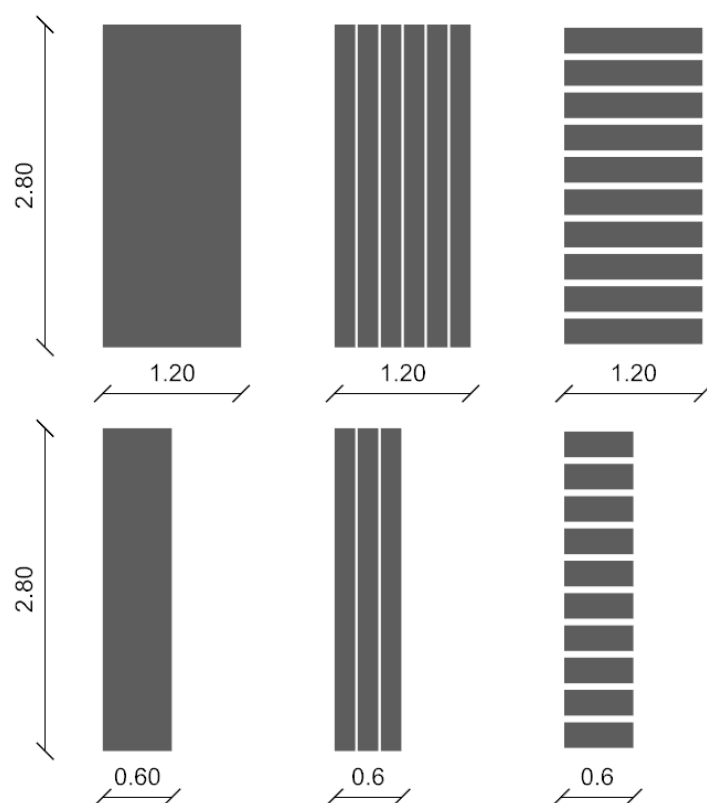


Fig. 96. Diversi pannelli schermanti codificati: pieno, a doghe verticali, a doghe orizzontali.

Una volta scelto un pannello, questo viene associato al sistema di coordinazione modulare della facciata precedentemente definito.

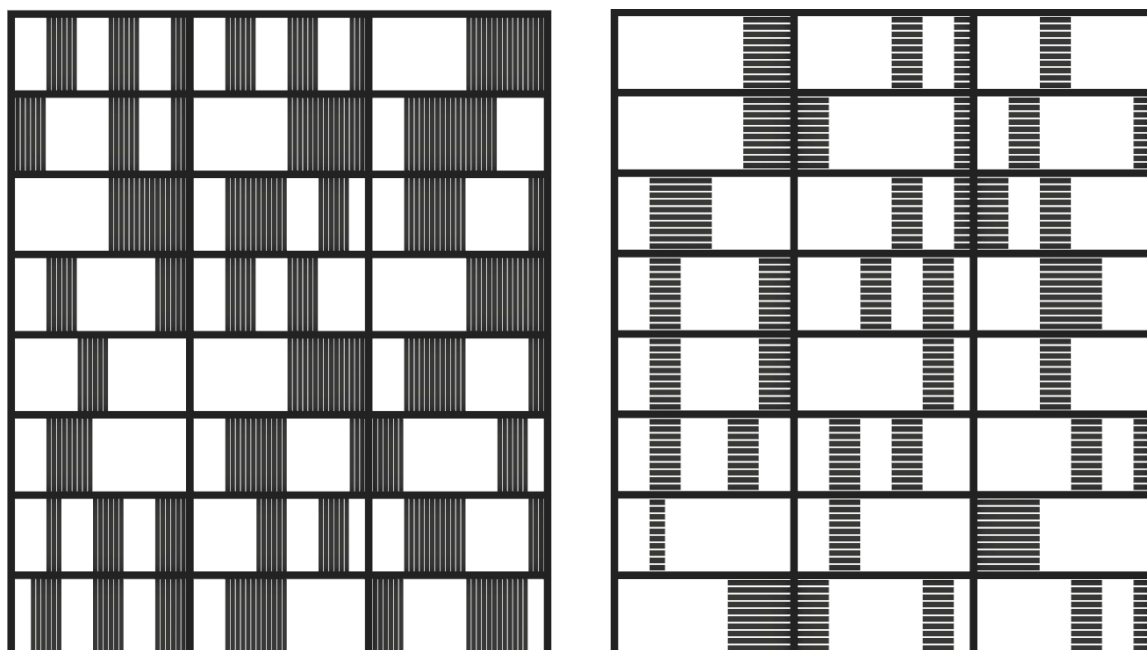


Fig. 97. Differenti associazioni del pannello schermante al sistema di coordinazione modulare della facciata.

Per completare l'involucro architettonico, è necessario geometrizzare il parapetto. Per esso, si propone di poter scegliere tra un elemento pieno e un elemento a montanti verticali.

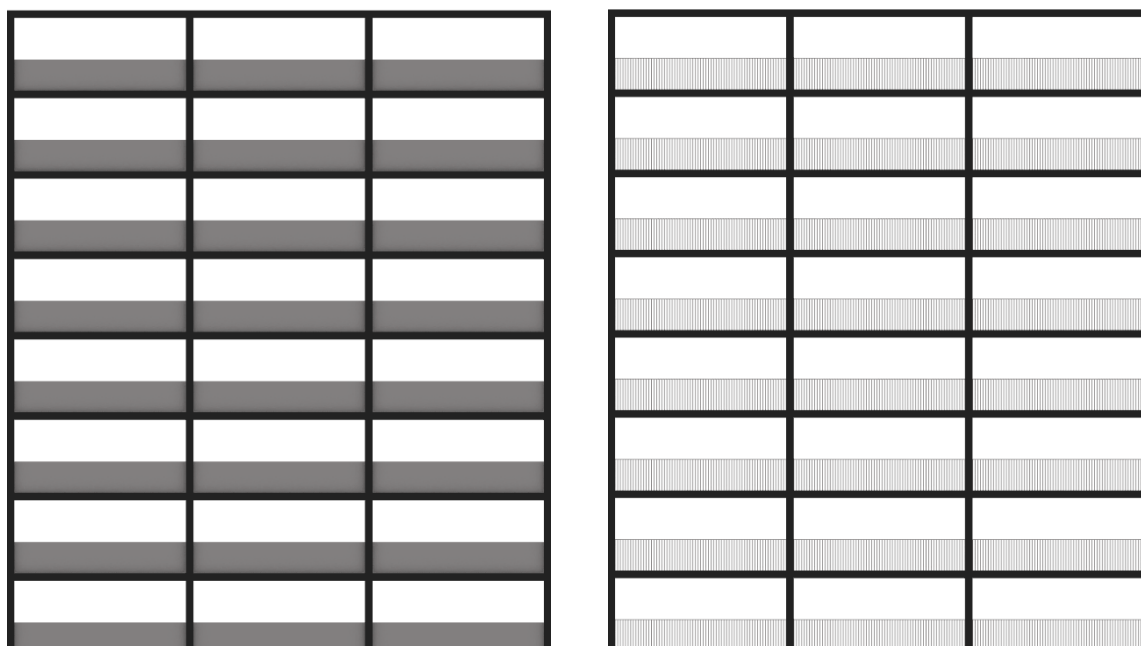


Fig. 98. Differenti tipi di parapetto.

La procedura descritta finora permette di indagare diverse alternative progettuali (di cui si riportano alcune esemplificazioni nella Fig. 99) dipendenti dai seguenti parametri:

1. NUMERO DI CAMPATE
2. NUMERO DI PIANI
3. TIPO DI PARAPETTO
4. TIPO DI PANNELLO FRONTALE
5. TIPO DI PANNELLO POSTERIORE
6. NUMERO MEDIO DI PANNELLI FRONTALI
7. NUMERO MEDIO DI PANNELLI POSTERIORI

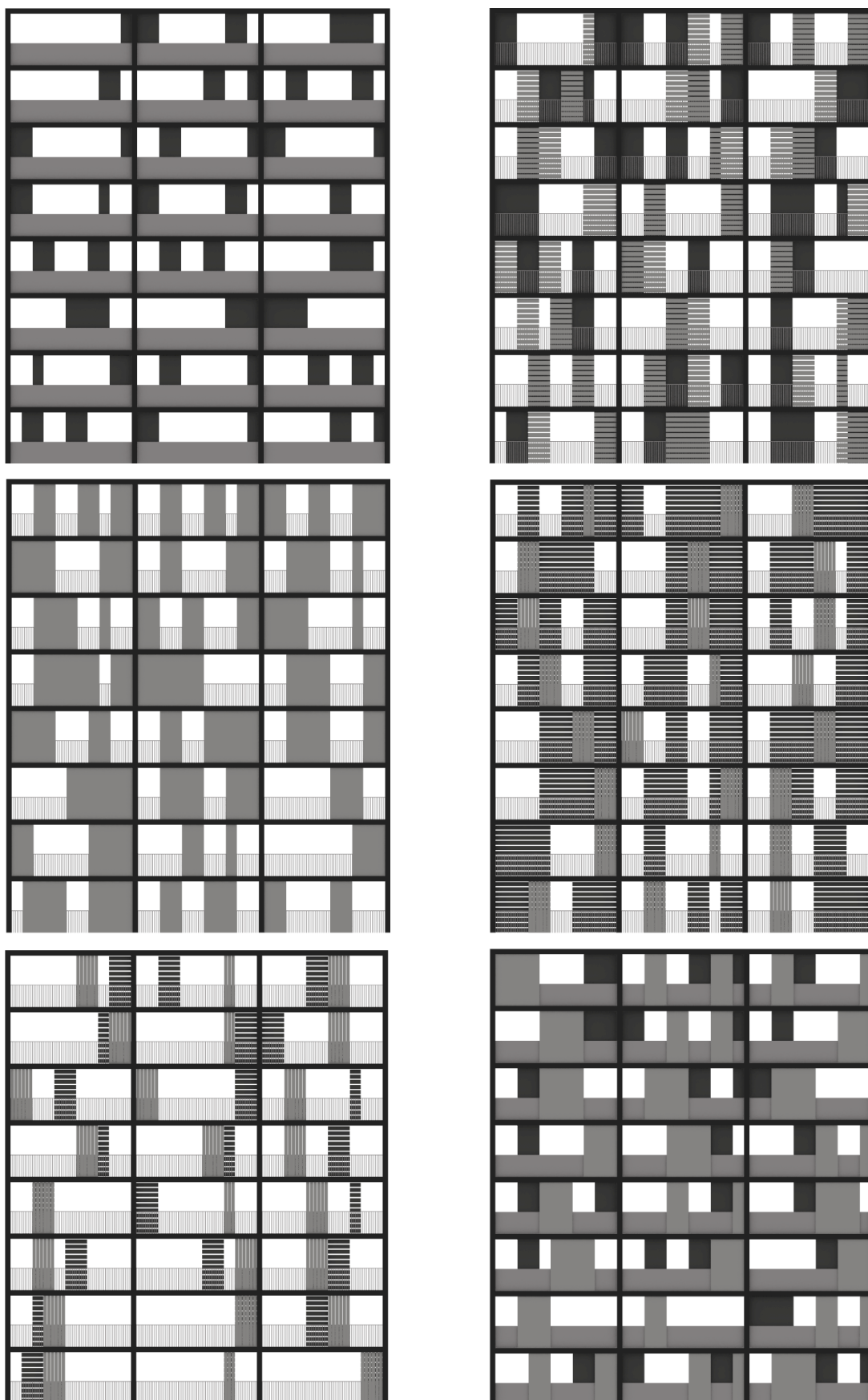


Fig. 99. Diverse alternative progettuali ottenibili a partire dall'algoritmo codificato.

È evidente che la procedura descritta finora presenta già un profilo di utilità in quanto permette di indagare, attraverso la gestione di un numero limitato di parametri e in tempo reale, un elevato numero di alternative progettuali, le quali richiederebbero un tempo considerevole per essere disegnate con un approccio più tradizionale.

Con il fine di fornire elementi quantitativi capaci di orientare la progettazione verso quelle soluzioni che presentano dei migliori profili di sostenibilità, è possibile introdurre delle *funzioni di fitness* che restituiscono una misura dell'efficienza di ogni alternativa progettuale.

Una prima funzione di fitness implementata riguarda la quantità di materiale utilizzato nell'involucro architettonico, ricavabile a partire dalle aree dei singoli elementi schermanti. Inoltre, si propone di memorizzare il valore di questa funzione per ogni alternativa progettuale in modo da poter ricavare informazioni statistiche sulla quantità di materiale utilizzato, come il suo valore medio.

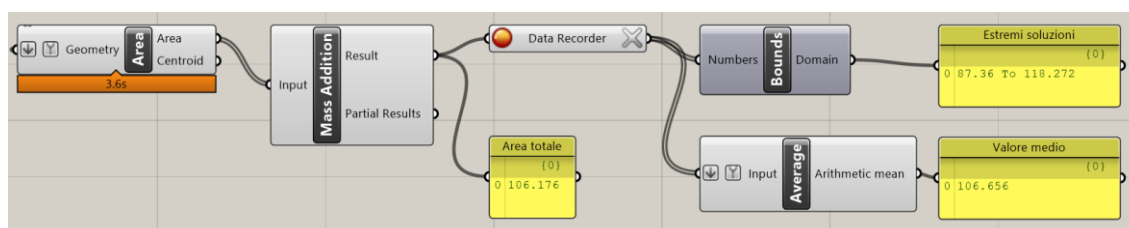


Fig. 100. Definizione di funzione di fitness sulla quantità di materiale utilizzato.

Una seconda funzione di fitness implementata riguarda la quantità di radiazione captata dalla parete perimetrale verticale nel periodo invernale e nel periodo estivo. Attraverso il plugin LadyBug, è possibile calcolare i seguenti valori:

1. RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE SULLA PARETE PERIMETRALE VERTICALE DAL 1 NOVEMBRE AL 25 APRILE [DA MASSIMIZZARE, kWh]
2. RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE SULLA PARETE PERIMETRALE VERTICALE DAL 16 MAGGIO AL 30 SETTEMBRE [DA MINIMIZZARE, kWh]

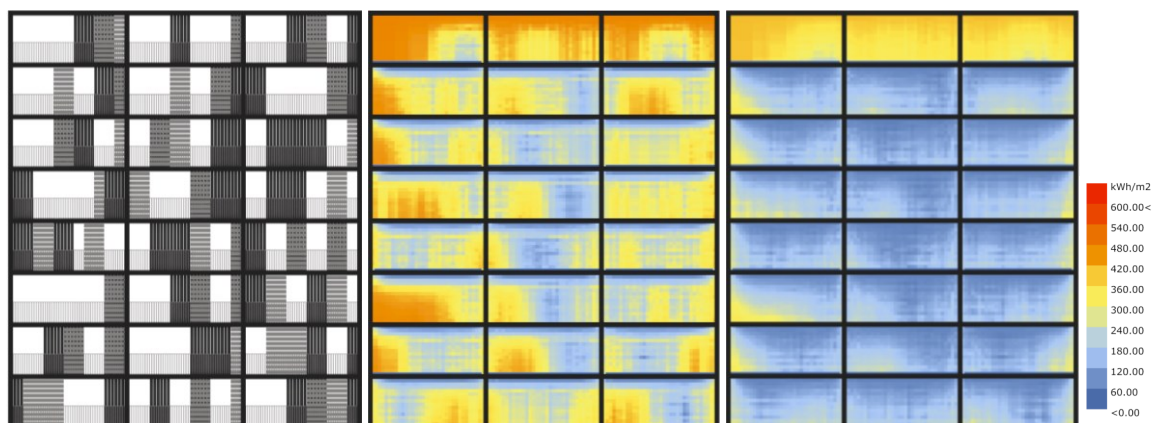


Fig. 101. Radiazione incidente sulla parete perimetrale verticale nel periodo invernale (centrale) e estivo (dx).

In questa sede non è compiuta una decisione finale sulla scelta di una soluzione progettuale, data la natura speculativa del caso studio proposto, sviluppato per delineare una possibile modalità operativa dell'approccio parametrico. La discussione di questa modalità operativa nell'ambito delle diverse possibilità dell'approccio parametrico è rimandata a valle dell'esposizione delle applicazioni pratiche al paragrafo 0.

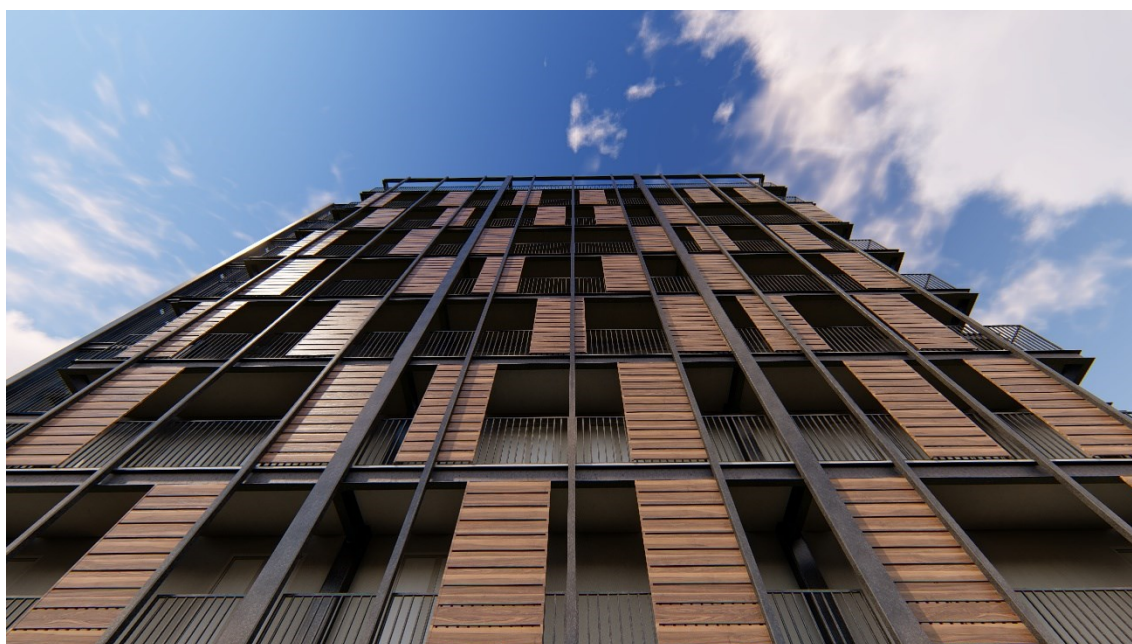


Fig. 102. Visualizzazione tridimensionale di una possibile alternativa progettuale.

PARAMETRICO BLACK BOX. OTTIMIZZAZIONE DI UNA SCHERMATURA SOLARE TRAMITE ALGORITMI EVOLUTIVI E CLUSTERING

Abstract

La seguente applicazione è sviluppata per delineare gli aspetti metodologici di un particolare e diffuso modo di attuare l'approccio parametrico definibile come "black box". Questo termine è utilizzato nella teoria dei sistemi per descrivere un modello nel quale alcuni input iniziali sono trasformati in un output attraverso un processo che è nascosto, sconosciuto o di difficile comprensione e gestione. Un progetto di architettura condotto attraverso il paradigma black box non può che elevare a principio metodologico il valore della casualità, il quale operativamente si manifesta nella possibilità di visualizzare inaspettate e inedite soluzioni progettuali. Di conseguenza, avvicinare la progettazione al paradigma black box comporta un suo minore e più arduo controllo.

Si propone di ricreare una applicazione dell'approccio parametrico prossima al paradigma black box attraverso la progettazione di una porzione di involucro architettonico per mezzo di un Evolutionary Multibjective Optimization Algorithm (EMOA). Con il fine di sviluppare consuetudini metodologiche capaci di arginare alcune derive del paradigma black box, gli EMOA sono introdotti in questa applicazione ricercando una armonica integrazione tra le loro logiche intrinseche e la prassi del progetto di architettura.

L'applicazione proposta ambisce quindi a conseguire questa integrazione operando sul piano metodologico, e cioè, più precisamente, progettando la variabilità ottenibile dalla procedura di generazione parametrica e, sul piano strumentale, introducendo tecniche di clustering per facilitare i processi decisionali a valle dell'ottimizzazione.

PARAMETRIC BLACK BOX. OPTIMISATION OF A SUNSCREEN USING EVOLUTIONARY ALGORITHMS AND CLUSTERING

Abstract

The following application is developed to outline the methodological aspects of a particular and widespread way of implementing the parametric approach that can be defined as 'black box'. This term is used in systems theory to describe a model in which initial inputs are transformed into outputs through a process that is hidden, unknown or difficult to understand and manage. Architectural design when conducted through the black box paradigm elevates as a methodological principle the value of randomness, which operationally manifests itself in the possibility of visualising unexpected and unprecedented design solutions. Consequently, bringing design practice closer to the black box paradigm makes it more difficult to control.

It is proposed to recreate an application of the parametric approach close to the black box paradigm by designing a portion of an architectural envelope using an Evolutionary Multibjective Optimisation Algorithm (EMOA). With the purpose of developing methodological habits capable of containing certain drifts of the black box paradigm, EMOAs are introduced in this application by seeking a harmonious integration between their intrinsic logic and the practice of architectural design.

The proposed application, therefore, aims to achieve this integration by operating on a methodological level, designing the variability obtainable from the parametric generation procedure, and on an instrumental level, introducing clustering techniques to facilitate decision-making processes following the optimisation.

Nota metodologica

Gli *EMOA*, *Evolutionary Multibjective Optimization Algorithm*, rappresentano un diffuso strumento per generare, nell'ambito di una procedura generativa affine all'approccio parametrico, soluzioni progettuali particolarmente efficienti rispetto ad alcune specifiche funzioni di fitness. Essi sono attuati attraverso un framework che, generalmente, prevede la generazione di un consistente numero di soluzioni progettuali per popolare lo spazio di design e per poter successivamente applicare la seguente procedura iterativa: (1) valutazione delle soluzioni generate, (2) selezione delle soluzioni più promettenti, (3) ibridazione delle soluzioni più promettenti, (4) generazione di nuove soluzioni. Questa procedura è quindi ripetuta fino al raggiungimento di alcuni requisiti imposti dal progettista (es. numero massimo di generazioni raggiunto o andamento costante di parametri matematici come l'*hypervolume*). Adottare un EMOA nella pratica del progetto di architettura significa sostanzialmente utilizzare una traduzione in termini computazionali della teoria evolutiva di Darwin.

Quando gli EMOA sono applicati ai problemi della progettazione architettonica, essi spesso non conducono verso un'unica soluzione progettuale ottimizzata, in conseguenza della complessità propria della disciplina del progetto. Più frequentemente, a seguito dell'applicazione di un EMOA è possibile visualizzare un elevato numero di soluzioni progettuali definibili come 'sub-ottimizzate'. Di conseguenza, in caso di ricorso a questi strumenti la progettazione architettonica si esplica attraverso l'applicazione di un processo decisionale per individuare la migliore tra le soluzioni 'sub-ottimizzate'.

La promessa di una maggiore efficienza delle soluzioni progettuali apportata dal ricorso agli EMOA è quindi bilanciata dall'introduzione di nuove difficoltà allo stesso modo così indotte nel processo di progettazione. Si può infatti riconoscere che scegliere una soluzione progettuale all'interno di un gruppo di 10 proposte 'sub-ottimizzate' può comportare delle difficoltà ben maggiori rispetto alla valutazione di 10 proposte non ottimizzate. Questa situazione è ben descritta dal termine "*overchoice*" o "*choice overload*", il quale, sin dagli anni '70, è usato per indicare quelle situazioni in cui "*i vantaggi della diversità e dell'individualizzazione sono annullati dalla complessità del processo decisionale*"⁵⁹². Di conseguenza, è possibile riconoscere che l'applicazione di un EMOA nel progetto di

⁵⁹² Toffler, A. (1970), *Future Shock*, New York: Random House.

architettura non presenta caratteristiche di “*neutralità algoritmica*”, giacché esso modifica i paradigmi cognitivi di un progettista.

Una possibile e diffusa reazione a ciò è elevare l’EMOA al ruolo di “*musa elettronica*”, capace di risolvere anche problemi mal posti come farebbe un “*genio della lampada*”, come proposto da Frazer in uno dei primi testi sull’approccio evolutivo nel progetto di architettura⁵⁹³. Conseguenza di questo atteggiamento è avvicinare il progetto di architettura al paradigma *black box*, in cui la capacità di proporre al progettista soluzioni a lui inaspettate è considerato un principio metodologico da preservare.

Con questa applicazione, si vuole perciò proporre un atteggiamento diverso che ambisce a raggiungere una integrazione tra la prassi del progetto di architettura e uno degli strumenti più “estremi” dell’approccio parametrico.

Più precisamente, utilizzando come caso applicativo la progettazione di una porzione di involucro architettonico, si propone di arginare l’imprevedibilità di un EMOA dedicando particolare cura alla progettazione della variabilità della procedura generativa da esso utilizzata. Ciò sarà effettuato attraverso un approccio qualitativo che mira, per mezzo di una rivisitazione dell’invariante dell’elenco di Bruno Zevi⁵⁹⁴, alla definizione di una procedura generativa che agisce in uno spazio di design limitato e pre-verificato dal progettista. Successivamente, per continuare ad arginare il fenomeno dell’“*overchoice*”, a partire dalle numerose soluzioni ‘sub-ottimizzate’ proposte dall’EMOA sono individuate, per mezzo di un algoritmo di *clustering*, un numero limitato di soluzioni-tipo, presentanti simili caratteristiche di efficienza, da considerare nella fase di scelta progettuale.

La ricerca condotta ha quindi dimostrato la possibilità di perseguire l’introduzione nel progetto di architettura di una delle più dirompenti strumentazioni proprie dell’approccio

⁵⁹³ Scrive Frazer: “Nel nostro caso, “uso immaginativo” significa usare il computer - come un genio nella lampada - per comprimere lo spazio e il tempo evolutivo in modo che la complessità e la forma architettonica emergente siano in grado di svilupparsi.” (tradotto da: “‘imaginative use’ in our case means using the computer - like the genii in the bottle - to compress evolutionary space and time so that complexity and emergent architectural form are able to develop”),

Frazer, J., *An evolutionary Architecture*, p. 18.

⁵⁹⁴ Zevi, B. (1973), “L’elenco come metodologia progettuale,” in Zevi, B., *Il Linguaggio moderno dell’architettura*, 5° ed., Torino: Einaudi, p. 13-19.

parametrico per mezzo della ricerca di una integrazione tra la prassi progettuale e le logiche della tecnica.

Descrizione del caso applicativo

L'applicazione proposta consiste nella progettazione, per mezzo di un algoritmo generativo ottimizzato tramite *EMOA*, di una porzione di involucro architettonico in clima mediterraneo (Roma), larga 20 metri e alta 6 metri, orientata a sud. Sono delineate tre funzioni di fitness per la porzione di involucro architettonico, la cui ottimizzazione è capace di condurre a un immediato miglioramento del profilo ambientale dell'edificio nelle fasi di costruzione e di gestione:

1. L'AREA DEL SISTEMA DI OMBREGGIAMENTO [DA MINIMIZZARE]
2. LA RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE SULL'INVOLUCRO DAL 1 NOVEMBRE AL 25 APRILE
[DA MASSIMIZZARE, kWh]
3. LA RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE SULL'INVOLUCRO ARCHITETTONICO DAL 16
MAGGIO AL 30 SETTEMBRE [DA MINIMIZZARE, kWh]

I tematismi linguistici da introdurre del caso studio sono slegati dalla poetica progettuale dell'autore ma sono derivati a partire da una riflessione su cosa è percepito affine all'approccio parametrico. Più precisamente, con il fine di evidenziare come possano emergere dei *bias* metodologici già a partire dal primo avvicinamento alla strumentazione dell'approccio parametrico, si propone di guardare alla manualistica per individuare una tipica modalità di attuazione di questo particolare metodo progettuale. Autori che discutono l'approccio parametrico senza riferimento a un particolare software, come Woodbury⁵⁹⁵, così come autori che invece propongono dei veri e propri manuali tecnici, come Jabi⁵⁹⁶, Khabazi⁵⁹⁷ e Tedeschi⁵⁹⁸, propongono casi studio in cui una superficie subisce un processo di

⁵⁹⁵ Woodbury, R. (2010), *Elements of parametric design*, New York: Routledge.

⁵⁹⁶ Jabi, W. (2013), *Parametric Design for Architecture*, Londra: Laurence King Publishing

⁵⁹⁷ Khabazi, Z. (2012), *Generative Algorithms using grasshopper* [Online]. https://issuu.com/pabloherrera/docs/generative_algorithms_f07be9052a219d (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022)

⁵⁹⁸ Tedeschi, A. (2014), *AAD Algorithms-Aided Design, Parametric Strategies using Grasshopper*, Brienza: Le Penseur.

differenziazione e variazione dipendente da alcuni *attrattori*: una entità geometrica (un punto, una curva o un altro elemento) da cui viene derivata l'intensità di una trasformazione.

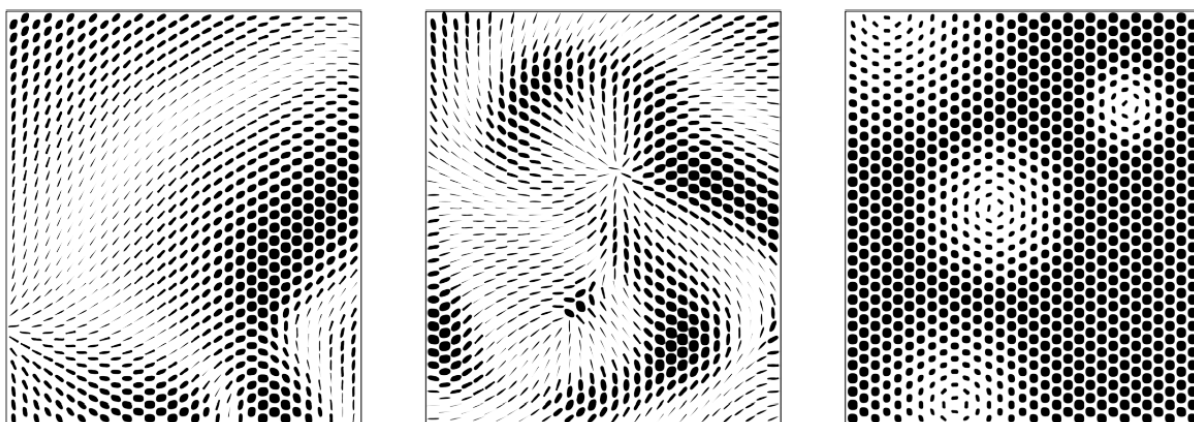


Fig. 103. Esempio di trasformazione la cui intensità dipende da un attrattore di tipo lineare (prime due immagini) o puntuale (terza immagine)⁵⁹⁹.

Inoltre, alcune posizioni teoriche, come lo *Swarmism* di Schumacher⁶⁰⁰ o l'enfasi sulla differenziazione di Lynn⁶⁰¹, assegnano un ruolo centrale per sfruttare le opportunità offerte dalla strumentazione parametrica alla possibilità di variare armonicamente le trasformazioni condotte su una superficie. Questa corrispondenza tra gli aspetti tecnici e le posizioni teoriche conduce a una generale preferenza del discente nel suo primo avvicinamento ai software della modellazione parametrica a guardare a quelle tecniche che permettono di ottenere questa armonica variazione di morfologie. Ciò è ulteriormente testimoniato dai risultati di un workshop di cui l'autore è stato responsabile⁶⁰² nel quale si è rilevata la tendenza dei discenti neofiti nei confronti dell'approccio parametrico ad adottare trasformazioni geometriche dipendenti da attrattori nelle loro prime sperimentazioni (vedi Fig. 104).

⁵⁹⁹ Immagine tratta da: MODELAB (2015), *Grasshopper Primer* [Online]. <http://grasshopperprimer.com/en/index.html> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022), p. 66.

⁶⁰⁰ Schumacher, P. (2018), "The Progress of Geometry as Design Resource", *Log*, no. 43, pp. 105-118.

⁶⁰¹ Mario Carpo propone una sintesi del concetto di *differenziazione* nella teoria di Lynch, tracciandone i principi contribuiti teorici. Cfr. Carpo, M. (2011), *The alphabet and the algorithm*, Cambridge: MIT Press, p. 130 (nota n. 10).

⁶⁰² Canestrino, G., Miraglia, S., Perri, G. & Lucente, R. (2021), "Parametric Strategies in an Architectural Design Workshop". In Gomez, P. Z. & Braidà, F. (eds.), *Design Possibilities - XXV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Virtual Conference, 8-12 November 2012. São Paulo: Blucher, pp. 511-522.



Fig. 104. Esempi degli output progettuali in workshop dedicato all'avvicinamento agli strumenti dell'approccio parametrico⁶⁰³.

Le considerazioni finora riportate sono riferite a evidenti impatti sugli aspetti pedagogici e metodologici del progetto di architettura, ulteriormente amplificabili a seguito del ricorso alla strumentazione *EMOA*. Di conseguenza, si propone di introdurre nel caso studio in esame una tipica strategia di modellazione parametrica, basata sulla progressiva differenziazione degli elementi lineari che possono comporre una facciata, già proposta da diversi autori (vedi Fig. 105).



Fig. 105. Esempi di involucri architettonici caratterizzati dall'armonica variazione di elementi lineari condotta attraverso modellazione parametrica. Studio GANG (2010), *aqua tower*; Meganom (2008), *Mercury Theatre*; Modus Architects (2011), *Damiani Holz & Ko*.

Si traccia quindi una roadmap metodologica caratterizzata da un consistente numero di *loop* in modo da assecondare la naturale non linearità del progetto di architettura (vedi Fig. 106). Si propone una prima attività di *prefigurazione dello spazio di design*, nella quale

⁶⁰³ Canestrino, G., Miraglia, S., Perri, G. & Lucente, R., "Parametric Strategies in an Architectural Design Workshop".

individuare un numero limitato di possibili soluzioni formali di larga massima. Successivamente, in ambiente Grasshopper, è scritto un algoritmo visuale capace di restituire, senza discontinuità nel suo spazio di design, le soluzioni individuate nella fase di prefigurazione. Sono quindi implementate le analisi precedentemente definite le quali vengono quindi usate come obiettivo di ottimizzazione di un EMOA. Successivamente si procede alla fase di selezione della soluzione, che non è da considerarsi come la fine della progettazione ma la base sulla quale condurre tutti gli ulteriori e necessari approfondimenti specialistici.

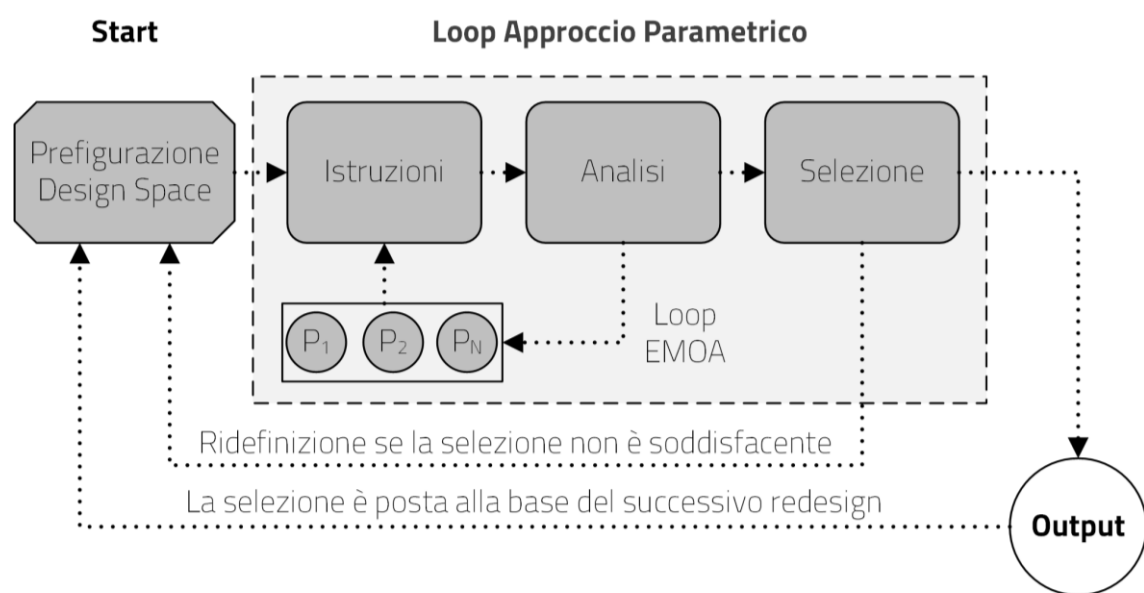


Fig. 106. Framework metodologico del caso studio

La fase di prefigurazione dello spazio di design è condotta guardando alla celebre invariante dell'*elenco* proposta da Zevi, descritta dall'architetto romano come un "*atto eversivo di azzeramento culturale*" che spinge a "*ricominciare da capo, come se nessun sistema linguistico fosse mai esistito, e dovessimo costruire, per la prima volta nella storia, una cosa o una città*"⁶⁰⁴. Questo atteggiamento può esser messo in continuità con uno dei primi teorizzatori della metafora evolutiva nel progetto di architettura, Frazer, il quale propone di costruire i propri algoritmi progettuali "*from scratch*"⁶⁰⁵, cioè limitando l'uso di metodi

⁶⁰⁴ Zevi, B. (1973), *Il linguaggio moderno dell'architettura. Guida al codice anticlassico*, 5° ed, Torino: Einaudi, p. 13.

⁶⁰⁵ Cfr. Frazer, J., *An evolutionary Architecture*.

pregressi, sviluppando nuovi software e nuovi hardware. Dunque iterando tra la dimensione analogica e la dimensione digitale, si può tracciare un numero consistente di possibili strategie progettuali per l'involucro architettonico, cioè un *elenco*, e, solo per le strategie più promettenti, si può procedere a tracciare ulteriori prefigurazioni.

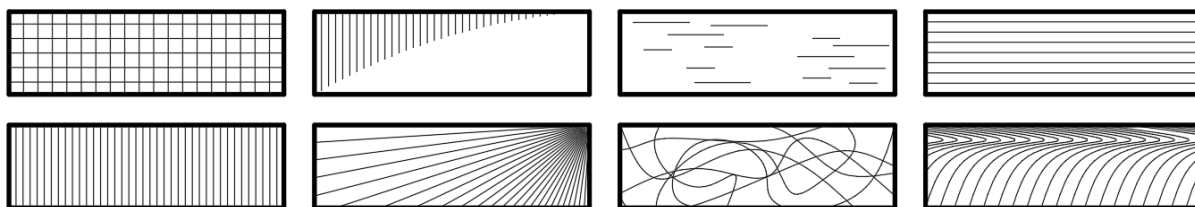


Fig. 107. Creazione di un abaco per le possibili strategie progettuali

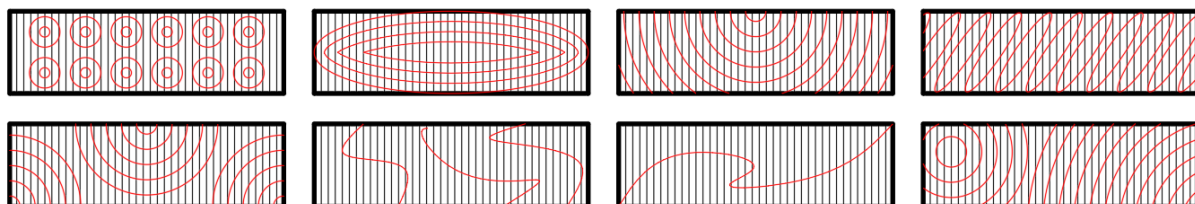


Fig. 108. Tracciamento di possibili particolarizzazioni delle strategie progettuali.

Le operazioni finora condotte, ed esemplificate dai grafici, circoscrivono lo *spazio di design* nel quale cercare la soluzione progettuale. A partire dalla conoscenza tecnica sul software parametrico, si può riconoscere che spesso una soluzione è restituibile utilizzando diverse strategie di modellazione. Si tracciano quindi, con un approccio qualitativo, queste relazioni in modo da individuare un'unica strategia di modellazione capace di restituire quelle soluzioni ritenute più promettenti.

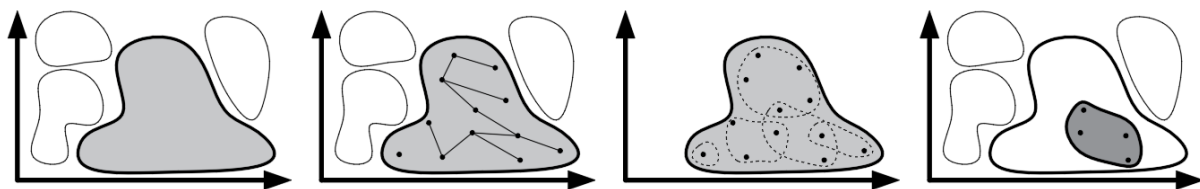


Fig. 109. Progressiva riduzione dello spazio di design da esplorare con la modellazione parametrica. Disegno qualitativo.

Si sottolinea che la metodologia finora descritta non è lineare, giacché, necessariamente, è attuata attraverso un processo iterativo tra l'astrazione progettuale e la sua formalizzazione.

Una volta delineato un campo di possibili soluzioni progettuali, tutte caratterizzate dalla variazione armonica della profondità di alcuni elementi verticali, si procede alla scrittura dell'algoritmo visuale capace di generarle. È necessario porre una particolare attenzione nei confronti della delineazione di quei parametri che permetteranno l'esplorazione dello spazio di design: a titolo di esempio, non è possibile affidare la generazione della soluzione ad approcci randomici in quanto questi ultimi non permettono di sfruttare pienamente le possibilità degli EMOA.

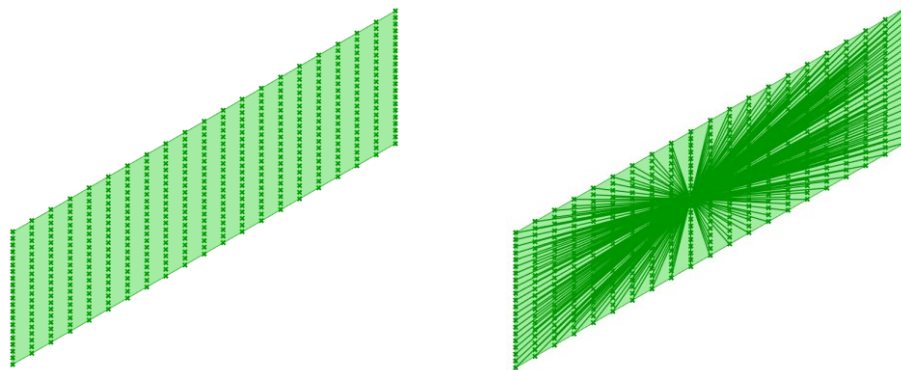


Fig. 110. Discretizzazione dell'involucro architettonico (sx.). Introduzione di un attrattore puntuale (dx).

La superficie oggetto della progettazione è quindi discretizzata in 400 punti che saranno utilizzati per ricavare le distanze da un attrattore. Queste distanze sono poi utilizzate come parametri per il calcolo di una equazione sinusoidale il cui risultato, dopo un *remapping*, sarà utilizzato per assegnare profondità alla superficie. L'equazione utilizzata dipende quindi dalla distanza dall'attrattore d e da un ulteriore parametro numerico a .

$$\text{Profondità} = \sin(ad) \quad (37)$$

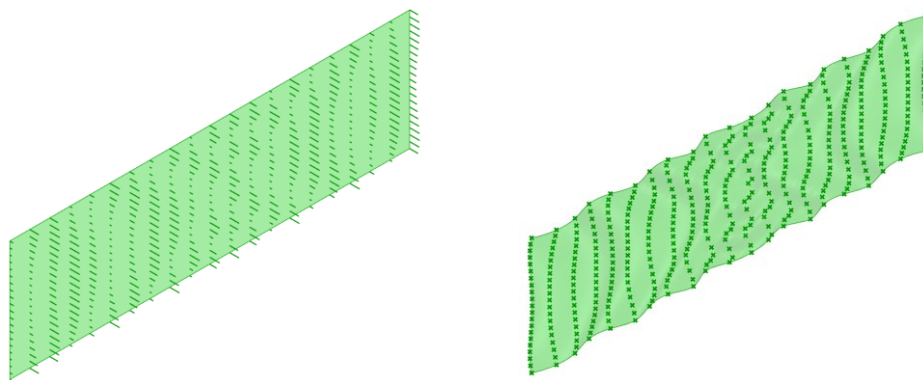


Fig. 111. Calcolo delle profondità (sx). Nuova superficie involucro architettonico (dx).

Si introduce ora un ulteriore parametro riguardante il numero di elementi verticali che comporranno l'involucro architettonico. Questo parametro è utilizzato prima per dividere la superficie dell'involucro e, successivamente, per creare le superfici degli elementi schermanti per mezzo di un *loft*.

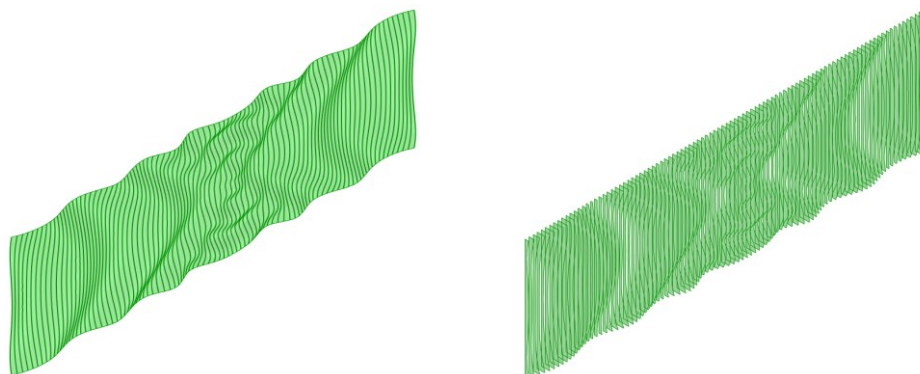


Fig. 112. Divisione della superficie di involucro (sx). Creazione dei singoli elementi schermanti (dx).

La procedura finora descritta dipende quindi dalla posizione di un generico punto, dal periodo di variazione della equazione (37) e dal numero di elementi verticali.

Si procede quindi alla definizione delle funzioni di fitness. La funzione N.1 risulta facilmente calcolabile attraverso le sommatorie delle superfici degli elementi verticali, mentre le funzioni di fitness N.2 e N.3 sono calcolate attraverso il plugin Ladybug⁶⁰⁶ (vedi Fig. 113).

⁶⁰⁶ Roudsari, M. S. & Pak, M., (2013), "Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design", in *Proceedings of the 13th International IBPSA Conference*, 25-30 agosto 2013, Lione, Francia.

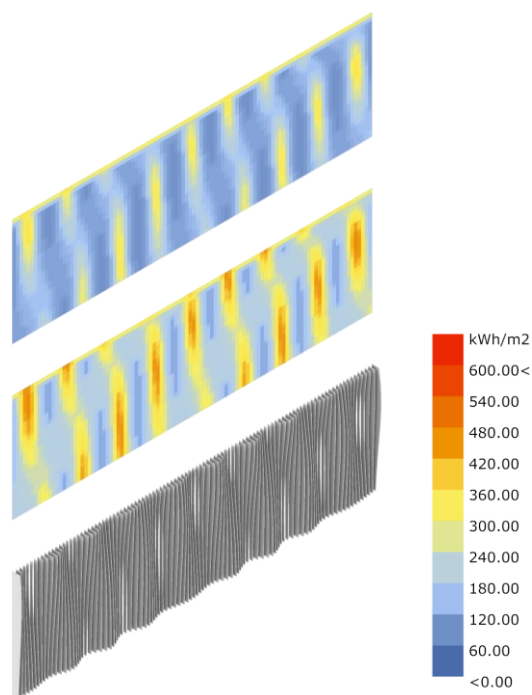


Fig. 113. Esempio di soluzione progettuale (in basso). In alto radiazione incidente estiva e al centro radiazione incidente invernale.

Successivamente è condotta una ottimizzazione evolutiva attraverso il plugin Wallacei⁶⁰⁷, basato sull'algoritmo NSGA-2, producendo 100 generazioni ognuna composta da 50 soluzioni progettuali. A ciò corrisponde un tempo di simulazione pari a circa 5 ore e 30 minuti. Con il fine di pervenire a una decisione di tipo sintetico, le molteplici soluzioni sulla superficie di Pareto sono state processate attraverso un algoritmo *K-Means* per delineare 8 *cluster* progettuali rappresentativi di altrettante strategie progettuali. Particolare attenzione è posta nella scelta del numero di *cluster* il quale deve riflettere un numero di strategie progettuali significativamente diverse⁶⁰⁸.

⁶⁰⁷ Makki, M., Showkatbakhsh, M., & Song, Y. (2019), *Wallacei Primer 2.0*. [Online]. <https://www.wallacei.com/learn> (Ultima consultazione: 04 febbraio 2023).

⁶⁰⁸ Canestrino, G. (2021), "Use of parametric approach for user-oriented development in building design: preliminary investigations", *The Academic Research Community Publication*, no. 5 vol. 1, pp. 74-80.

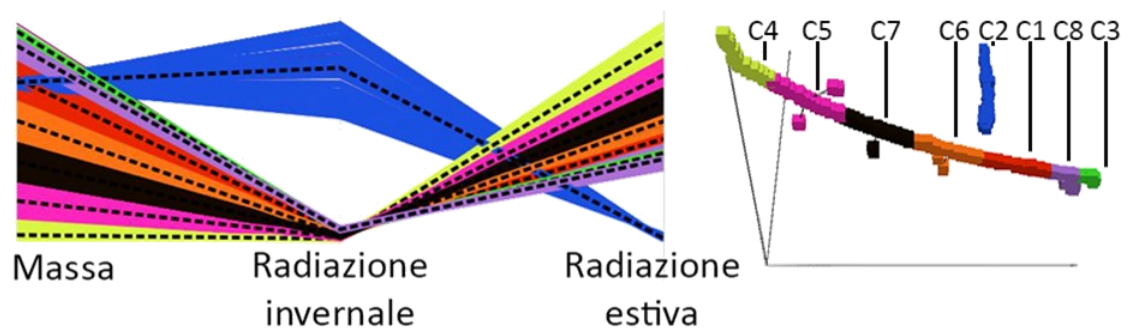


Fig. 114. Sinistra: Parallel Coordinate Plot, soluzioni migliori presentano coordinate più basse. Destra: Spazio di design, soluzioni migliori sono più prossime all'origine. Ogni colore rappresenta un cluster di soluzioni progettuali.

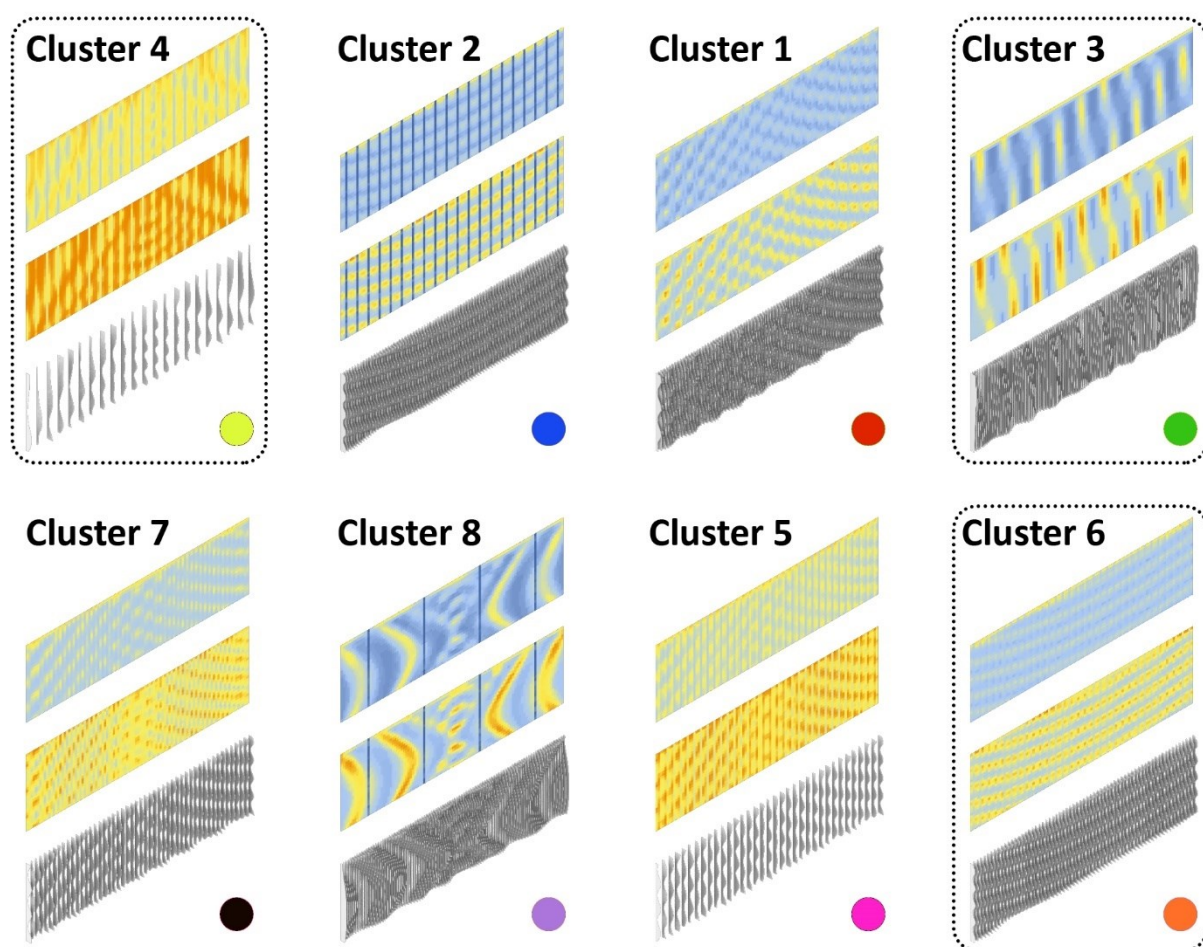


Fig. 115. Soluzioni progettuali rappresentative per ogni cluster. In alto radiazione incidente estiva e al centro radiazione incidente invernale.

È possibile quindi utilizzare i risultati del *clustering* per delineare, a titolo di esempio, tre soluzioni: una soluzione che utilizza significativamente meno massa (*cluster 4*), una soluzione bilanciata (*cluster 6*) e una soluzione più performante nei mesi estivi (*cluster 3*). Per indagare

ulteriori variazioni della soluzione progettuale è necessaria una modifica alla strategia generativa.

In questa sede non è compiuta una decisione finale sulla soluzione progettuale da adottare, data la natura speculativa del caso studio proposto. La discussione su come questo caso applicativo rappresenti uno dei tanti modi possibili di introdurre delle tematiche affini all'approccio parametrico nel progetto di architettura è rimandata a valle dell'esposizione delle applicazioni pratiche al paragrafo 0..

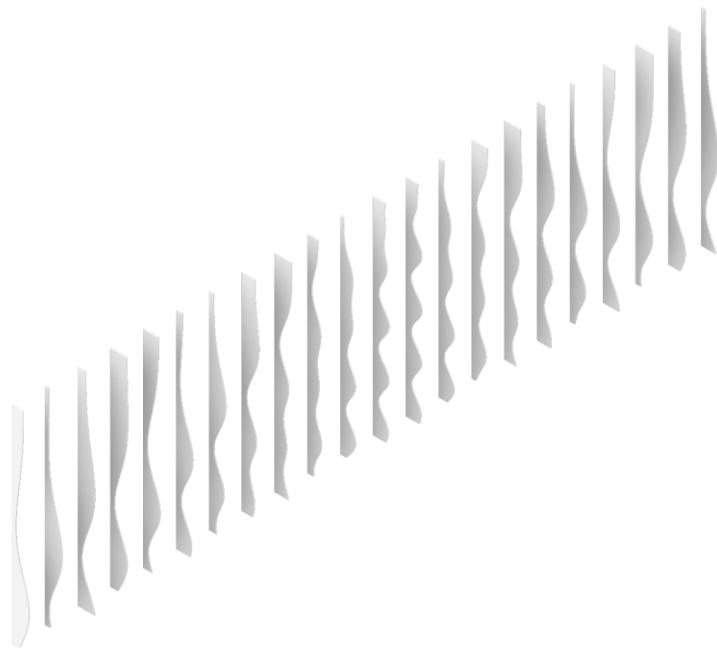


Fig. 116. Soluzione cluster 4 presentante massa minimizzata

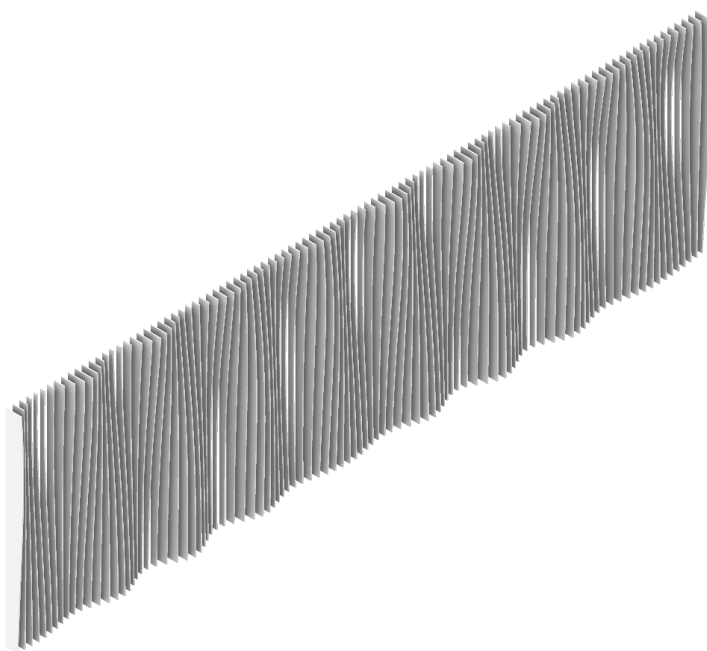


Fig. 117. Soluzione cluster 3 presentante una migliore performance nei mesi estivi

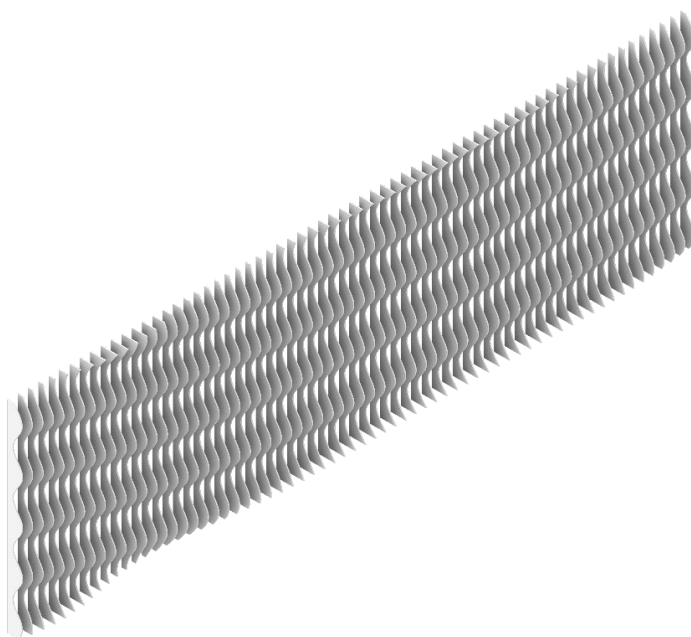


Fig. 118. Soluzione cluster 6 presentante un comportamento equilibrato.

INQUADRAMENTO DELLE APPLICAZIONI PROPOSTE NELL'AMBITO DELLA STRATEGIA S3 – EDILIZIA SOSTENIBILE

Il presente paragrafo intende inquadrare brevemente la rilevanza dei risultati delle applicazioni proposte rispetto all'area di innovazione "edilizia sostenibile" della strategia regionale per l'innovazione e la specializzazione intelligente (S3) della regione Calabria nell'ambito della quale è stata finanziata la ricerca di dottorato dell'autore.

Nella strategia S3, attraverso l'area di innovazione "edilizia sostenibile", si propone una generale riconversione del settore delle costruzioni nella regione Calabria. Tale settore è considerabile come trainante dell'intera economia regionale, in quanto contribuisce a circa il 20% dell'intero indotto economico⁶⁰⁹, ma al contempo è minacciato da un generale scenario di incertezza dovuto alla fragilità idrogeologica del territorio, alla presenza di un importante stock di invenduto residenziale, alla riduzione dei nuovi permessi a costruire, a una diffusa decrescita demografica e, in generale, a un tessuto di produzione economico-finanziario ancora basato su un'aspettativa di crescita illimitata⁶¹⁰. Inoltre, a ciò si associa un approccio al settore *Architecture, Engineering and Construction* di stampo fortemente tradizionale nelle fasi di programmazione, progettazione, costruzione, gestione e dismissione del patrimonio edilizio e infrastrutturale.

La strategia S3 individua una possibile risposta a questo scenario di crisi nelle innovazioni di processo proprie dell'edilizia sostenibile, in quanto esse delineano un rinnovamento in termini di nuove tecnologie abilitanti e nuovi ambiti applicativi per il settore delle costruzioni. Tra le tecnologie abilitanti dell'edilizia sostenibile la strategia S3 cita "[...] *software di ausilio alla progettazione, misurazione fabbisogno energetico, [...] simulazione ombreggiamento; building information modeling; building automation; digital manufacturing*"; "*sistemi per la simulazione e valutazione degli impatti ambientali e economici*" mentre i nuovi orizzonti applicativi comprendono "*l'ottimizzazione delle risorse utilizzate*", il "*risparmio e contenimento energetico*", la "*riduzione del rischio sismico ed idrogeologico*" e il miglioramento della qualità dell'edilizia⁶¹¹. Inoltre, la strategia S3 richiama esplicitamente

⁶⁰⁹ Regione Calabria (2016), *Strategia regionale per l'innovazione e la specializzazione intelligente 2014-2020*, DGR.n. 294 del 28/07/2016, p. 87.

⁶¹⁰ Regione Calabria, *Strategia regionale per l'innovazione e la specializzazione intelligente 2014-2020*, p.88

⁶¹¹ Regione Calabria, *Strategia regionale per l'innovazione e la specializzazione intelligente 2014-2020*, p.86

programmi di finanziamento di livello superiore, come Horizon 2020, nei quali è definita come priorità la ricerca per la definizione di sistemi di simulazione, predizione e valutazione degli effetti economici, sociali e ambientali degli *“energy-efficient building”*.

Per comprendere il profilo di utilità nei confronti della strategia S3 portato da questa ricerca è necessario riconoscere che essa fornisce gli elementi culturali per gestire diverse tecnologie abilitanti individuate dalla strategia S3, le quali introducono, al pari dell’approccio parametrico, una possibile modifica della prassi progettuale. La strategia S3 pone infatti particolare enfasi, per la pratica progettuale, sul potenziamento delle attività di *“simulazione”*, *“valutazione”* e *“ottimizzazione”*, le quali sono state riconosciute, nell’ambito di questa ricerca, tra i caratteri invarianti dell’approccio parametrico.

Oltre all’affinità sul piano metodologico tra l’approccio parametrico e i modi con cui può essere progettata una edilizia più sostenibile, questa ricerca permette di tracciare ulteriori analogie sul piano strumentale. Tecnologie abilitanti quali il *“building information modeling”* sono state considerate in questa ricerca come una forma semplificata di approccio parametrico (cfr. capitolo 2), a partire anche dalla considerazione del fatto che, più in generale, l’utilizzo di *“software di ausilio alla progettazione”* oggi rappresenta la modalità più comune di applicazione dell’approccio parametrico nel progetto di architettura.

I tre casi studio discussi in questo apparato rappresentano proprio tre esempi di creazione ad hoc di *“software di ausilio alla progettazione”*, capaci di orientarne, con diverse modalità, lo sviluppo verso quelle soluzioni più efficienti rispetto a diversi profili di sostenibilità ambientale.

La prima applicazione, cioè la verifica dei metodi progettuali nelle prime storiche applicazioni di Architettura Parametrica di Luigi Moretti, restituisce una modalità di progettazione capace di rafforzare la connessione tra la forma architettonica e le analisi propedeutiche alla sua definizione. I risultati delle analisi di Moretti, volte all’ottimizzazione della forma architettonica nei confronti della qualità visiva, permettono di razionalizzare la quantità di superficie costruita, eliminando da essa le aree considerate *“a basso rendimento”*, con un chiaro impatto in termini di minimizzazione delle risorse utilizzate nel processo di costruzione.

La seconda applicazione, cioè la costruzione di un algoritmo per l'esplorazione delle diverse alternative progettuali ottenibili per un involucro architettonico, mostra come l'approccio parametrico può integrarsi con processi progettuali più tradizionali. Più precisamente, le logiche aggregative di un sistema costruttivo esistente sono state ricondotte a un algoritmo che permette la visualizzazione in tempo reale di un elevato numero di alternative progettuali attraverso la variazione di alcuni parametri sintetici. In questa applicazione, l'approccio parametrico fornisce elementi di supporto ai processi decisionali attraverso i risultati di analisi sulla quantità di materiale utilizzato e di simulazioni sulla quantità di radiazione solare assorbita dall'involucro architettonico.

L'ultima applicazione ha riguardato la costruzione di un algoritmo per la progettazione di un involucro architettonico da realizzarsi attraverso fabbricazione digitale. In questa applicazione, l'esplorazione delle diverse alternative progettuali è stata affidata a un *Evolutionary Multiobjective Algorithm* il quale ha individuato soluzioni capaci di ottimizzare la quantità di materiale utilizzato e la radiazione solare incidente sull'involucro architettonico, con un immediato ritorno sul profilo di sostenibilità dell'edificio. Il supporto ai processi decisionali è garantito dall'implementazione di tecniche di *clustering*, che hanno permesso di ricondurre le molteplici possibili soluzioni a un ridotto numero di alternative progettuali, valutabili in modo qualitativo e quantitativo.

In definitiva, la varietà dei casi studio proposti in termini di funzioni di fitness (qualità visiva; quantità di superficie costruita; radiazione solare incidente; quantità di materiale utilizzato), di modalità di generazione della forma architettonica (attraverso la valutazione di equazioni parametriche; con un approccio combinatorio; con un approccio black box), di processi di identificazione delle soluzioni finali (interpretazione qualitativa e quantitativa di analisi; clustering delle alternative progettuali) e di ambiti di applicazione (progettazione della superficie media dell'edificio; uso di un sistema costruttivo prefabbricato; progettazione di un elemento tecnico) dimostra che è possibile utilizzare un unico set di conoscenze metodologiche per migliorare le performances di sostenibilità di un ampio campo di problemi progettuali.

DISCUSSIONE. TRE ESEMPI DI NARRATIVE PARAMETRICHE

Le tre applicazioni proposte sono tese a mostrare altrettante possibili modalità di avvicinamento del progetto di architettura verso l'approccio parametrico. Esse presentano caratteri divergenti rispetto alle strumentazioni tecniche utilizzate, all'importanza assegnata alle analisi, agli obiettivi perseguiti, ai risultati attesi e altro. L'estesa descrizione metodologica e operativa associata alle applicazioni, volutamente esente da ogni riferimento ad aspetti linguistici e formali, vuole chiarire l'inopportunità di parlare dell'approccio parametrico come la mera introduzione di una particolare tecnica nel progetto di architettura. Si preferisce, invece, spostare il discorso sul piano del metodo progettuale. In questo paragrafo, si propone di leggere le applicazioni presentate come diverse *"organizzazioni dei materiali del progetto"*⁶¹², assegnando a *materiale* un significato prossimo a quello proposto da Gregotti, indicante il farsi delle scelte relative a

ELEMENTI DIVERSI, FISICI, TECNICI, TEORICI E INTENZIONALI, COMPRESO IL VALORE DEI CAMBIAMENTI PROVENIENTI DALLA RELAZIONE CON IL CONTESTO E DEL LUOGO, DA ESAMINARE CRITICAMENTE. E SOPRATTUTTO IL MODO DI RIORDINARE TUTTO QUESTO PER MEZZO DELLE FORME AL SERVIZIO DELLA COSTRUZIONE DI UN'INTENZIONALITÀ COMPLESSIVA E DI USO DEL PROGETTO STESSO⁶¹³.

I capitoli precedenti hanno fornito, nell'ambito dell'approccio parametrico, gli estremi di quei materiali del progetto per i quali è possibile proporre una propria, personale, organizzazione che si traduce in una altrettanto personale narrativa progettuale: le visioni, che permettono di definire cosa si intende per approccio parametrico; le invarianti, che descrivono le sue peculiari modalità di gestione della forma; le identità, che permettono di inquadrare il proprio lavoro nell'ambito di una tradizione in divenire; i codici, che chiariscono i rapporti nei confronti della tecnica. Quindi assecondare, pesare, gestire, o anche solo adottare inconsciamente questi materiali conduce a diverse forme di approccio parametrico e, più in generale, a diverse forme del progetto di architettura. Le tre applicazioni proposte possono quindi esser lette attraverso l'individuazione di quei materiali del progetto la cui presenza, o assenza, è capace di definire una particolare modalità dell'approccio parametrico.

Nella prima applicazione dedicata al lavoro di Moretti, chiara espressione di Architettura Parametrica, le invarianti assumono un peso marginale nella narrativa progettuale proposta

⁶¹² Gregotti, V. (2018), *Il territorio dell'architettura*, 4° ed., Milano: Feltrinelli.

⁶¹³ Gregotti, V. (2018), *I racconti del progetto*, Skira: Milano, p. 12-13.

in quanto la volontà di valutare e ottimizzare la forma architettonica non è supportata pienamente dalla possibilità di una sua manipolazione non-diretta. L'invariante della manipolazione non-diretta, a cui è assegnato un ruolo primario in questa tesi, di fatto non è presente nelle prime storiche applicazioni di Architettura Parametrica in quanto la forma non è restituita da una procedura, bensì dall'interpretazione di una analisi. La riconosciuta labilità delle invarianti in questa applicazione sul lavoro di Moretti è però bilanciata dalla centralità da essa assegnata al ruolo della visione scientifica, che si manifesta nell'ambizione di rinnovamento della prassi progettuale. Inoltre, la speranza di ricondurre il progetto di architettura a un problema da risolvere rappresenta una manifestazione del principio della formalizzazione, definito in questa ricerca come un aspetto identitario dell'approccio parametrico.

Alla seconda applicazione, invece, non è sottesa una presa di posizione su cosa sia l'approccio parametrico, giacché al suo interno è stato proposto di utilizzare una particolare tecnica con il fine di migliorare alcuni processi della progettazione architettonica e non di affidare alla tecnica la generazione dell'idea-progetto. Si può quindi riconoscere che nella seconda applicazione la cifra dell'approccio parametrico si manifesta come una modalità di gestione della forma, dipendente cioè dall'adozione di più invarianti, mentre la dimensione teorico-metodologica espressa in questa ricerca assume un peso secondario nella costruzione della narrativa progettuale.

L'ultima applicazione, infine, ambisce a sfruttare pienamente il paradigma computazionale e parametricista definendo un framework in grado di restituire una forma che dipende dagli stimoli a cui è sottoposta. La progressiva complessificazione subita dal processo progettuale in questa applicazione rende difficile, o comunque inopportuna, la gestione della forma architettonica senza l'adozione dell'approccio parametrico. Ciò conduce a delineare una narrativa progettuale che sin dalle sue fasi di ideazione è pensata per sfruttare pienamente le possibilità tecniche offerte dall'approccio parametrico.

Quanto detto finora traccia brevemente le organizzazioni dei materiali progettuali sottese alle tre applicazioni. La lettura critico-metodologica di esse può, comunque, essere approfondita anche sul piano operativo con riferimento ad alcuni aspetti della pratica progettuale.

Un primo aspetto da indagare nelle tre applicazioni riguarda la diversa natura dei processi decisionali che un progettista è chiamato a sostenere in relazione a ciascuna di esse. La prima applicazione impone al progettista un atteggiamento di tipo induttivo⁶¹⁴ nella ricerca della soluzione architettonica, poiché deriva da una conoscenza che Moretti considera come certa, cioè i suoi studi sulla qualità visiva che restituiscono gli angoli e le distanze ottimali da ricercare. La soluzione progettuale, quindi, è costruita come il naturale prodotto di una *“sommatoria di fatti ed esigenze singole, governate da una ideologia generale”*⁶¹⁵. Di conseguenza, si potrebbe dire che secondo questa prima narrativa il vero oggetto della progettazione corrisponde proprio l’individuazione delle leggi (o qualità) che la forma architettonica deve rispettare (o ottimizzare). La seconda applicazione, invece, impone un atteggiamento di tipo deduttivo in cui *“il progettista (come lo scienziato) è un creatore [di intuizioni] che pone a verifica con il proprio sapere specifico”*⁶¹⁶. Dunque, il progettista non deriva la soluzione al problema architettonico, bensì genera ipotesi progettuali che definiscono un campo di possibili alternative all’interno del quale scegliere una soluzione. La terza applicazione introduce un ulteriore modello di processo decisionale, in quanto supera la difficoltà di generare ipotesi progettuali di qualità per mezzo della possibilità di generare un elevato numero di ipotesi progettuali. Ma l’elevato numero di ipotesi progettuali (nella terza applicazione sono state generate 5000 possibili soluzioni di involucro architettonico) conduce all’impossibilità di interpretare questa mole di informazioni per mezzo della ricerca di *“causalità e determinismo”*, come riconosciuto da Carpo in merito al paradigma del *form-searching*⁶¹⁷. Perciò, in questa declinazione dell’approccio parametrico, il progettista non può individuare la soluzione progettuale a seguito della valutazione di un numero limitato di ipotesi, ma è costretto a esplorare, con strumenti più vicini alla matematica applicata (come il *clustering*) che all’architettura, le possibili diramazioni della procedura che lui stesso ha ideato.

I tre diversi processi decisionali alle spalle delle tre applicazioni proposte assegnano a diverse strategie di analisi la possibilità di orientare e guidare il processo della progettazione. Quindi, le caratteristiche metodologiche sottese a queste analisi delineano tre differenti modi

⁶¹⁴ In questo capoverso si assegna nell’ambito del progetto di architettura ai termini *deduttivo* e *induttivo* il significato descritto da Antonino Saggio in *Introduzione alla Rivoluzione Informatica*. Questa dualità è stata già affrontata al capitolo 2.2.

⁶¹⁵ Saggio, A. (2007), *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, Roma: Carocci, pp. 81.

⁶¹⁶ Saggio, A., *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, pp. 81.

⁶¹⁷ Carpo, M. (2015), “The New Science of Form-Searching”, *AD – Architectural Design*, vol. 85, no.5, pp. 22-27.

di gestire il progetto di architettura. Nell'applicazione dedicata al lavoro di Moretti, l'analisi assume un carattere propedeutico alla generazione della forma architettonica. Più precisamente, le analisi condotte, le quali restituiscono "*superfici di equiappetibilità visiva*", rappresentano la base oggettiva a partire dalla quale derivare con rigore scientifico la soluzione architettonica, sebbene sia stata dimostrata l'inclinazione di Moretti a discostarsi da una interpretazione troppo rigida dei loro risultati. Quindi, nella prima applicazione, la forma architettonica non cerca una sua validazione nei risultati delle analisi, bensì è costruita a partire da esse. Nella seconda e nella terza applicazione, invece, le analisi sono introdotte a valle della generazione della forma architettonica e, di conseguenza, ne valutano *ex-post* la qualità con due particolari declinazioni: nella seconda applicazione le analisi si limitano a restituire feedback qualitativi con lo scopo di costruire una memoria progettuale sulla possibile efficienza ottenibile dalle diverse soluzioni, nella terza applicazione, invece, i risultati delle analisi sono utilizzati per orientare l'intero processo di progettazione verso la ricerca di soluzioni ottimizzate.

Un ultimo aspetto operativo capace di differenziare le tre applicazioni riguarda le deleghe del progettista verso la tecnica afferente all'approccio parametrico. Nell'ambito dell'approccio parametrico è infatti frequente, come riconosciuto nelle invarianti proposte in questa ricerca, che si instauri un modello di divisione dei ruoli tra il progettista e un processo tecnico. Nella prima applicazione questo modello di divisione dei ruoli risulta molto più oneroso dei confronti del lavoro affidato al progettista in quanto non vi è una automazione capace di legare le analisi progettuali alla generazione della forma architettonica. Moretti delegherà a un processo tecnico, nella forma di un calcolatore elettronico I.B.M. 610, la "*tabulazione di una particolare funzione*", la visibilità⁶¹⁸. Nonostante affidare questi compiti a un calcolatore sia oggi considerabile come una operazione non più innovativa, se si legge questo processo di delega alla luce dello stato di avanzamento della tecnica a disposizione di Moretti si può riconoscere come l'uso del calcolatore permetta al maestro romano di ridurre sensibilmente il gap temporale tra un cambiamento nella strategia di analisi e la visualizzazione delle sue conseguenze progettuali. Con riferimento alla seconda applicazione, essa presenta quel modello di divisione dei ruoli che Mitchell già nel 1975 definiva come il

⁶¹⁸ Moretti, L. & I.R.M.O.U., *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, p. 48.

“meno ambizioso”⁶¹⁹ nell’ambito della sua visione computazionale del progetto. Lo script sviluppato, infatti, agisce prevalentemente nel campo della rappresentazione del progetto associando una forma a un database di informazioni. Nella seconda applicazione lo script non è capace di sostituirsi al progettista in nessuna attività, se non nel automatizzare alcune operazioni ripetitive. Nella terza applicazione, invece, allo script parametrico è delegata la responsabilità di generare soluzioni progettuali per procura del progettista. Inoltre, in quest’ultima applicazione le tecniche di EMOA e *clustering* assumono ruoli tipici del progettista come individuare le soluzioni più promettenti, ibridarle, valutarle e catalogarle nell’ambito di un abaco di soluzioni-tipo. Perciò la terza applicazione propone una modalità di approccio parametrico in cui ad esso è permesso di operare nell’ambito ideativo e creativo del progetto di architettura.

In definitiva, ciò che emerge da queste applicazioni è che l’approccio parametrico nel progetto di architettura deve essere considerato uno spettro di possibili modi di gestire il progetto di architettura.

Questo apparato ha quindi mostrato la possibilità di utilizzare il sistema di conoscenze tracciato in questa tesi come un palinsesto all’interno del quale reperire gli estremi per costruire una personale narrativa progettuale per l’introduzione di tematiche affini all’approccio parametrico nel progetto di architettura.

Le tre applicazioni proposte sono state sviluppate con l’obiettivo di fotografare delle manifestazioni ricorrenti dell’approccio parametrico, qui indagate nell’ambito della metodologia progettuale a loro sottesa. A partire da queste applicazioni, è possibile ribadire che la cifra dell’approccio parametrico può insinuarsi nel progetto di architettura come conseguenza involontaria a seguito dell’adozione di una particolare tecnica, ma anche come consapevole organizzazione dei *materiali* del progetto. Inoltre, l’eterogeneità delle applicazioni proposte conferma che l’approccio parametrico può manifestarsi nella forma di un particolare modo di pensare il progetto, prima ancora di un modo di praticarlo.

Nelle applicazioni presentate è stato proposto di affrontare il progetto di architettura cercando di ricondurlo a un processo scientifico (nella prima applicazione), tentando di

⁶¹⁹ Mitchell, W. J. (1975), “The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, no. 2(2), pp. 127–150.

rinnovare le possibilità dei suoi strumenti (nella seconda applicazione) ma anche delegando alla tecnica un compito ideativo-creativo (nella terza applicazione). Queste ambizioni sono considerabili delle possibili, ma non le uniche e nemmeno le ottimali, cristallizzazioni del sistema di conoscenze che questa tesi ha tracciato in relazione all'approccio parametrico al progetto di architettura. Tale sistema di conoscenze può assumere quindi un'utilità nella pratica del progetto ma al contempo anche nella sua comprensione in quanto ne permette una lettura a posteriori per mezzo di un procedimento abduttivo⁶²⁰. Con ciò si intende la possibilità che nell'ambito di una applicazione dell'approccio parametrico il suo autore *"partendo dalla fine o partendo dall'inizio, [possa raccontare] il progetto come un processo, non necessariamente e anzi raramente lineare, e consente agli altri di farne esperienza"*⁶²¹.

Assumere posizioni personali, consce e comunicabili su cosa sia l'approccio parametrico, su come esso può gestire la forma, su quali sono i suoi precedenti storici e infine sui rapporti che esso può instaurare con la tecnica non può che condurre verso una maggiore maturità nella pratica del progetto di architettura.

⁶²⁰ Cfr. Amirante, R. (2018), *Il progetto come progetto di ricerca. Un'ipotesi*, Siracusa: LetteraVentidue; Amirante, R. (2014), "Abduzione e valutazione", *op. cit.*. *Selezione della critica d'arte contemporanea*, no. 150, pp. 5-18.

⁶²¹ Amirante, R., *Il progetto come progetto di ricerca. Un'ipotesi*, p. 94.

:: GLOSSARIO MINIMO DELL'APPROCCIO PARAMETRICO

ALGORITMO. Sequenza finita di istruzioni la cui esecuzione permette la risoluzione di una precisa classe di problemi. In informatica, l'algoritmo è un insieme di istruzioni finito, deterministico e non ambiguo che conduce a un risultato in un tempo finito.

ANALOGICO. Rappresentazione di informazioni attraverso elementi che ammettono una variabilità continua.

APPROCCIO PARAMETRICO. Insieme di possibili modalità operative e culturali del progetto di architettura, le quali spaziano dall'Architettura Parametrica al Parametricismo, annoverando differenti posizioni del Computational Design. Le modalità operative dell'approccio parametrico condividono la propensione a costruire le soluzioni progettuali in termini di istruzioni da eseguire, parametri da variare, vincoli da soddisfare e aspetti da ottimizzare. Le modalità culturali dell'approccio parametrico, invece, condividono la propensione a considerare la pratica progettuale come un problema da risolvere e come un'attività di stampo scientifico.

ARCHITETTURA PARAMETRICA. Metodo progettuale definito da Luigi Moretti a partire dal 1940 basato sull'avvicinamento della disciplina dell'architettura a una pratica di stampo scientifico, condotta ricercando le interdipendenze tra la forma architettonica e quei parametri che ne condizionano i fenomeni.

ASTRAZIONE. Descrizione parziale di un fenomeno per mezzo di un numero limitato di fattori e relazioni considerati come essenziali o comunque utili alle finalità per cui si compie l'astrazione.

AUTOMA CELLULARE (Cellular automata). Modello composto da parti discrete, tipicamente celle in una griglia piana, la cui evoluzione è governata da semplici regole.

BLOB. Primitiva geometrica definita, secondo Greg Lynn, da un centro, una area di superficie e un campo di influenza dettato da altri oggetti. Un'architettura basata su tale geometria è stata indicata, con atteggiamenti a volte ironici, come *blobitecture* o *blobismo*. Possono essere considerati come blob alcune determinazioni di metaball, NURBS, superfici freeform,

BUILDING INFORMATION MODELLING. Processo olistico per creare, gestire e associare a un modello tridimensionale le informazioni di un bene, costruito o da costruire. Rispetto agli obiettivi di questa ricerca, il BIM è considerabile come un modellazione associativa delle informazioni inerenti a un edificio.

CALCOLO. Processo che trasforma uno o più valori in ingresso in uno o più risultati.

CATENARIA. Curva assunta da una fune appesa dalle proprie estremità se soggetta esclusivamente al suo peso proprio. Matematicamente è una particolare curva piana iperbolica. In ingegneria e architettura è utilizzata per la progettazione, anche attraverso modelli fisici, di archi soggetti a un regime di prevalente compressione.

CLUSTERING. Tecniche di matematica applicata per l'individuazione di raggruppamenti di elementi simili all'interno di insiemi di dati. In ambito progettuale sono utilizzate per ricondurre ingenti quantità di soluzioni a un problema verso un numero limitato di soluzioni-tipo.

CODICE (Categoria conoscitiva proposta). Concezione sulle modalità con cui la tecnica propria dell'approccio parametrico influenza l'insieme di norme e prassi, implicite ed esplicite, personali o collettive, che regola l'evolvere della pratica progettuale. Questa ricerca ipotizza e discute i seguenti codici: trasgressione, modellazione e contrasto.

CODICE (Informatica). Insieme di istruzioni, o delle regole di un sistema, scritte in un particolare linguaggio di programmazione.

COMPUTABILITÀ. Dato un problema, esistenza di un algoritmo per la sua risoluzione.

CONTROLLO NUMERICO COMPUTERIZZATO (CNC). Sistema che permette il controllo delle coordinate temporali, spaziali e operative di un elemento fisico attraverso uno strumento software.

CROSSOVER. Processo con cui, nell'ambito di un problema di ottimizzazione evolutiva, sono generate nuove soluzioni per mezzo della mescolazione dei parametri caratterizzanti soluzioni esistenti.

CULTURA ALGORITMICA. Concetto che descrive le modalità con cui le tecnologie proprie del digitale e della computazione sono adottate nell'ambito dei lavori intellettuali, quali la classificazione e l'organizzazione di informazioni relative a persone, luoghi, oggetti e idee, influenzando di conseguenza l'evoluzione della società.

CULTURA DIGITALE. Concetto che descrive le modalità con cui le tecnologie proprie del digitale e della computerizzazione influenzano l'evoluzione della società.

DATO. Secondo Antonino Saggio, minimo elemento di modifica di una situazione precedente.

DESIGN ASSOCIATIVO. Espletazione dell'atto progettuale centrata sulla concatenazione di *feature*, cioè caratteristiche o operazioni precodificate da particolareggiare rispetto ad alcuni parametri. Dal punto di vista geometrico, una feature può assumere la forma di una operazione booleana tra l'oggetto della progettazione e una seconda geometria espressa come funzione di parametri.

DESIGN COMPUTAZIONALE. Espletazione dell'atto progettuale centrata sulla risoluzione di problemi attraverso processi logici o matematici condotti da un calcolatore. A differenza del design computerizzato, il design computazionale si interessa anche all'esplorazione di problemi indeterminati, poco chiari e spesso mal definiti. Rappresenta uno specialismo dell'utilizzo delle tecnologie digitali nella progettazione.

DESIGN COMPUTERIZZATO. Espletazione dell'atto progettuale centrata sull'inserimento, elaborazione e archiviazione di informazioni in un calcolatore. La computerizzazione riguarda l'automazione, la meccanizzazione e la digitalizzazione di informazioni ben definite. Rappresenta la modalità più diffusa di utilizzo delle tecnologie digitali nella progettazione.

DESIGN GENERATIVO. Espletazione dell'atto progettuale centrata sull'adozione della metafora evolutiva, la quale è fondata sul porre in competizione le diverse possibili soluzioni progettuali.

DESIGN PARAMETRICO. Espletazione dell'atto progettuale centrata sulla definizione di istruzioni dipendenti da parametri la cui esecuzione produce una soluzione progettuale.

DESIGN SPACE. Insieme delle possibili soluzioni a un problema progettuale ottenibili attraverso l'attuazione di una o più strategie progettuali.

DESIGN SPACE ESPlicito. Insieme delle soluzioni di un problema progettuale che sono state valutate. Lo spazio di design esplicito è costruito durante l'evoluzione del processo progettuale.

DESIGN SPACE EXPLORATION. Sistematica analisi ed esplorazione delle possibili soluzioni a un problema progettuale, tipicamente condotta per mezzo della ricombinazione dei parametri coinvolti nella generazione di una soluzione progettuale.

DESIGN SPACE IMPLICITO. Insieme onnicomprensivo di ogni possibile soluzione a un problema progettuale, siano esse valide o meno, complete o meno, visitabili o meno.

DESIGN SPACE VERIFICATION. Attività di verifica sulla possibilità che un gruppo di combinazioni di parametri sia capace di generare soluzioni progettuali valide.

DESIGN VARIATION. Numero di possibili soluzioni generabili a partire da una funzione esplicita.

DESIGN, DATA DRIVEN. Espletazione dell'atto progettuale centrata sull'elaborazione di informazioni esistenti o prodotte nell'atto progettuale stesso.

DIAGRAMMA DI VORONOI. Particolare tassellatura, ampiamente utilizzata nel progetto di architettura, funzione delle distanze da un insieme discreto di elementi, tipicamente dei punti. Il grafo duale del diagramma di Voronoi è la triangolazione di Delaunay.

DIGITAL TURN. Dizione introdotta da Mario Carpo per indicare il periodo tra il 1992 e il 2012 in cui le tecnologie digitali hanno assunto la capacità di modificare i paradigmi cognitivi, operativi e formali del progetto di architettura.

DIGITAL TURN, SECOND. Dizione introdotta da Mario Carpo come aggiornamento al Digital Turn per indicare una attuale condizione del progetto di architettura che pone maggiore enfasi sull'accurata simulazione di fenomeni complessi e non sulla loro semplice astrazione grazie al progressivo aumento della potenza computazionale a disposizione di un progettista.

DIGITALE. Rappresentazione di una informazione come una serie di numeri discreti.

DIVIDE ET EMPERA. Approccio al *problem-solving* di derivazione informatica basato su una suddivisione ricorsiva in sotto-problemi di più facile risoluzione.

DYNAMIC RELAXATION. Metodo numerico per l'individuazione di geometrie in equilibrio rispetto a un sistema di forze. Esso è utilizzato per il form-finding di superfici minime.

EMBEDDING. Inserire un oggetto in uno spazio preservandone le qualità topologiche.

FABBRICAZIONE DIGITALE. Workflow di manifattura in cui il funzionamento delle macchine da costruzione, funzionanti con metafora di tipo additivo o sottrattivo, è guidato dai dati digitali sottesi alle geometrie da realizzare.

FENOTIPO. Nella metafora evolutiva alla progettazione, il fenotipo è una particolare soluzione progettuale generata a partire da un genotipo.

FITNESS FUNCTION. Funzione che associa un grado di efficienza a una soluzione nell'ambito di un problema di ottimizzazione.

FITNESS LANDSCAPE. Nelle ottimizzazioni evolutive, valutazione dei valori delle *fitness function* per una popolazione di soluzioni.

FORMA ARCHITETTONICA. Secondo Franco Purini *"modo di consistere di un oggetto architettonico, la sua essenza, il punto ideale in cui convergono tutti i suoi diversi livelli strutturali e linguistici"*. Secondo Vittorio Gregotti: *"spazio nel quale la molteplicità dei materiali astratti e concreti che identificano un edificio si unifica in un'espressione unitaria e riconoscibile"*.

FORMA GEOMETRICA. Particolare livello strutturale della forma architettonica che ne denota la conformazione e i valori spaziali.

FORMALIZZAZIONE. Termine che nell'ingegneria del software indica l'insieme delle operazioni per descrivere un sistema, analizzarne il contenuto e delinearne le caratteristiche chiave con il fine di orientarne la progettazione con processi rigorosi e efficienti.

FORM-FINDING. Processo progettuale basato sull'uso di stimoli esterni per la ricerca di soluzioni in equilibrio rispetto ad essi.

FORM-FINDING ASSISTITO. Particolare tipo di form-finding che richiede un intervento esterno per la definizione del processo che condurrà alla soluzione progettuale nonché per l'esecuzione di tale processo.

FORM-FINDING EMERGENTE. Particolare tipo di form-finding che richiede un intervento esterno limitato alle fasi di definizione del processo che condurrà alla soluzione progettuale.

FRATTALE. Geometria, solitamente definita per mezzo di procedure ricorsive, che presenta *autosimilarità* in quanto ripete la sua forma su diverse scale.

GENE. Nella metafora evolutiva alla progettazione, struttura di dati la cui variazione determina differenti soluzioni a un problema progettuale.

GENOTIPO. Nella metafora evolutiva della progettazione, particolare della struttura di dati del gene che codifica e determina una precisa soluzione a un problema progettuale.

GEOMETRIA INFORMATA. Geometria il cui sviluppo è stato guidato da aspetti performativi, o è costruita a partire da precise informazioni.

GEOMETRIA MORTA (Dead geometry). Geometria espressa per mezzo di una modellazione diretta, di conseguenza non dipendente da istruzioni esplicite e da parametri.

GEOMETRIA NON EUCLIDEA. Geometria costruita rispettando solo in parte i postulati euclidei. Esempi di geometria non euclidea sono la geometria iperbolica di Klein, la geometria iperbolica di Poincaré, la geometria ellittica di Riemann. Con modalità non sempre corrette dal punto di vista del significato matematico, questa

dizione è spesso utilizzata per indicare le primitive geometriche proprie del Parametricismo, quali spline, NURBS e blob.

GEOMETRIA VIVA (Live geometry). Geometria definita per mezzo di istruzioni esplicite, di conseguenza variabile modificando queste istruzioni o i parametri coinvolti nella sua generazione.

HILL CLIMBLING. Termine generico per le tecniche matematiche che si occupano della ricerca dei massimi e dei minimi di una funzione per mezzo di incrementi progressivi. Pur non conducendo con certezza a massimi globali, le tecniche dell'*hill climbing* sono ampiamente utilizzate in architettura nei problemi di ottimizzazione.

IDENTITÀ (Categoria conoscitiva proposta). Concezione sulle possibili origini e radici culturali dell'approccio parametrico al progetto di architettura. Questa ricerca ipotizza le seguenti identità: formalizzazione, variazione, form-finding.

INFORMAZIONE. Secondo Antonino Saggiò, applicazione di una convenzione a un dato.

INVARIANTE (Categoria conoscitiva proposta). Concezione sulle modalità con cui l'approccio parametrico può manipolare, strutturare, esplorare, valutare e ottimizzare la forma architettonica. Questa ricerca ipotizza le seguenti invarianti: Manipolazione non-diretta, strutturazione, esplorabilità, valutabilità, ottimizzazione, temporalità non lineare e delega verso processi tecnici.

MACHINE LEARNING (Apprendimento automatico). Disciplina interna all'intelligenza artificiale che permette il miglioramento di un processo assegnato per mezzo dell'identificazione di *pattern* all'interno di insiemi di dati.

MASTER – INSTANCES. Nello SketchPAD di Ivan Sutherland, i *master* indicano le primitive geometriche attraverso la cui combinazione è generata una forma. Le modalità con cui i master sono scalati, ruotati, traslati e posizionati nello spazio sono invece definite dai parametri delle *instances*. Questo rapporto, seppur con sfumature non sempre coincidenti, è catturato anche da espressioni quali *Parent-Child*, *Master-Slave*, *Classes-Object*.

MATERIALE ARCHITETTONICO. Secondo Vittorio Gregotti, il termine materiale architettonico indica il farsi delle progressive scelte in merito a *“elementi diversi, fisici, tecnici, teorici e intenzionali, compreso il valore dei cambiamenti provenienti dalla relazione con il contesto e del luogo, da esaminare criticamente. E soprattutto il modo di riordinare tutto questo per mezzo delle forme al servizio della costruzione di un'intenzionalità complessiva e di uso del progetto stesso”*.

MODELLAZIONE. Ricondurre un fenomeno a uno dei differenti concetti di modello.

MODELLO. Termine dai molteplici significativi ai quali può essere associata una diversa valenza progettuale. In particolare: (1) oggetto da ripetere tal qual è; (2) (m. matematico o scientifico) schema teorico che descrive un fenomeno o un insieme di fenomeni; (3) strumento per testare, perfezionare e illustrare idee sull'architettura e mezzo per significare, simulare, registrare, istruire e generare progetti di architettura; (4) (m. fisico) riproduzione materiale di un insieme architettonico realizzata con finalità progettuali di rappresentazione, simulazione o prototipazione; (5) (m. digitale) rappresentazione in ambiente informatico di un fenomeno.

MUTAZIONE. Processo con cui, nell'ambito di un problema di ottimizzazione evolutiva, sono generate nuove soluzioni per mezzo dell'alterazione casuale di alcuni parametri che caratterizzano una soluzione.

NARRATIVA PARAMETRICA. Particolare posizionamento nello spettro delle possibilità offerte dall'approccio parametrico, capace di riflettere al meglio l'adozione di più o meno precisi valori, obiettivi, prospettive, strumenti e tecniche nell'ambito della dimensione metodologica e culturale del progetto di architettura.

NURBS. (Non Uniform Rational Basis-Splines). Classi di curve geometriche la cui rappresentazione matematica è ampiamente utilizzata in ambito CAD per definire accuratamente la forma di oggetti geometrici, quali linee, curve, archi e superfici a forma libera. Esse sono di particolare utilità nella progettazione in quanto facilmente modificabili per mezzo di punti di controllo.

OTTIMIZZAZIONE. Ricerca della miglior configurazione possibile, rispetto a una efficienza misurabile in parametri quantizzabili, della soluzione a un problema progettuale.

OTTIMIZZAZIONE EVOLUTIVA. Tecnica di ottimizzazione a un problema di tipo iterativo e combinatorio in cui i processi di generazione, ibridazione e valutazione delle soluzioni sono ispirate ai meccanismi evolutivi. Ciò

significa che le soluzioni progettuali sono esplorate per mezzo di mutazioni e ricombinazioni sulle soluzioni individuate più promettenti rispetto al valore di determinate *fitness function*.

OTTIMIZZAZIONE MULTIOBIETTIVO. Ottimizzazione rispetto a più obiettivi spesso in conflitto tra di loro.

OTTIMO PARETIANO. In un problema di ottimizzazione, soluzione per la quale non è possibile individuare una diversa soluzione migliore rispetto a un obiettivo senza peggiorare la qualità rispetto a un altro obiettivo.

OVERCHOICE. Termine coniato da Alvin Toffler per indicare una difficoltà nella gestione dei processi decisionali che prevedono la scelta di una alternativa tra un ampio campo di possibilità.

PACKING. Classi di problemi di ottimizzazione interessati a introdurre un dato numero di oggetti (o il maggior numero di oggetti possibile) in un contenitore. Gli algoritmi di *packing* sono ampiamente utilizzati nella costruzione di partizioni prospettiche e nella risoluzione di problemi di *space planning*.

PARADIGMA. Insieme di modelli esplicativi, prassi, regole metodologiche e criteri per la risoluzione di problemi condiviso da una comunità.

PARAMETRIC SCHOOL. Possibile modalità di approccio alla progettazione definita da Charles Jencks per indicare metodi basati sul paradigma "*divide et conquer*", sulla formalizzazione del problema progettuale e sulla sua successiva scomposizione in elementi e parametri più piccoli.

PARAMETRICISMO. Teoria progettuale definita da Patrik Schumacher ed esposta nel relativo manifesto del 2008, basata definizione di stile come *programma di ricerca* e sulla sistematica adozione dello *scripting* e delle primitive geometriche non euclidee.

PARAMETRICO. Attinente alla definizione di una relazione tra un parametro indipendente e un parametro dipendente per mezzo di una funzione esplicita.

PARAMETRO. Termine dai molteplici significati: (p. matematico) costante arbitraria di un sistema; (p. informatico) indirizzo di memoria in attesa di un valore; (p. statistico) quantità relativa a una popolazione statistica; (linguaggio comune) criterio di giudizio. Secondo il Grammatista James Kilpatrick, il termine parametro è erroneamente utilizzato per indicare significati generici come variabilità, fattore, interazione, misura, quantità, qualità, causa, effetto, alterazione, modificazione, computazione.

PARAMETRO DIPENDENTE (Driven parameter). Tipo di parametro il cui valore è definito da condizioni al contorno oppure è funzione di ulteriori parametri indipendenti.

PARAMETRO INDIPENDENTE (Designer-driven parameter). Tipo di parametro il cui valore è definito dal progettista.

PATTERN. Modo abituale in cui qualcosa accade o viene fatto. In ambito progettuale, indica una strategia la cui esecuzione permette la risoluzione di un problema.

PATTERN (Christopher Alexander). Insieme costituito dalla descrizione a un problema progettuale e dalla descrizione di una strategia per la sua risoluzione. Peculiarità dei *pattern*, così come intesi da Christopher Alexander, è la possibilità di pervenire a soluzioni sensibilmente diverse a partire dalla stessa strategia risolutiva.

POSTRAZIONALIZZAZIONE. Descrizione dei parametri, delle relazioni e delle componenti caratterizzanti un problema progettuale compiuta dopo la sua modellazione.

PRERAZIONALIZZAZIONE. Descrizione dei parametri, delle relazioni e delle componenti caratterizzanti un problema progettuale compiuta prima della sua modellazione.

PRIMITIVA GEOMETRICA. Entità geometrica più semplice in cui è possibile scomporre una composizione di forme. Tradizionalmente, nella computer grafica e nel progetto di architettura, annoverano punti, segmenti, triangoli. Nell'ambito dell'approccio parametrico, le primitive geometriche possono comprendere blob, metaball, spline, NURBS, superfici free-form e altro.

PROGRAMMAZIONE VISUALE. Scrittura di codice informatico per mezzo della manipolazione grafica di elementi e non tramite la definizione di una sintassi scritta.

PROGRAMMAZIONE ORIENTATA AGLI OGGETTI. Paradigma di programmazione che organizza il software come un assemblaggio di oggetti, che definiscono procedure o strutture di dati.

PROPAGAZIONE. Termina con cui si indica l'aggiornamento automatico di una geometria a seguito di un cambiamento nella funzione esplicita che la definisce oppure nei parametri coinvolti nella sua generazione.

PROPRIETÀ EMERGENTE. Qualità esibita da un sistema a un livello macroscopico, difficilmente deducibile a partire dalle proprietà dei singoli elementi che lo compongono.

PROTOTIPAZIONE. Fase della progettazione il cui prodotto è un modello, prevalentemente fisico, finalizzato alla valutazione e validazione di una idea progettuale.

PROTOTIPAZIONE RAPIDA. Insieme di tecniche volte alla rapida realizzazione di un modello fisico a partire da un modello digitale.

RICERCA OPERATIVA. Disciplina della matematica applicata che fornisce metodi scientifici per governare con efficienza e tempestività i processi decisionali da intraprendere per l'ottimale risoluzione di un problema o gestione di un processo

RICORSIVITÀ. Tecnica di programmazione basata sul suddividere un problema da risolvere in sotto problemi simili all'originale. Il termine ricorsivo se associato ad algoritmi, funzioni e codici indica delle istruzioni che nella loro definizione richiamano se stesse. Un esempio di funzione ricorsiva in matematica è il fattoriale, mentre una geometria ricorsiva è il frattale della spugna di Menger.

RIZOMA. Modello della conoscenza proposto da Gilles Deleuze e Felix Guattari presentante una struttura a-lineare, molteplice, aperta, diffusa, che non presenta centri, margini o limiti

SCRIPT. Particolare tipo di codice informatico a complessità relativamente bassa e senza interfaccia grafica. Esso trova numerose applicazioni nella progettazione architettonica per la rapidità delle sue operazioni di scrittura e per la capacità di mettere in comunicazione programmi più complessi.

SIMULAZIONE. Riproduzione o imitazione del funzionamento di un processo o di un sistema reale attraverso un modello il cui comportamento è osservato durante un orizzonte temporale finito.

SIMULAZIONE DETERMINISTICA. Particolare tipo di simulazione che, se condotta a parità di condizioni al contorno, produce sempre lo stesso risultato.

SIMULAZIONE STOCASTICA. Particolare tipo di simulazione in cui alcuni fenomeni sono soggetti a *randomicità* o *pseudorandomicità*. Di conseguenza, una simulazione stocastica non produce sempre lo stesso risultato a parità di condizioni al contorno.

SISTEMA. Organizzazione della conoscenza su un particolare tema che ambisce ad essere esaustiva nonché il palinsesto per l'aggiornamento della conoscenza su tale tema.

SPLINE. Funzione per la descrizione e rappresentazione grafica e vettoriale di curve, ampiamente utilizzata nei software CAD.

SUPERFICIE DI PARETO (Pareto front). Concetto definito da Vilfredo Pareto indicante l'insieme delle soluzioni non dominate in un problema di ottimizzazione. La superficie di Pareto assume una valenza progettuale nelle operazioni di ottimizzazione in quanto porzione dello spazio di design popolata da soluzioni per le quali non esiste altra soluzione che sia contemporaneamente migliore rispetto a tutti gli obiettivi da ottimizzare.

SUPERFICIE MINIMA. Superficie la cui curvatura media è pari a 0, come la catenoide. Le superfici minime sono di interesse nella pratica architettonica in quanto ottenibili per mezzo di modelli fisici a superfici saponate e in quanto utili alla progettazione di strutture a involucro globale come le tensostrutture.

TASSELAZIONI. Insieme di geometrie piane che ricoprono una superficie senza mai sovrapporsi tra di loro. Esse sono spesso definibili in forma procedurale.

TASSONOMIA. Scienza che studia le forme di ordinamento sistemico di conoscenze, informazioni, teorie e dati di un determinato ambito.

TAXON. Entità di un raggruppamento sistemico a un livello non meglio definito. In ambito biologico, con taxon si può indicare una specie, un genere, una famiglia etc.

TEORIA DEI GIOCHI. Branca della matematica applicata interessata all'analisi, allo studio e alla previsione dei processi decisionali di più soggetti in situazioni in cui essi presentano interessi contrastanti. La teoria dei giochi è richiamata da Luigi Moretti nella descrizione della sua Architettura Parametrica.

TRASFORMAZIONE TOPOLOGICA. In una definizione non formale, trasformazione di un oggetto verso un altro attraverso un processo che ammette piegature, torsioni, dilatazioni e compressioni ma non ammette lacerazioni e la formazione di nuovi fori.

VINCOLO (Constraint). Limitazione dei possibili valori assumibili dai parametri coinvolti nella generazione di una soluzione progettuale. Tale limitazione può essere operata anche definendo proprietà da rispettare per la soluzione progettuale.

VISIONE (Categoria conoscitiva proposta). Concezione su cosa possa essere l'approccio parametrico al progetto di architettura. Questa ricerca discute le seguenti visioni: Architettura Parametrica, Parametricismo e visione computazionale.

:: BIBLIOGRAFIA GENERALE

La seguente bibliografia generale include tutte le fonti citate esplicitamente in questa tesi.

AA.VV., Open Letter to Autodesk [online]. <https://the-nordic-letter.com/> (Ultima consultazione: 17 settembre 2022).

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 145, "*Comando federale G.I.L. - Caserma GIL e teatro*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 162, "*Mostra IRMOU (architettura parametrica) alla XII Triennale*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 164, "*Ampliamento e ristrutturazione dello Stadio olimpico*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 165, "*Progetto di uno stadio secondo i canoni dell'architettura parametrica*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 222, "*Progetto per lo stadio e del complesso olimpico a Teheran (Iran)*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 226, "*Parcheggio sotterraneo a Villa Borghese*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 227, "*Accademia Nazionale di danza di Roma: sistemazione del villino Munoz e destinazione a dormitorio femminile*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 49, "*P.N.F. Nuova casa della G.I.L. - Progetto per il teatro e per gli uffici*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 59, "*Piazzale delle adunate al Foro Mussolini*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 62, "*Progetto dello stadio olimpico ed esecuzione fino al secondo anello delle gradinate*".

ACSRo, Fondo Luigi Moretti, progetto no. 62, "*Progetto dello stadio olimpico ed esecuzione fino al secondo anello delle gradinate*".

Addis, B. (2013), "'Toys that save millions': A history of using physical models in structural design", *Structural Engineering*, vol. 91, no. 4, pp. 12-28.

Addis, B. (2014), "Physical modelling and form finding", in Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (eds.), *Shell structures for architecture - form finding and optimization*, Oxon: Routledge, pp. 33-43.

Addis, B. (ed.) (2021), *Physical Models. Their historical and current use in civil and building engineering design*, Berlino: Ernst & Son.

Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (2014), *Shell structures for architecture - form finding and optimization*, Oxon: Routledge.

AIA – American Institute of Architects (2020), *The Business of Architecture – Firm Survey Report*. [Online] aia.org/resources/6151-firm-survey-report (Ultima consultazione: 17 settembre 2022).

Aish, R. & Woodbury, R. (2005), "Multi-level Interaction in Parametric Design", *Lecture Notes in Computer Science*, no.3638, pp. 151–162.

Akin, O. (1986), *Psychology of Architectural Design*, Londra: Pion Limited.

Alberti, L. B., *De re aedificatoria*, Tradotto in Orlandi, G. (1966), *L'architettura. De Re Aedificatoria*, Milano: Edizioni Il Polifilo.

Alexander, C. (1964), *Notes on the synthesis of form*, Cambridge: Harvard University Press.

Alexander, C. (1965), "A City is Not a Tree", *Architectural Forum*, vol. 122, no. 1, pp 58-62.

Alexander, C. (1973), *Notes on the Synthesis of the Form*, 7ª ristampa, Cambridge: Harvard University Press.

Alexander, C. (1977), *A pattern language*, New York: Oxford University Press.

Alexander, C. (1979), *The Timeless Way of Building*, New York: Oxford University Press.

- Alexander, C. (1996) "Patterns in architecture", in Anderson, L. & Copelin, J. (eds), *OOPSLA—conference on object-oriented programming systems languages and applications*, San Jose: Association for Computing Machinery.
- Alexander, C. (2002), *The nature of order: an essay on the art of building and the nature of the universe. Vol I, The phenomenon of life*, Berkley: Centre for Environmental Structure.
- Alexander, C. (2002), *The nature of order: an essay on the art of building and the nature of the universe. Vol II, The process of creating life*, Berkley: Centre for Environmental Structure.
- Alexander, C. (2004), *The nature of order: an essay on the art of building and the nature of the universe. Vol IV, The luminous ground*, Berkley: Centre for Environmental Structure.
- Alexander, C. (2005), *The nature of order: an essay on the art of building and the nature of the universe. Vol III, A vision of a living world*, Berkley: Centre for Environmental Structure.
- Alexander, C. et al. (1975), *The Oregon Experiment*, New York: Oxford University Press.
- Allen, S. (1997), "From Object to Field", *Architecture after Geometry*, *AD Profile*, no. 127, pp 24–31.
- Amirante, R. (2014), "Abduzione e valutazione", *op. cit.. Selezione della critica d'arte contemporanea*, no. 150, pp. 5-18.
- Amirante, R. (2018), *Il progetto come progetto di ricerca. Un'ipotesi*, Siracusa: LetteraVentidue.
- Amirante, R., Coppola, M., Pone, S., Scala, P., Chirianni, C., Lancia, D. & Pota, G. (2021), "Reloading Architecture", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10, pp. 46-57.
- Anderson, C. (2008), "The end of theory: the data deluge makes the scientific method obsolete", *wired* [Online]. <https://www.wired.com/2008/06/pb-theory/> (Ultima consultazione: 15 febbraio 2023).
- Andia, A., & Spiegelhalter, T. (2015), *Post-Parametric Automation in Design and Construction*, Londra: Artech House.
- Aristotele, *Politica*, libro IV.
- Banham, R., (1967), *Theory and Design in the First Machine Age*, 2° ed., New York: Praeger
- Baudrillard, J. (1985), "Modernità", in *Encyclopaedia Universalis*, vol. 12, Encyclopaedia Universalis: Parigi, pp. 424-426.
- Bauman, Z. (2002), *Modernità liquida*, Roma: Laterza.
- Belibani, R. & Lucente, R. (eds.) (2021), "Frontiere Digitali", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10.
- Belibani, R. (2018), "Biomimesi e robotica nella nuova architettura", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 4, pp. 99-107.
- Benyus, J.M. (2009), *Biomimicry: Innovation inspired by nature*, HarperCollins e-books.
- Bianconi, F., Filippucci, M., Buffi, A. & Vitali, L. (2020), "Morphological and visual optimization in stadium design: a digital reinterpretation of Luigi Moretti's stadiums", *Architectural Science Review*, vol. 63, no. 2, pp. 194-209.
- Block Research Group, *RhinoVAULT* [Online] <https://block.arch.ethz.ch/brg/content/tool/rhinovault/introduction> (Ultima consultazione: 13 febbraio 2023).
- Block Research Group, *RhinoVAULT 2* [Online], <https://blockresearchgroup.gitbook.io/rv2/> (Ultima consultazione: 13 febbraio 2023).
- Bottazzi, R. (2018), *Digital architecture beyond computers: fragments of a cultural history of computational design*, Londra: Bloomsbury Visual Art.
- Bravo Martines, M. (2015), *Lógicas paramétricas en la arquitectura del siglo xx*, Barcellona: Universidad Politècnica de Catalunya [Tesi di Dottorato] [Online]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/386394> (Ultima consultazione: 23 gennaio 2023).

- Burry, J. & Burry, M. (2010), *The new mathematics of architecture*, Londra: Thames & Hudson.
- Burry, J., Sabin, J., Sheil, B. & Skavara, M. (2020), *FABRICATE: Making Resilient Architecture*, Londra: UCL Press.
- Burry, M. (2011), *Scripting Cultures - Architectural design and programming*, Chichester: John Wiley & Sons
- Burry, M. (2016), "Antoni Gaudí and Frei Otto. Essential Precursors of the Parametricism Manifesto", *AD - Architectural Design*, no. 240, pp. 30-35.
- Buxton, B. & Buxton, W. (2007), *Sketching user experiences: getting the design right and the right design*, Amsterdam: Morgan Kaufmann.
- Cache, B. (2003), "Philibert De L'Orme Pavilion: Towards an Associative Architecture", *Surface Consciousness, AD Profile*, no. 162, pp. 21–25.
- Cachè, B. (2009), *Fortuito supra acanthi radicum: Essai de lecture contemporaine du De Architectura de Vitruve*, Università di Parigi [Tesi di Dottorato].
- Cachè, B. (2012), *Instruments of Thought*, Cornell University [Trascrizione di conferenza] [Online].
http://events.cornell.edu/event/bernard_cache_lecture_instruments_of_thought (Ultima consultazione: 19 gennaio 2023)
- Canestrino, G. (2021), "Analogue-digital dialectics in architectural design. Towards renewed hypotheses of method", *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, no. 10, pp. 56–67.
- Canestrino, G. (2021), "Architettura e cultura algoritmica. Tra resistenza e abbandono alla pervasività del calcolo digitale", *OFFICINA*, no. 35, pp. 42-47.
- Canestrino, G. (2021), "Considerations on Optimization as an Architectural Design Tool", *Nexus Network Journal*, no. 23, pp. 919–931.
- Canestrino, G. (2021), "Use of parametric approach for user-oriented development in building design: preliminary investigations", *The Academic Research Community Publication*, no. 5 vol. 1, pp. 74-80.
- Canestrino, G. (2021). "PROTOARCHITETTURE DIGITALI. Innovazione e trasgressione nei pavilion", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10, pp. 88-109.
- Canestrino, G., Greco, L., Spada, F. & Lucente, R. (2020), "Generating architectural plan with evolutionary multiobjective optimization algorithms: a benchmark case with an existent construction system", in Escobar, N. B. & Torreblanca-Díaz, D. A. (eds.), *Transformative design - Proceedings of the XXIV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics – SigraDi 2020*. Medellin, novembre 2020. San Paolo: Blucher, pp.149-156.
- Canestrino, G., Miraglia, S., Perri, G. & Lucente, R. (2021), "Parametric Strategies in an Architectural Design Workshop". In Gomez, P. Z. & Braidà, F. (eds.), *Design Possibilities - XXV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Virtual Conference, 8-12 November 2012. São Paulo: Blucher, pp. 511-522.
- Canestrino, G., Miraglia, S., Perri, G. & Lucente, R., "Parametric Strategies in an Architectural Design Workshop".
- Caponi P. & Cutroni, F. (2019), "Revisiting the "M Stadium" Project by Luigi Moretti: A Forgotten Model of Parametric Architecture", In Lázaro, C., Bletzinger, K. & Oñate, E. (eds.), *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019*, Barcellona: International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE).
- Capozzi, R. (2020), "Contro il parametricismo", *Op.cit., selezione della critica d'arte contemporanea*, no. 169, pp. 36-44.
- Cardoso Llach, D. (2013), "Algorithmic Tectonics: How Cold War Era Research Shaped Our Imagination of Design", *AD - Architectural Design*, vol. 83 no. 2, pp. 16-21.
- Cardoso Llach, D. (2015), *Builders of the Vision. Software and the Imagination of Design*, Londra: Routledge, p. 159

- Carpo, M. (1998), *Architettura nell'età della stampa. Oralità, scrittura, libro stampato e riproduzione meccanica dell'immagine nelle storie delle teorie architettoniche*, Milano: Jaca Book.
- Carpo, M. (2011), *The alphabet and the algorithm*, Cambridge: MIT Press.
- Carpo, M. (2014), "Breaking the Curve: Big Data and Design", *Artforum* [Online]. www.artforum.com/print/201402/breaking-the-curve-big-data-and-design-45013 (Ultima consultazione: 15 febbraio 2023).
- Carpo, M. (2015), "The New Science of Form-Searching", *AD – Architectural Design*, vol. 85, no.5, pp. 22-27.
- Carpo, M. (2016), "Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard", *AD – Architectural Design*, vol. 86, no. 2, pp. 24-29.
- Carpo, M. (2017), *The second digital turn: design beyond intelligence*, Cambridge: MIT Press.
- Carpo, M. (2018), "Big Data and the End of History", *International Journal for Digital Art History*, no. 3.
- Carpo, M. (ed.) (2012), *The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012*, Chichester: Wiley.
- Carpo, M., *Architettura nell'età della stampa. Oralità, scrittura, libro stampato e riproduzione meccanica dell'immagine nelle storie delle teorie architettoniche*.
- Ceccarini, P. (2017), "Systemic Design, Affordances, and Architectural Profiling", in *Proceedings of Relating Systems Thinking and Design (RSD6) Symposium*.
- Ceccarini, P. (2021), "Le teorie della catastrofe e delle affordances. Ripensare l'epistemologia e la prassi architettonica e urbana", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9, pp. 149-155.
- Chaitin, G. (2007), *Alla ricerca di Omega*, Milano: Adelphi.
- Claypool, M. (2019). *The Digital in Architecture. Timeline*. SPACE10. [Online]. <https://www.pentagram.com/work/the-digital-in-architecture/story> (Ultima consultazione: 9 dicembre 2022).
- Coppola, M. (2014), *Architettura Post-Decostruttivista: Zaha Hadid e le nuove generazioni, dai campi di continuità alla biomimesi parametrica*, Università degli Studi di Napoli "Federico II". [Tesi di Dottorato] [Online]. <http://www.fedoa.unina.it/9634/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).
- Coppola, M. (2016), "Morfogenesi: rischio digitale e Design Research Laboratori", in Coppola, M., *Architettura Post-Decostruttivista (Vol. 1): La linea della complessità*, Monza: Deleva Editore, pp. 162-167.
- Coppola Pignatelli, P. (1977), "Introduzione", in Alexander, C., *Un esperimento di progettazione democratica*. L'Università dell'Oregon, Traduzione di Coppola Pignatelli, P., Roma: Officina Edizioni.
- Davis D. & Peters B. (2013), "Design Ecosystems: customizing the architectural design environment with software plug-ins", *AD - Architectural Design*, no. 222, pp. 123-132.
- Davis, D. (2013), *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, Melbourne: RMIT University, p. 15. [Tesi di dottorato] [Online]. <https://www.danieldavis.com/thesis/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).
- Dawes, M. J., Ostwald, M. J. (2017), "Christopher Alexander's A Pattern Language: analysing, mapping and classifying the critical response", *City, Territory and Architecture*, vol. 4:17.
- De Fusco, R. (2001), "Internet non s'addice all'architettura", *Op.cit., selezione della critica d'arte contemporanea*, n. 112, pp. 5-13.
- De Landa, M. (2002), "Deleuze and the use of the genetic algorithm in architecture", *AD - Architectural Design*, vol. 72, no. 1, pp. 9-13.
- Deleuze G. (1988), *Le pli: Leibniz et le baroque*, Paris: Editions de Minuit, p. 26.
- Duarte, J. P. (2005). "Towards the Mass Customization of Housing: The Grammar of Siza's Houses at Malagueira", *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 32 no. 3, pp. 347–380.

- Durand, J. N. L. (1802), *Precis des Leçons d'Architecture*.
- Eastman, C. (1968), "Explorations of the cognitive processes in design", *Computer Science Department*, paper no. 1837.
- Eastman, C. (1971), "GSP: A system for computer assisted space planning". In *Proceedings of the 8th Design Automation Workshop (DAC '71)*, New York: Association for Computing Machinery, pp. 208–220.
- Eastman, C. (1974), *An outline of the building description system*, Research Report N. 50, Pittsburgh: Carnegie-Mellon University.
- Eastman, C. (1975), "The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design", *AIA Journal*, no. 63, pp. 46-50.
- Eco, U. (1962), *Opera aperta: forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee*, 4° ed., Milano: Bompiani.
- Eco, U. (1968), *La struttura assente. La ricerca semiotica e il metodo strutturale*, Milano: Bompiani.
- Fankhänel, T. & Lepik A. (eds.) (2020), *The architecture machine: the role of computers in architecture*, Basilea: Birkhäuser.
- Ferraris, M. (2009), *Documentalità. Perché è necessario lasciar tracce*, Roma: Laterza.
- Ferraris, M. (2021), *Documanità. Filosofia del nuovo mondo*, Roma: Laterza.
- Floridi, L. (1999), *Philosophy and computing. An introduction*, Londra: Routledge.
- Floridi, L. (2012), *La rivoluzione dell'informazione*, Torino: Codice edizioni.
- Floridi, L. (2014), *La quarta rivoluzione. Come l'infosfera sta cambiando il mondo*, Milano: Raffaello Cortina Editore.
- Frampton, K. (1995), *Studies in Tectonic Culture. The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture*, MIT Press: Cambridge.
- Frazer, J. (1995), *An Evolutionary Architecture*, Londra: Architectural Association.
- Frazer, J. H. (1974), "Reptiles", *AD - Architectural Design*, april, pp. 231 - 239.
- Garber R. (2009), "Optimisation Stories: The Impact of Building Information Modelling on Contemporary Design Practice", *Closing the Gap: Information Models in Contemporary Design Practice*, AD Profile, no. 198, pp 6–13.
- Garber, R. (2014), "The master builder and information modelling", in Garber, R., *BIM Design. Realising the creative potential of building information modelling*, Chichester: Wiley, pp. 28-43.
- Gaudel, M. C. (1994), "Formal specification techniques", *Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering*, pp. 223–227.
- Gerber D. J. (2007), *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, p. 125 [Tesi di dottorato] [Online].
https://www.researchgate.net/publication/279289656_Parametric_Practices_Models_for_Design_Exploration_in_Architecture (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)
- Gershenfeld, N., Carney, M., Jenett, B., Calisch, S. and Wilson, S. (2015), "Macrofabrication with Digital Materials – Robotic Assembly", *AD - Architectural Design*, vol. 85, issue 5, pp. 122-127.
- Gibson, J.J. (1979), *The Ecological Approach to Visual Perception*, New York: Psychology Press & Routledge Classic Editions.
- Giedion, S. (1959), *Space, time and architecture. The growth of a new tradition*, 3° ed., Harvard University Press: Cambridge.
- Glynn, R. & Sheil, B. (eds.) (2011), *FABRICATE: Making Digital Architecture*, Londra: UCL Press.

- Graefe, R. (2021), "The catenary and the line of thrust as a means for shaping arches and vaults", in Addis, B. (ed.), *Physical Models. Their historical and current use in civil and building engineering design*, Berlino: Ernst & Son, pp. 79-125.
- Gramazio, F., Kohler, M. & Langenberg, S. (eds.) (2014), *FABRICATE: Negotiating Design & Making*, Londra: UCL Press.
- Gregotti, V. (2018), *I racconti del progetto*, Skira: Milano.
- Gregotti, V. (2018), *Il territorio dell'architettura*, 4° ed., Milano: Feltrinelli.
- Guadet, J. (1902), *Elements et Theorie de l'Architecture*, Parigi: Librairie de la Construction Moderne.
- Hall, A. D. (1962), *A Methodology for Systems Engineering*, Princeton: D. von Nostrand.
- Heynen, H. (1999), *Architecture and Modernity. A critique*, MIT Press: Cambridge.
- Hierons, R. M. et al. (2009), "Using formal specifications to support testing", *ACM Computing Surveys*, no. 41(2).
- Hoffmann, C. M. and Joan-Arinyo, R. (2005). "A brief on constraint solving", *Computer-Aided Design and Application*, no. 2, pp. 655-663.
- Hooke, R. (1676), *A Description of Helioscopes, and Some Other Instruments*, Londra: John Martyn.
- Informazioni Urbanistiche*, "Mostra e Convegno alla Triennale di architettura parametrica e di ricerca operativa in urbanistica", a. 1, n. 1, pp. 24-25.
- Iwamoto, L. (2009), *Digital Fabrications. Architectural and Material Techniques*, New York: Princeton Architectural Press.
- Jabi, W. (2013), *Parametric Design for Architecture*, Londra: Laurence King Publishing.
- Jacobs, J. (1961), *The death and life of great American cities*, New York: Random House.
- Jencks, C. (1971), *Architecture 2000: predictions and methods*, Londra: Studio Vista Limited.
- John K. Waters (2003), *Blobitecture: Waveform Architecture and Digital Design*, Beverly: Rockport.
- Khabazi, Z. (2012), *Generative Algorithms using grasshopper* [Online].
https://issuu.com/pabloherrera/docs/generative_algorithms_f07be9052a219d (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022)
- Kilpatrick, J. (1984), "Parameter", in Kilpatrick, J., *The Writer's Art*, Kansas City : Andrews, McMeel & Parker, pp. 210-2012 [Online].
- Knox, J. (1951), "Operational Research in the Building Industry", *Operational Research Quarterly*, vol. 2, no. 1, pp. 5-10.
- Koning, H. & Eizenberg, J. (1981), "The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses", *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 8, no.3, pp.295-323.
- Laiserin, J. (2007), "Foreword", in Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008), *BIM Handbook. A guide to building information modeling for Owners, Managers, Designer, Engineers and Contractors*, Hoboken: John Wiley & Sons, p. xi-xiii.
- Laiserin, J. (2008), "Digital Environments for Early Design: Form-Making versus Form-Finding", in *First International Conference on Critical Digital: What Matters(s)?*, Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, pp. 235-242.
- Lastra, A. (2022), *Parametric geometry of curves and surfaces: Architectural form-finding*, Basilea: Birkhäuser.
- Lea, D. (1994) "Christopher Alexander: an introduction for object-oriented designers", *Software Engineering Notes*, vol.19(1), pp. 39-46

- Leach, N. (2018), "We Have Never Been Digital", in Anzalone, P., del Signore, M. & Wit, A. J. (eds.), *Recalibration – On Imprecision and Infidelity – Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, IngramSpark, pp. 20-29.
- Leach, N. (2019), "There Is No Such Thing as a Digital Building – A Critique of the Discrete", *AD - Architectural Design*, vol. 89, issue 2, pp. 136-141.
- Lockwood, E.H. (1961), "Chapter 13: The Tractrix and Catenary", in Lockwood, E.H., *A Book of Curves*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 124.
- Longo, G. O. (2016), "La nascita della filosofia digitale", *Doppiozero* [Online] <https://www.doppiozero.com/materiali/la-nascita-della-filosofia-digitale> (Ultima consultazione: 17 ottobre 2021).
- López-Pérez, D. (2020), *Pattern-thinking: R. Buckminster Fuller*, Zurigo: Lars Müller Publishers.
- Lucente, R. & Canestrino, G. (2023), "Distance between theory and practice in a project by Luigi Moretti, Parametric Architecture's first theorist", *The Journal of Architecture*. In pubblicazione.
- Lucente, R. (2019) "Architectural quality and typological flexibility: the role of buffer spaces in warm climates. An application in a steel and hemp construction system", in *Sustainable Built Environment Conference Proceedings Book*. Scilla, 16-17 maggio 2019, pp. 43-48.
- Lucente, R. (2020), "Reality and vision in a steel and hemp design research project", in Carpenzano, O., Capanna, A., Del Monaco, A. I., Menegatti, F., Monestiroli, T. & Nencini, D. (2020), *Creativity and reality. The art of building future cities. 1st ICONA International Conference on Architecture. Creativity and reality. The art of building future cities*, Roma: Edizioni Nuova Cultura, pp. 236-243.
- Lucente, R. (2020), *Abitare Acciaio. Esperienze di ricerca progettuale*, Siracusa: LetteraVentidue.
- Lullo, R. (1277 ca.), *Ars compendiosa inveniendi veritatem seu ars magna et maior*.
- Lynch, K. (1960), *The image of the city*, Cambridge: MIT Press.
- Lynn, G. (1996), "Blobs: Why Tectonics is Square and Topology is Groovy", *ANY*, no. 14.
- Lynn, G. (ed.) (2013), *Archaeology of the Digital*, Sternberg Press, Berlin.
- Magliozzi, Z. (2021), "Patrik Schumacher. Dall'architettura parametrica ai parametri di funzionalità sociale. Intervista di Zaira Magliozzi", *AR Magazine*, vol. 125-126, pp. 440-455.
- Makki, M., Showkatbakhsh, M., & Song, Y. (2019), *Wallacei Primer 2.0*. [Online]. <https://www.wallacei.com/learn> (Ultima consultazione: 04 febbraio 2023).
- Martinell, C. (1975), *Gaudí: His Life. His Theories. His Work*, Barcelona: Editorial Blume.
- Masterman, M. (1971), "Computerized Haiku", in Reichardt, J. (ed.), *Cybernetics, Art and Ideas*, Greenwich: New York Graphic Society, pp. 175-183.
- McCullough, M. (2006), "20 years of scripted space", *Programming Cultures: Art and Architecture in the Age of Software*, AD Profile, no. 182, pp. 12-15.
- Mehaffy, M. W. (2008), *Generative methods in urban design: a progress assessment*, *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, vol.1(1), pp. 57-75.
- Menabrea, L. F. & Lovelace, A. (1843). "Sketch of the Analytical Engine invented by Charles Babbage with notes by the translator. Translated by Ada Lovelace". In Taylor, R. (ed.). *Scientific Memoirs*. Vol. 3. London: Richard and John E. Taylor. pp. 666-731.
- Menges, A. (2006), "Polymorphism", *Techniques and Technologies in Morphogenetic Design*, AD Profile, no. 180, pp. 78-87.
- Mindrup, M. (2019), *The architectural model. Histories of the miniature and the prototype, the exemplar and the muse*, MIT Press: Cambridge.

- Minsky, M. L. & Papert, S. (1973), *Artificial intelligence*, Eugene: Oregon State System of Higher Education.
- Mitchell, W. J. (1975), "Vitruvius computatus", in Hawkes, D. (ed.), *Models and Systems in Architecture and Building*, Lancaster: The Construction Press, pp. 53-59.
- Mitchell, W. J. (1975), "The Theoretical Foundation of Computer-Aided Architectural Design", *Environment and Planning B: Planning and Design*, no. 2(2), pp. 127-150.
- Mitchell, W. J. (1977), *Computer-Aided Architectural Design*, New York: Petrocelli/Charter.
- Mitchell, W. J. (1990), *The Logic of Architecture. Design, Computation and Cognition*, Cambridge: MIT Press.
- Mitchell, W. J. (2001), "Vitruvius Redux", in Antonsson, E. K. & Cagan, J. (eds.), *Formal Engineering Design Synthesis*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1-19.
- Monedero, J. (2000), "Parametric design: a review and some experiences", *Automation in Construction*, vol. 9, issue 4, pp. 369-377.
- Moretti, L. & I.R.M.O.U. (eds.) (1960), *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, Milano: Arti grafiche Crespi.
- Moretti, L. (1951), "Struttura come Forma", *Spazio*, no. 6, pp. 21-30; 110. Ripubblicato in Bucci, F. & Mulazzani, M. (2000), *Luigi Moretti: opere e scritti*, Milano: Electa.
- Moretti, L. (1954), "Structure comme forme" (Structure as Forme)", *United States Lines Paris Review*.
- Moretti, L. (1956), "Forma come Struttura", *Spazio*, estratti. Già pubblicato come: Moretti, L. (1954), "Structure comme forme" (Structure as Forme), *United States Lines Paris Review*. Successivamente tradotto interamente: Moretti, L. (1957), "Form as Structure", *Arena*. Ripubblicato in Bucci, F. & Mulazzani, M. (2000), *Luigi Moretti: opere e scritti*, Milano: Electa.
- Moretti, L. (1957), *Aviorama*, Brevetto per Marchio d'Impresa, N. 143320.
- Moretti, L. (1965), "Architecture 1965: Évolution ou Révolution. Réponses au Questionnaire", *L'Architecture d'Aujourd'hui*, no. 119, pp. 48-51.
- Moretti, L. (1968), "Parametrica Architettura", in Portoghesi, P. (ed.), *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*, Roma: Istituto Editoriale Romano, p.377.
- Moretti, L. (1971), "Ricerca matematica in architettura e urbanistica", *Moebius*, a. IV, no.1, pp. 30-53. Ripubblicato in Bucci, F. & Mulazzani, M. (2000), *Luigi Moretti: opere e scritti*, Milano: Electa.
- Moretti, L., Musmeci, S., Plebo, A., Zevi, B. & Portoghesi, P., Trascrizione del dibattito 'Structures, Mathématiques, Architecture Contemporaine', 23 novembre 1964, Roma. Cfr. ACS busta no. 42.
- Negroponte, N. (1970), *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment*, Cambridge: MIT Press.
- Negroponte, N. (1976), *Soft Architecture Machines*, Cambridge: MIT Press.
- Neufert, E. (1936), *Bauentwurfslehre*, Berlino.
- Novak, M. (1993), "Liquid Architecture", in Benedikt, M. (ed.), *Cyberspace, First Steps*, MIT Press: Cambridge, pp. 225-254.
- Ochsendorf, J. & Block, F. (2014), "Exploring shell forms", in Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (eds.), *Shell structures for architecture - form finding and optimization*, Oxon: Routledge, pp. 7-14.
- Oosterhuis, K (1998), "Salt Water Live, Behaviour of the Salt Water Pavilion", *Hypersurface Architecture, AD Profile*, no. 133, pp 56-61.
- Otto, F. & Burkhardt, B. (2009), *Occupying and connecting: thoughts on territories and spheres of influence with particular reference to human settlement*, Stuttgart: Edition Axel Menges,
- Palestini, C., Basso, A. (2019), "Parametric Architecture and Representation, the Experiments of Luigi Moretti", in Marcos, C. (ed.), *Graphic Imprints. EGA 2018*, Cham: Springer, pp. 183-198.

- Pask, G. (1969), "The Architectural Relevance of Cybernetics", in *AD – Architectural Design*, no. 7/6, pp. 494-496.
- Peters, B. & De Kestelier (eds.) (2013), *Computation Works. The building of algorithmic Thought*, *AD – Architectural Design*, no. 222.
- Peters, B. (2013), "Computation Works: The Building of Algorithmic Thought", *AD – Architectural Design*, no. 222, pp. 8-15.
- Peters, J. (1678), *Artificial Versifying: A New Way to Make Latin Verses*.
- Philip, B., Williamson, S. & Woodbury, R. (2006), "Parametric Modelling as a Design Representation in Architecture: A Process Account", *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEAA)*.
- Picon, A. (2010), *Digital Culture in Architecture. An introduction for the design professions*, Basilea: Birkhäuser.
- Picon, A. (2021), *The Materiality of Architecture*, University of Minnesota Press: Minneapolis.
- Poleni, G. (1748), *Memorie storiche della gran cupola del Tempio Vaticano*.
- Popper, K. (1934), *The Logic of Scientific Discovery*.
- Prestinzenza Puglisi, L. (1998), *HyperArchitettura – Spazi nell'età dell'elettronica*, Torino: Testo & Immagine.
- Purini, F. (2003), "Digital Divide", in Sacchi, L. & Unali, M. (eds), *Architettura e Cultura Digitale*, Milano: Skira, pp. 87-96.
- Purini, F. (2008), *La misura italiana dell'architettura*, Laterza: Roma-Bari.
- Purini, F. (2014), lemma 'forma' in: *Wikitecnica "L'Architettura"*, Utet Scienze [Online].
<https://www.teknoiring.com/wikitecnica/progettazione-architettura/forma/> (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022)
- Purini, F. (2018), "Il BIM – Un parere in evoluzione", *op. cit.. Selezione della critica d'arte contemporanea*, n. 162, pp. 5-16.
- Quaroni, L. (1977), *Progettare un edificio – Otto lezioni di architettura*, Milano: Mazzotta.
- Quatremère de Quincy, A.C. (1788), "Type", in *Encyclopédie Méthodique-Architecture*, vol. 3, Paris 1788-1825.
- Rama Murthy P. (2007), *Operations Research*, 2° ed., New Dehli: New Age International.
- Ratti, C. (2014), *Architettura Open Source. Verso una progettazione aperta*, Torino: Einaudi.
- Regione Calabria (2016), *Strategia regionale per l'innovazione e la specializzazione intelligente 2014-2020*, DGR.n. 294 del 28/07/2016, p. 87.
- Retsin, G. (2016), "Discrete and Digital – A Discrete Paradigm for Design and Production", in Bieg, K. (ed.), *2016 TxA Emerging Design + Technology Conference Proceedings*, Texas Society of Architects, pp. 82-96.
- Rhudson, R. (2010), *Strategies for Parametric Design in Architecture: An Application of Practice Led Research*, Bath: University of Bath, p. 18. [Tesi di dottorato] [Online].
<https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/strategies-for-parametric-design-in-architecture-an-application-o> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)
- Rocker, I. (2004), "Calculus-Based Form. An interview with Greg Lynn", *AD - Architectural Design*, vol. 76, no. 4, pp. 88-96.
- Roriczer, M. (1486), *Das Büchlein von der Fialen Gerechtigkeit*
- Rossi, P. (1960), *Clavis universalis. Arti della memoria e logica combinatoria da Lullo a Leibniz*, Milano-Napoli: Riccardo Ricciardi Editore.
- Roudsari, M. S. & Pak, M., (2013), "Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design", in *Proceedings of the 13th International IBPSA Conference*, 25-30 agosto 2013, Lione, Francia.

- Rudofsky, B. (1964), *Architecture without architects: a short introduction to non-pedigreed architecture*, New York: Museum of Modern Art.
- Saggio, A. (2007), *Introduzione alla Rivoluzione Informatica in Architettura*, Roma: Carocci.
- Scheurer, F., & Stehling, H. (2011). "Lost in Parameter Space?", *AD - Architectural Design*, vol. 81, no. 4, pp. 70–79.
- Schneider, P. & Fankhänel, T., "Architectural Software Timeline", in Fankhänel, T. & Lepik A. (eds.) (2020), *The architecture machine: the role of computers in architecture*, Basilea: Birkhäuser.
- Schumacher, P. (2009). "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design", *Architectural Design*, no. 79(4), pp. 14–23. Già presentato e discusso al Dark Side Club, XI Biennale di Architettura di Venezia: Schumacher, P. (2008), "Parametricism as Style - Parametricism Manifesto" [Online]. <https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2012).
- Schumacher, P. (2010), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 1: A New Framework for Architecture*, Chichester: John Wiley and Sons.
- Schumacher, P. (2012), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, Chichester: John Wiley and Sons.
- Schumacher, P. (2016), "Parametricism 2.0 - Gearing up to Impact the Global Built Environment", in Schumacher, P. (ed.), *Parametricism 2.0 – Rethinking Architecture's Agenda*, *AD Profile*, no. 240, pp. 8-17.
- Schumacher, P. (2017), "Tectonism in Architecture, Design and Fashion - Innovations in Digital Fabrication as Stylistic Drivers", *AD – Architectural Design*, no. 250, pp. 106-113.
- Schumacher, P. (2018), "The Progress of Geometry as Design Resource", *Log*, no. 43, pp. 105-118.
- Schumacher, P. (ed.) (2016), *Parametricism 2.0*, *AD – Architectural Design*, no. 240.
- Semper, G. (1860), *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Ästhetik*.
- Sheil, B. (ed.) (2005), *Design Through Making*, *AD – Architectural Design*, vol. 75, no. 4.
- Sheil, B. (ed.) (2008), *Protoarchitecture. Analogue and Digital Hybrids*, *AD – Architectural Design*, vol. 78, no. 4.
- SHoP/Sharples, Holden, Pasquarelli (2002), "Introduction", *Versioning: Evolutionary Techniques in Architecture*, *AD Profile*, no. 159, pp. 7-9.
- Simmel, G. (2020), "Ponte e porta", in Carnevali, B. & Pinotti, A. (eds), *George Simmel – Stile Moderno – Saggi di estetica sociale*, Torino: Einaudi, pp. 321-328.
- Simondon, G. (1982), *On techno-aesthetics* [lettera indirizzata a Jacques Derrida mai spedita]. Il testo è pubblicato in: Simondon, G. (2012), "On techno-aesthetics", in *Parrhesia: a journal of critical philosophy*, no. 14, pp. 1-8.
- Spada, F., Canestrino, G., Giaquinta, G. & Greco, L. (2022), "Dry Construction Systems for Sustainable Buildings in Mediterranean Context: An R&D Project in South Italy", *ATINER's Conference Paper Series*, no. CIV2022-2746.
- Spallone, R. & and Calvano, M. (2019), "Roots of 'parametric thinking' in Palladio's Villas. Surveying, interpreting and visual programming the plates from I quattro libri di Architettura", In *Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, Proceedings of the International Conference MetroArchaeo*, pp. 217–222.
- Stenson, M. W. (2014), Generator, in Stenson, M. W., *Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, And Nicholas Negroponte & MIT's Architecture Machine Group*, Princeton University [Tesi di Dottorato] [Online]. <https://dataspace.princeton.edu/handle/88435/dsp01pn89d6733> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)
- Stevin, S. (1586), *De Beghinselen der Weeghconst*, Leyden: Druckerye van Christoffel Plantijn.
- Stiny, G. & Mitchell, W. J. (1978), "The Palladian grammar," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol 5., no. 1, pp. 5-18.

- Stiny, G., Gips J. (1972), "Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture", in Frieman, C. V. (ed.), *Information Processing 71*, Amsterdam: North-Holland, pp. 1460–1465.
- Summerson, J. (1963), *The Classical Language of Architecture*, Cambridge: MIT Press.
- Sutherland, I. E. (1963), *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology [Tesi di dottorato] [Online].
<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/14979> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)
- Taddio, L. & Giacomini, G. (eds.) (2020), *Filosofia del digitale*, Milano: Mimesis.
- Tedeschi, A. (2014), *AAD Algorithms-Aided Design, Parametric Strategies using Grasshopper*, Brienza: Le Penseur.
- Terzidis, K. (2006), *Algorithmic Architecture*, Oxford: Architectural Press.
- Terzidis, K., Isorna, J.M., & Srinivasan, V. (2004). "Algorithmic Design: A Paradigm Shift in Architecture?", in Rüdiger, B., Tournay, B. & Ørbæk, H., *Architecture in the Network Society. Proceedings of the 22nd International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*, pp. 201-207.
- Thompson, D. W. (1945), *On growth and form*, Cambridge: University Press.
- Toffler, A. (1970), *Future Shock*, New York: Random House.
- Ungers, O. M. (1982), *Architettura come tema | Architecture as theme*, Milano: Electa.
- Ungewitter, G. (1890), *Lehrbuch der gotischen Konstruktionen, neu bearbeitet von K. Mohrmann*, vol. 1, Leipzig: Wiegel, pp. 45-46.
- van Lamsweerde, A. (2000), "Formal specification: a roadmap". In *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering (ICSE '00)*. New York: Association for Computing Machinery, pp. 147–159.
- Veenendaal, D. & Block, P. (2012), "An overview and comparison of structural form finding methods for general networks", *International Journal of Solids and Structures*, vol. 49, no. 26, pp. 3741-3753,
- Ventriglia, F. (1960), *Luigi Moretti e la ricerca di un ordine oggettivo*, estratto da *Rassegna dei Lavori Pubblici*, n. 11, novembre 1960.
- Viati Navone, A. (2010), ""Un nuovo linguaggio per il pensiero architettonico". Ricerca operativa e architettura parametrica", in Reitchin B. & Tedeschi L. (eds.), *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività fra barocco e informale*, Milano: Electa, pp. 409-419.
- Visconti, F. & Capozzi, R. (eds.) (2012), *Maurizio Ferraris. Lasciar tracce: documentalità e architettura*, Milano: Mimesis.
- Vitruvio, *De Architettura*, libro III; libro X.
- Wolfram, S. (2002), *A New Kind of Science*, Champaign: Wolfram Media Inc.
- Woodbury, R. (2010), *Elements of parametric design*, New York: Routledge
- Yessios, C. (2003), "Is There More to Come?", Kolarevic, B. (ed.), In *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, New York: Spon Press, pp. 356–364.
- Zevi, B. (1973), *Il Linguaggio moderno dell'architettura*, 5° ed., Torino: Einaudi.
- Zevi, B. (1994), *Architettura della Modernità*, Newton Compton Editori: Roma.

:: BIBLIOGRAFIA TEMATICA

La seguente bibliografia tematica non ambisce a esaurire i temi trattati in questa tesi, ma propone una selezione di ricerche il più possibile eterogenea da usare come palinsesto per la costruzione di una personale narrativa nell'uso della strumentazione parametrica nel progetto di architettura.

Monografie che pongono le basi per una visione sistemica e culturale delle fonti consultate

- Alexander, C. (1964), *Notes on the synthesis of form*, Harvard: Harvard University Press.
- Alexander, C. (1977), *A pattern language*, New York: Oxford University Press.
- Alexander, C. (1979), *The timeless way of building*, New York: Oxford University Press.
- Baricco A. (2017), *The Game*, Torino: Einaudi.
- Bauman, Z. (2002), *Modernità liquida*, Roma: Laterza.
- Burry, M. (ed.) (2020), *Digital Architecture*, Londra: Routledge.
- Cache B. (1995), *Earth moves: the furnishing of territories*, Cambridge: MIT Press.
- Carpò, M. (2011), *The alphabet and the algorithm*, Cambridge: MIT Press.
- Carpò, M. (ed.) (2012), *The Digital Turn in Architecture 1992 – 2012*, Chichester: Wiley.
- Carpò, M. (2017), *The second digital turn: design beyond intelligence*, Cambridge: MIT Press.
- Deleuze, G. (1993), *The Fold. Leibniz and the Baroque*, Londra: The Athlone Press Ltd.
- Deleuze, G. & Guattari, F. (1980), *Mille Plateaux*, Parigi: Les Editions de Minuit.
- Eco, U. (1962), *Opera aperta: forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee*, Milano: Bompiani.
- Gambetta, D. (ed.) (2018). *Datacrazia. Politica, cultura algoritmica e conflitti al tempo dei big data*, Ladispoli: D Editore.
- Gregotti, V. (2018), *Il territorio dell'architettura*, 4° ed., Milano: Feltrinelli.
- Leach, N., Turnbull, D. & Williams, C. (2004), *Digital Tectonics*, Chichester: Wiley.
- Lorenzo-Eiroa, P. & Sprecher, A. (2013), *Architecture in Formation, On the Nature of Information in Digital Architecture*, Londra: Routledge.
- Lynn, G. (1998), *Folds, Bodies & Blobs. Collected Essays*, Bruxelles: La lettre volée.
- McLuhan, M. (1967), *Gli strumenti del comunicare*, Milano: Il saggiatore.
- Negroponte, N. (1995), *Essere digitali*, Milano: Sperling & Kupfer.
- Picon, A. (2010), *Digital Culture in Architecture. An introduction for the design professions*, Basilea: Birkhäuser.
- Poole, M. & Shvartzberg, M. (2015), *The Politics of Parametricism: Digital Technologies in Architecture*, Londra: Bloomsbury.
- Ratti, C. (2014), *Architettura Open Source. Verso una progettazione aperta*, Torino: Einaudi.
- Saggio, A. (2007), *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Roma: Carocci.
- Venturi, R. (1980), *Complessità e Contraddizione in Architettura*, Bari: Dedalo.
- Yiannoudes, Z. (2022), *Architecture in Digital Culture: Machines, Networks and Computation*, Londra: Routledge.

Zevi, B. (1973). *Il linguaggio moderno dell'architettura. Guida al codice anticlassico*. Torino: Einaudi.

Scritti di Luigi Moretti sull'Architettura Parametrica

Moretti, L. (1951), "Struttura come Forma", *Spazio*, no. 6, pp. 21-30; 110. Ripubblicato in Bucci, F. & Mulazzani, M. (2000), *Luigi Moretti: opere e scritti*, Milano: Electa.

Moretti, L. (1956), "Forma come Struttura", *Spazio*, estratti. Già pubblicato come: Moretti, L. (1954), "Structure comme forme" (Structure as Forme), *United States Lines Paris Review*. Successivamente tradotto interamente: Moretti, L. (1957), "Form as Structure", *Arena*. Ripubblicato in Bucci, F. & Mulazzani, M. (2000), *Luigi Moretti: opere e scritti*, Milano: Electa.

Moretti, L. & I.R.M.O.U. (eds.) (1960), *Mostra di Architettura Parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, Milano: Arti grafiche Crespi.

Trascrizione del dibattito 'Structures, Mathématiques, Architecture Contemporaine', Moretti, L., Musmeci, S., Plebo, A., Zevi, B. & Portoghesi, P., 23 novembre 1964, Roma. Cfr. ACS busta no. 42.

Moretti, L. (1965), "Architecture 1965: Évolution ou Révolution. Réponses au Questionnaire", *L'Architecture d'Aujourd'hui*, no. 119, pp. 48-51.

Moretti, L. (1968), "Parametrica Architettura", in Portoghesi, P. (ed.), *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*, Roma: Istituto Editoriale Romano, p.377.

Moretti, L. (1971), "Ricerca matematica in architettura e urbanistica", *Moebius*, a. IV, no.1, pp. 30-53. Ripubblicato in Bucci, F. & Mulazzani, M. (2000), *Luigi Moretti: opere e scritti*, Milano: Electa.

Principali monografie su Luigi Moretti

Bozzoni, C., Fonti, D. & Muntoni, A. (2012), *Luigi Moretti. Architetto del 900*, Roma: Gangemi.

Bucci, F. & Mulazzani, M. (2000), *Luigi Moretti: opere e scritti*, Milano: Electa.

Bucci, F. (2021), *FORM, STRUCTURE, SPACE | Notes on the Luigi Moretti's architectural theory*, Matosinhos: AMAG.

Esposito De Vita, G. (2009), *Luigi Moretti e la Fondazione della Rocca - Urbanistica e Ricerca Operativa*, Roma: Ginevra Bentivoglio Editoria.

Magnifico, T. et al. (eds.) (2021), Luigi Moretti. Forma, struttura, poetica della modernità, *AR Magazine*, vol. 125-126.

Pierini, O. S. (eds.) (2021), *Luigi Moretti. «Spazio». Gli editoriali e altri scritti*. Milano: Christian Marinotti Edizioni.

Reichlin, B. & Tedeschi, L. (eds.) (2010), *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività tra barocco e informale*, Milano: Electa.

Rostagni, C. (2008), *Luigi Moretti: 1907-1973*, Milano: Electa.

Scritti di Patrik Schumacher sul Parametricismo

I seguenti testi sono liberamente consultabili dal sito <https://www.patrikschumacher.com/>.

- Schumacher, P. (2009). "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design", *Architectural Design*, no. 79(4), pp. 14–23. Già presentato e discusso al Dark Side Club, XI Biennale di Architettura di Venezia: Schumacher, P. (2008), "Parametricism as Style - Parametricist Manifesto" [Online]. <https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2012).
- Schumacher, P. (2009), "Parametric Patterns", *AD – Architectural Design*, no. 6, vol. 79.
- Schumacher, P. (2010), *The Autopoiesis of Architecture. Volume 1: A New Framework for Architecture*, Chichester: John Wiley and Sons
- Schumacher, P. (2010), "The Parametricist Epoch: Let the Style Wars Begin", *AJ - The Architects' Journal*, no. 16, v. 231.
- Schumacher, P. (2012), "Parametricism – The Parametric Paradigm and the Formation of a New Style" in Schumacher, P., *The Autopoiesis of Architecture. Volume 2: A New Agenda for Architecture*, Chichester: John Wiley and Sons, pp. 617-709.
- Schumacher, P. & Leach, N. (2012), "On Parametricism - A Dialogue between Neil Leach and Patrik Schumacher", *T + A (Time + Architecture)*, no. 5.
- Schumacher, P. (2014), "Design Parameters to Parametric Design", in Kanaani, M. & Kopec, D. (eds.), *The Routledge Companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends*, New York: Taylor and Francis.
- Schumacher, P. (2015), *Style: In defence of.. Parametricism*, Londra: Machine Books.
- Schumacher, P. (2016), "Parametricism 2.0 - Gearing up to Impact the Global Built Environment", in Schumacher, P. (ed.), *Parametricism 2.0 – Rethinking Architecture's Agenda*, *AD Profile*, no. 240, pp. 8-17.
- Schumacher, P. (2017), "Tectonism in Architecture, Design and Fashion - Innovations in Digital Fabrication as Stylistic Drivers", *AD – Architectural Design*, no. 250, pp. 106-113.
- Schumacher, P. (2018), "The Progress of Geometry as Design Resource", *Log*, no. 43, pp. 105-118.
- Schumacher, P. (2019), "DIGITAL - The 'Digital' in Architecture and Design", *AA Files*, No.76.
- Schumacher, P. (2020), "Parametricism: The Next Decade", *a+u Architecture and Urbanism*, no. 595.
- Schumacher, P. (2021), "From Parametric Architecture to Parameters of Social. Interview by Zaira Magliozzi", *AR Magazine*, no. 125-126, pp. 440-455.

Storia dell'implementazione del digitale nella progettazione architettonica

- Bottazzi, R. (2018), *Digital architecture beyond computers: fragments of a cultural history of computational design*, Londra: Bloomsbury Visual Art.
- Cardoso Llach, D. (2015), *Builders of the Vision. Software and the Imagination of Design*, Londra: Routledge.
- Carlson, W. E. (2017), *Computer Graphics and Computer Animation: A Retrospective Overview*, Columbus: Ohio State University
- Carmo, M. (2016), "Parametric Notations: The Birth of the Non-Standard", *AD – Architectural Design*, vol. 86, no. 2, pp. 24-29.
- Ceruzzi, P. E. (1998), *A History of Modern Computing*, Cambridge: The MIT Press.
- Ceruzzi, P. E. (2012), *Computing: A Concise History*, Cambridge: The MIT Press.
- Claypool, M. (2019). *The Digital in Architecture. Timeline*. SPACE10. [Online]. <https://www.pentagram.com/work/the-digital-in-architecture/story> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2022)

- Claypool, M. (2019). *The Digital in Architecture: Then, Now and In the Future*. SPACE10. [Online]. <https://space10.com/project/digital-in-architecture/> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2022)
- Fallon, K. K. (1998), "Early computer graphics developments in the architecture, engineering and construction industry", *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 20, no. 2, pp. 20-29.
- Fankhänel, T. & Lepik A. (eds.) (2020), *The architecture machine: the role of computers in architecture*, Basilea: Birkhäuser.
- Frazer, J. (2016), "Parametric Computation: History and Future", *AD - Architectural Design*, vol. 86, pp. 18–23.
- Glymph, J. (2004), "Evolution of the digital design process", in Kolaveric, B. (ed.), *Architecture in the digital age*. Design and manufacturing, New York: Spon Press,, pp. 149-176.
- Lynn, G. (2013), *Archeology of the Digital*, Berlino: Sternberg Press.
- McCullough, M. (2006), "20 years of scripted space", *AD – Architectural Design*, no. 76, vol. 4 pp. 12-15.
- Menges, A., & Ahlquist, S. (2011), *Computational Design Thinking*, Chichester: John Wiley & Sons.
- Peddie, J. (2013), *The History of Visual Magic in Computers*, Londra: Springer.
- Stenson, M. W. (2017), *Architectural Intelligence. How Designers and Architects Created the Digital Landscape*, Cambridge: MIT Press.
- Weisberg, D. E. (2008), *The Engineering Design Revolution. A History of CAD*. [Online ebook]. <https://www.cadhistory.net/> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2022).

Manifesti e assimilabili

- Beck, K. (2001), Manifesto for agile software development [Online]. <https://agilemanifesto.org/> (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022)
- Heber, J. P. (1995), Algorist's statement [Online]. <https://www.jeanpierrehebert.com/13s.html> (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022).
- Lynn, G. (2007), "Manifesto #10", *ICON*, no. 404.
- Moretti, L. & I.R.M.O.U. (eds.) (1960), *Mostra di architettura parametrica e di ricerca matematica e operativa nell'urbanistica*, Milano: Arti grafiche Crespi.
- Ratti, C. (2011), *Open Source Architecture (OSArc)* [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source_architecture (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022).
- Schumacher, P. (2008), "Parametricism as Style - Parametricist Manifesto" [Online]. <https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm> (Ultima consultazione: 09 dicembre 2012).

Casi studio, pratica professionale e progetti di ricerca

- Andia, A., & Spiegelhalter, T. (2015), *Post-Parametric Automation in Design and Construction*, Londra: Artech House.
- Burry, J., & Burry, M. (2010), *The new mathematics of architecture*, Londra: Thames & Hudson.
- Burry, J., Sabin, J., Sheil, B. & Skavara, M. (2020), *FABRICATE: Making Resilient Architecture*, Londra: UCL Press.

- Canestrino, G. (2021). "PROTOARCHITETTURE DIGITALI. Innovazione e trasgressione nei pavilion", *Metamorfosi. Quaderni di Architettura*, no. 9/10, pp. 88-109.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008), *BIM Handbook. A guide to building information modeling for Owners, Managers, Designer, Engineers and Contractors*, Hoboken: John Wiley & Sons.
- Glynn, R. & Sheil, B. (eds.) (2011), *FABRICATE: Making Digital Architecture*, Londra: UCL Press
- Gramazio, F., Kohler, M. & Langenberg, S. (eds.) (2014), *FABRICATE: Negotiating Design & Making*, Londra: UCL Press
- Iwamoto, L., (2009), *Digital Fabrications. Architectural and Material Techniques*, New York: Princeton Architectural Press.
- Kolaveric, B. (ed.) (2003), *Architecture in the digital age. Design and manufacturing*, New York: Spon Press.
- Menges, A. (ed.) (2015), *Material Synthesis. Fusing the Physical and the Computational*, AD – Architectural Design, no. 237.
- Menges, A., Sheil, B., Glynn, R. & Skavara, M. (eds.) (2017), *FABRICATE: Rethinking Design and Construction*, Londra: UCL Press.
- Meredith, M. (2008), *From Control to Design. Parametric/Algorithmic Architecture*, Barcellona: Actar.
- Peters, B. & De Kestelier (eds.) (2013), *Computation Works. The building of algorithmic Thought*, AD – Architectural Design, no. 222.
- Sheil, B. (ed.) (2005), *Design Through Making*, AD – Architectural Design, vol. 75, no. 4.
- Sheil, B. (ed.) (2008), *Protoarchitecture. Analogue and Digital Hybrids*, AD – Architectural Design, vol. 78, no. 4.
- Spiller, N. (2009), *Digital Architecture Now. A global survey of emerging talent*, Londra: Thames & Hudson

Special Issues su temi affini alla concezione parametrica in architettura

- Anycorp (2020), *Model Behaviour*, Log, no. 50.
- Fok, W. W. & Picon, A. (eds.) (2016), *Digital Property: Open-Source Architecture*, AD – Architectural Design, no. 243.
- Hensel, M. & Menges, A. (eds.) (2008), *Versatility and Vicissitude. Performance in Morpho-Ecological Design*, AD – Architectural Design, no. 192.
- Hensel, M., Menges, A. & Weinstock, M. (eds.) (2004), *Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, AD – Architectural Design, no. 169.
- Leach, N. (ed.) (2009), *Digital Cities*, AD – Architectural Design, vol. 79, no. 4.
- Menges, A. (ed.) (2015), *Material Synthesis. Fusing the Physical and the Computational*, AD – Architectural Design, no. 237.
- Peters, B. & De Kestelier (eds.) (2013), *Computation Works. The building of algorithmic Thought*, AD – Architectural Design, no. 222.
- Retsin, G. (eds) (2019), *Discrete. Reappraising the Digital in Architecture*, AD – Architectural Design, no. 258.
- Schumacher, P. (ed.) (2016), *Parametricism 2.0*, AD – Architectural Design, no. 240.
- Sheil, B. (ed.) (2005), *Design Through Making*, AD – Architectural Design, vol. 75, no. 4.
- Sheil, B. (ed.) (2008), *Protoarchitecture. Analogue and Digital Hybrids*, AD – Architectural Design, vol. 78, no. 4.

Silver, M. (ed.) (2006), *Programming Cultures: Art and Architecture in the Age of Software*, AD – Architectural Design, no. 182.

Monografie italiane sui temi del digitale nel progetto di architettura

AA.VV. (2021), *Links | Physical, Virtual, Digital*, Agathòn, vol. 10 [Special Issue].

AA.VV. (2005), *L'impronta digitale*, Spazio ricerca, a. III, no. 6 [Special Issue].

Belibani, R. & Panuzzi, S. (eds.) (2011), *E-learning for architecture*, Roma: Gangemi.

Coppola, M. (2016), *Architettura PostDecostruttivista (Vol. 1): La linea della complessità*, Monza: Deleyva Editore.

Coppola, M. (2017), *Architettura PostDecostruttivista Vol. 2: La maniera biomimetica*, Monza: Deleyva Editore.

Corbellini, G. & Morassi, C. (2013), *Parametrico Nostrano*, Siracusa: LetteraVentidue.

Del Vescovo, C. (2001), *Il paesaggio dell'informazione. Architettura, Città e tecnologie della comunicazione*, Roma : Diagonale.

Ermolli, S. R. (2020), *The Digital Culture of Architecture. Note sul cambiamento cognitivo e tecnico tra continuità e rottura*, Santarcangelo di Romagna: Maggioli

Lucente, R. & Belibani, R. (eds.) (2021), *Frontiere Digitali*, Metamorfosi. Quaderni di Architettura, no. 9/10 [Special Issue].

Muntoni, A. (2005), *Architettura nell'era elettronica*, Roma: Mancosu.

Sacchi, L. & Unali, M. (eds.) (2003), *Architettura e cultura digitale*, Milano: Skira.

Saggio, A. (2007), *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Roma: Carocci.

Saggio, A. (ed.) (2011), *Architettura & Information Technology*, Roma: M. E. Architectural Book and Review

Soddu, C. & Colabella, E. (eds.) (1992), *Il progetto ambientale di morfogenesi. Codici genetici dell'artificiale*, Bologna: Progetto Leonardo.

Unali, M. (ed.) (2006), *Lo spazio digitale dell'architettura italiana. Idee, ricerche, scuola, mappa*, Roma: Edizioni Kappa.

Tutte le monografie della collana "La rivoluzione informatica in architettura", curata da Antonino Saggio. In particolare, per i temi trattati da questa tesi:

Barzon, F. (2003), *La carta di Zurigo. Eisenman, De Kerckhove, Saggio*, Torino: Testo & Immagine.

De Kerckhove, D. (2001), *L'architettura dell'intelligenza*, Torino: Testo & Immagine.

De Luca, F. & Nardini, M. (2003), *Dietro le quinte. Tecniche di avanguardia nella progettazione contemporanea*, Torino: Testo & Immagine.

Griffa, C. (2012), *Smart Creatures. Progettazione parametrica per architetture sostenibili*, Roma: EdilStampa.

Marotta, A. & Ruotolo, P. (2006), *Arie italiane. Motivi dell'architettura italiana recente*, Roma: EdilStampa.

Martegani, P. & Montenegro, R. (2001), *Design Digitale. Nuove frontiere degli oggetti*, Torino: Testo & Immagine.

Pongratz, C. & Perbellini, M. R. (2000), *Nati con il computer. Giovani architetti americani*, Torino: Testo & Immagine.

Prestinenza Puglisi, L. (1998), *HyperArchitecture. Spazi nell'età elettronica*, Torino: Testo & Immagine.

Ratti, C. (2014), *Architettura Open Source. Verso una progettazione aperta*, Torino: Einaudi.

Schmitt, G. (1998), *Information Architecture. Basi e Futuro del CAAD*, Torino: Testo & Immagine.

Watanabe, M. S. (2004), *Induction Design. Un metodo per una progettazione evolutiva*, Torino: Testo & Immagine.

Tesi di dottorato:

Baldissara, M. (2018), *Biomimetica degli spazi. Sperimentazioni digitali di processi biologici in architettura*, Università di Roma La Sapienza [Tesi di Dottorato] [Online].
<http://www.arc1.uniroma1.it/dottoratocomposizionearchitettonica/Dissertazioni/30BaldissaraMatteoBiomimeticaDegliSpazi.pdf> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Bashar, S. (2017), *Fractal Socio-Morphological Evolutionary Technique for Filling Urban Gaps in 3D Models. Applied in Aleppo and Cosenza*, Università della Calabria [Tesi di Dottorato]

Bregasi, L. (2016), *Proprietà Emergenti come Strumento per la Gestione della Complessità in Architettura Simulatori e Generatori per la Guida di Progetti Autoregolati*, Università di Roma la Sapienza [Tesi di Dottorato] [Online].
http://www.arc1.uniroma1.it/dottoratocomposizionearchitettonica/Dissertazioni/27BregasiLedian_ProprietaEmergentiComeStrumentoPerLaGestioneDellaComplessita.pdf (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Chirianni, C. (2020), *La grammatica del progetto: Shape Grammar come strumento critico per la progettazione architettonica*, Università degli Studi di Napoli "Federico II" [Tesi di Dottorato] [Online].
<http://www.fedoa.unina.it/13278/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

Coppola, M. (2014), *Architettura Post-Decostruttivista: Zaha Hadid e le nuove generazioni, dai campi di continuità alla biomimesi parametrica*, Università degli Studi di Napoli "Federico II" [Tesi di Dottorato] [Online].
<http://www.fedoa.unina.it/9634/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

De Luca, F. (2006), *Modelli architettonici - Dagli strumenti della progettazione alla progettazione degli strumenti. Il modello come strumento progettuale in ambito digitale informatico*, Università di Roma la Sapienza [Tesi di Dottorato] [Online]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3486.1681> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Marena, R. (2009), *Computer e Architettura. Oltre le linee* [Tesi di Dottorato] [Online].
<http://www.fedoa.unina.it/3965/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

Mendez Echenagucia, T. I. (2014), *Computational Search in Architectural Design*, Politecnico di Torino [Tesi di Dottorato] [Online]. <https://iris.polito.it/handle/11583/2543137> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Rosada, A. (2014), *Architettura Open Source*, Politecnico di Torino [Tesi di Dottorato] [Online].
<https://iris.polito.it/handle/11583/2541090> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Salkini, H. (2018), *Evolving bioclimatic approach for designing responsive courtyard house in Aleppo post-war*, Università della Calabria [Tesi di dottorato].

Sica, O. (2016), *Strumenti informatici nel processo di elaborazione della progettazione ambientale integrata*, Università degli Studi di Napoli "Federico II" [Tesi di Dottorato] [Online].
<http://www.fedoa.unina.it/11033/1/Tesi%20Dottorato%20Orlando%20Sica.pdf> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

Strumenti e tecniche parametriche e computazionali

Burroughs, M. (2011), *Scripting Cultures - Architectural design and programming*, Chichester: John Wiley & Sons

Aranda, B. & Lasch, C. (2006), *Tooling*, New York: Princeton Architectural Press.

Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (eds.) (2014), *Shell structures for architecture - form finding and optimization*, Oxon: Routledge.

Frazer, J. (1995). *An evolutionary Architecture*. London: Architectural Association.

Woodbury, R. (2010), *Elements of parametric design*, New York: Routledge

Esempi storici e/o storicizzati

Computer Arts Society. (1969). *Event One Catalogue* [Online]. <https://computer-arts-society.com/event-one> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Eastman, C. (1976), General purpose building description systems, *Computer-Aided Design*, vol. 8, no. 1, pp. 17-26.

Fetter, W. (1964), *Architecture and the Computer: Proceedings. First Boston Architectural Center Conference* (pp. 34-36), Boston: Boston Architectural College.

Migayrou, F. (2018), *Coder le monde | Exhibition catalogue*, Paris: Centre Pompidou Editions HYX.

Mitchell, W. J. (1977), *Computer-Aided Architectural Design*, Newyork: Petrocelli/Charter.

Mitchell, W. J. (1990), *The logic of architecture. Design, Computation and Cognition*, Cambridge: MIT Press

Negroponte, N. (1970), *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment*, Cambridge: MIT Press.

Negroponte, N. (1976), *Soft Architecture Machines*, Cambridge: MIT Press.

Sutherland, I. E. (1963), *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology [Tesi di dottorato] [Online]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/14979> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Tesi di dottorato:

Bravo Martines, M. (2015), *Lógicas paramétricas en la arquitectura del siglo xx*, Barcellona: Universidad Politécnica de Cataluña [Tesi di Dottorato] [Online]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/386394> (Ultima consultazione: 23 gennaio 2023).

Davis, D. (2013), *Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture*, Melbourne: RMIT University, p. 15. [Tesi di dottorato] [Online]. <https://www.danieldavis.com/thesis/> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022).

Gerber D. J. (2007), *Parametric Practices. Models for Design Exploration in Architecture*, Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, p. 125 [Tesi di dottorato] [Online]. https://www.researchgate.net/publication/279289656_Parametric_Practices_Models_for_Design_Exploration_in_Architecture (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Globa, A. (2015), *Supporting the use of algorithmic design in architecture. An empirical study of reuse of design knowledge*, Victoria University of Wellington [Tesi di dottorato] [Online]. <http://researcharchive.vuw.ac.nz/handle/10063/4391> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Rhudson, R. (2010), *Strategies for Parametric Design in Architecture: An Application of Practice Led Research*, Bath: University of Bath, p. 18. [Tesi di dottorato] [Online]. <https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/strategies-for-parametric-design-in-architecture-an-application-o> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Shelden, R. D. (2002), *Digital Surface Representation and the Constructibility of Gehry's Architecture*, Massachusetts Institute of Technology [Tesi di dottorato] [Online]. http://papers.cumincad.org/data/works/att/drs_thesis_0902.content.pdf (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Steenson, M. W., *Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, And Nicholas Negroponte & MIT's Architecture Machine Group*, Princeton University [Tesi di Dottorato] [Online]. <https://dataspace.princeton.edu/handle/88435/dsp01pn89d6733> (Ultima consultazione: 11 dicembre 2022)

Manualistica di strumenti di progettazione parametrica

Autodesk (2019), *The Dynamo Primer* [Online]. <https://primer.dynamobim.org/> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

Cocchi, S. (2016), *Generative Components User Manual* [Online]. https://communities.bentley.com/products/products_generativecomponents/m/generative_components-files/272261 (Accssed 08 dicembre 2022)

Gehry Technologies (2009), *Digital Project Quick Start Guide* [Online]. https://www.digitalproject3d.com/downloads/Digital_Project_v1r4_quick_start_guide.pdf (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

Issa, R. (2013), *Essential Mathematics for Computational Design* [Online]. <https://www.rhino3d.com/download/rhino/6/essentialmathematics> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2012)

Issa, R. (2020), *Essential Algorithms and Data Structures for Computational Design in Grasshopper* [Online]. <https://www.rhino3d.com/download/rhino/6.0/essential-algorithms> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

Jabi, W. (2013), *Parametric Design for Architecture*, Londra: Laurence King Publishing

Khabazi, Z. (2012), *Generative Algorithms using grasshopper* [Online]. https://issuu.com/pabloherrera/docs/generative_algorithms_f07be9052a219d (Ultima consultazione: 10 dicembre 2022)

Ladybug Tools LLC, *Ladybug Primer* [Online]. <https://docs.ladybug.tools/ladybug-primer/> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

Lobe, G. & Tam, M. (2022), *Karamba3D 2.2.0 Manual* [Online]. <https://manual.karamba3d.com/> (Ultima consultazione: 08 december 2022).

Makki, M., Showkatbakhsh, M. & Song, Y. (2019), *Wallacei Primer 2.0* [Online]. <https://www.wallacei.com> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

MODELAB (2015), *Grasshopper Primer* [Online]. <http://grasshopperprimer.com/en/index.html> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

Nemetschek (2022), *Visual scripting with Marionette* [Online]. https://app-help.vectorworks.net/2021/eng/index.htm#t=VW2021_Guide%2FMarionette%2FVisual_scripting_with_Marionette.htm%23XREF_29424_Visual_Scripting (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022)

Tang, M. (2014), *Parametric Building Using Design Autodesk Maya*, New York: Routledge

Tedeschi, A. (2010), *Architettura Parametrica. Introduzione a Grasshopper*, Brienza: Le Penseur.

Tedeschi, A. (2014), *AAD Algorithms-Aided Design, Parametric Strategies using Grasshopper*, Brienza: Le Penseur.

Tibbits, S., Van Der Harten, A. & Baer, S. (2011), *Python 101 for Rhinoceros 5* [Online]. <https://developer.rhino3d.com/guides/rhinopython/> (Ultima consultazione: 08 dicembre 2022).

Index e principali società scientifiche in ambito CAAD

Index cumulativo CumInCAD: <http://papers.cumincad.org>

CAAD Futures Foundation: <http://www.caadfutures.org>

eCAADe [Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe]: <http://ecaade.org>

SIGraDi [Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital]: <https://www.sigradi.org>

ACADIA [*Association for Computer-Aided Design in Architecture*]: <http://acadia.org>

ASCAAD [*Arab Society for Computer Aided Architectural Design*]: <https://www.ascaad.org>

CAADRIA [*Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*]: <https://caadria.org>

SimAUD [*Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*]: <https://www.simaud.org>

Tutte le immagini contenute nel Fondo Luigi Moretti sono di proprietà dell'Archivio Centrale dello Stato Italiano e sono pubblicate su concessione del Ministero della Cultura.