

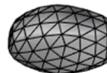
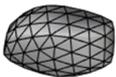
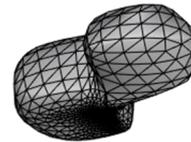
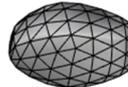
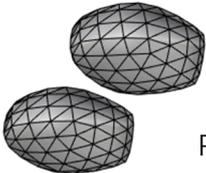
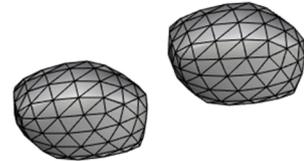
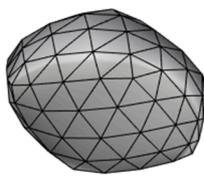
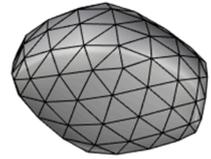
Il Gioco della Natura

Potenzialità
morfogenetiche dei
Sistemi Complessi
combinati agli
Algoritmi Euristicici
in ambiente parametrico

Candidato
Pierpaolo Urru

Relatore
Michele Bonino

Correlatrice
Marianna Nigra



POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Architettura

Tesi di Laurea Magistrale Architettura Costruzione e Città



Il Gioco della Natura.

Potenzialità morfogenetiche dei
Sistemi Complessi combinati agli
Algoritmi Euristicici in ambiente parametrico

Relatore:

Michele Bonino

Correlatore:

Marianna Nigra

Candidato:

Pierpaolo Urru

INTRODUZIONE	8
LETTERATURA	11
01	
SISTEMI COMPLESSI	
I Sistemi Complessi 1.0	16
I Sistemi Complessi in Architettura 1.1	24
L'Architettura Liquida 1.2	26
02	
AUTOMI CELLULARI	
Automati Cellulari 2.0	34
Gli Automati Cellulari in Architettura 2.1	40
03	
ALGORITMI GENETICI	
Algoritmi Genetici 3.0	48
Risolutori Genetici 3.1	54
Galapagos	54
Embryo	57
04	
FATTORE UMANO+AUTORIALITÀ	
Fattore umano + Autorialità 4.0	64
05	
METODO	
Metodo 5.0	76
Il Concorso 5.1	77
Shougang 5.2	80
Il Progetto 5.3	82
DISCUSSIONI+CONCULSIONI	
Discussioni	94
Conclusioni	96
BIBLIOGRAFIA	98

IN DI CE

IN TRO DU ZIO NE

L'avanzamento tecnologico e il dinamismo sociale del quale siamo oggi spettatori, risuonano in Architettura e sono il pretesto per avanzare delle proposte alternative nel metodo. Questo lavoro di tesi in particolare si occupa precipuamente di testare l'applicazione dei sistemi complessi in ambiente parametrico, al fine di assistere il design architettonico. Se è vero che il ruolo dell'Architetto sia quello di interpretare ciò che accade nel mondo e tradurlo in elementi architettonici, ci si domanda se il metodo tradizionale possa adempiere completamente a tale funzione. Appare sensato mettere in discussione la pratica corrente e andare a ricercare alternative e mezzi più idonei per sopperire alla limitatezza delle capacità umane, le quali non possono indagare in modo esaustivo la complessità che caratterizza la realtà in cui viviamo. Questa è infatti descrivibile da una mole di variabili tale da rendere necessario un approccio capace di incamerarle, processarle e tradurle in entità gestibili dal designer, al fine di ottenere un prodotto che sia veramente l'esito del proprio tempo.

Per queste ragioni si è scelto di operare in ambiente parametrico che per sua stessa natura necessita di una serie di dati che ne costituiscono la definizione primaria ma al contempo, essendo editabili in qualsiasi momento del processo, sono in grado di modificarne sensibilmente l'output in modo dinamico, fattore che caratterizza per l'appunto le variabili reali. Questa attitudine al cambiamento, l'editabilità e la notevole flessibilità costituiscono i presupposti principali per poter applicare, come detto, i principi che regolano i sistemi complessi.

Come si avrà modo di vedere, pur non potendo prevedere l'effettivo comportamento di tali sistemi,

il loro funzionamento è descrivibile da regole tutto sommato semplici che, nel nostro caso, confluiranno in un'unica definizione parametrica: l'algoritmo. L'ambiente parametrico a cui si fa riferimento è Grasshopper per Rhinoceros. Questo software utilizza un sistema detto Direct Acyclic Graph (dag)[1] (grafo aciclico diretto) con il quale l'utente è in grado di costruire l'algoritmo per pervenire ad entità geometriche che vengono in questo modo definite matematicamente e quindi facilmente manipolabili attraverso mirate alterazioni dei parametri che le controllano.

Utilizzando questo metodo l'attenzione del designer è rivolta non tanto all'output, che comunque rimane l'obiettivo finale di maggior interesse pratico, ma alla costruzione del processo necessario per il suo raggiungimento. L'ambiente parametrico costituisce pertanto una tela nella quale vengono messe in relazione delle azioni (component) costituite ciascuna da input e output, ovvero richiedono qualcosa per il funzionamento (punti, linee, superfici, solidi, definizioni matematiche, serie di numeri ecc.), agiscono su di esso e ne influenzano il risultato. Tali azioni pertanto determinano una modifica che il designer deve gestire. Di fatto la loro successione logica non è altro che la trasposizione in algoritmo dell'idea dell'Architetto, autore del processo morfogenetico della forma. Questo è in grado di prendere in considerazione, fino dai primi passi per la sua creazione, una grande quantità di informazioni, siano esse geometriche, economiche, fisiche, di ottimizzazione etc. Inoltre alterandone i parametri è possibile valutare una quantità di alternative difficilmente raggiungibili attraverso i metodi tradizionali. Il modello può essere valutato non soltanto sotto l'aspetto qualitativo ma anche quantitativo, in

tempo reale. L'utilizzo di tali metodologie fin dalle prime fasi di concept, permette quindi di valutare di volta in volta, la rispondenza del modello a determinati criteri, rendendo possibili modifiche volte al raggiungimento degli standard predefiniti, oltre che permettere eventuali implementazioni di informazioni o dati reperiti a lavoro inoltrato.

Il focus di questa tesi sono perciò le procedure esplicitate sotto forma di algoritmo. In particolare si è voluto indagare i processi morfogenetici instaurando un'analogia con la natura. Per questo motivo è stato necessario comprendere il funzionamento dei sistemi complessi e le logiche con le quali essi si strutturano. Gli organismi rientrano a tutti gli effetti in questa categoria, e la loro formazione è soggetta pertanto alle medesime regole. Si è voluto quindi trasporre tali logiche in architettura, volendo generare in altre parole, una forma che si sviluppasse in accordo alle leggi della natura che permettono agli organismi di crescere. A tal proposito si è ricorso all'utilizzo degli automi cellulari, che per le loro caratteristiche rientrano nei sistemi complessi, riproducendo per l'appunto con buona approssimazione la dinamica dei fenomeni naturali.

L'automa va considerato come un insieme di elementi la cui esistenza è strettamente dipendente da quella degli altri. La minima variazione delle condizioni alle quali è soggetto l'automa, si ripercuote sensibilmente sul risultato finale. La traduzione dell'output ottenuto in elementi architettonici, come stanze, spazi privati, pubblici, chiusi o aperti, necessita di un certo grado di astrazione e poi elaborazione. Infatti il risultato dell'automa altro non è che una serie di cellule, o punti, centroidi e così via. Il fattore interpretativo è il ponte tra l'entità matematica e il

manufatto architettonico da raggiungere. Potrebbe essere utile concepire l'automa come un sistema modulare. Il modulo infatti, è costituito tipicamente da entità geometriche ripetute nello spazio alle quali vengono poi destinate le diverse funzioni di un edificio. Nell'automa viene a mancare il grado di arbitrarietà che caratterizza i sistemi modulari comuni. Infatti in un automa cellulare, l'esistenza o meno del modulo è dovuta esclusivamente all'esistenza degli altri. Tuttavia il risultato ottenuto gode di un notevole grado di coerenza tra le sue parti, pur mantenendo una elevata complessità nella sua struttura. Ogni elemento, dipendendo dagli altri, è intrinsecamente legittimo, ed è per questo che si ritiene possano essere accostati alle morfologie naturali.

Quest'ultime seppur complesse, aggregate tra loro sono in grado di costituire con grande coerenza un ordine superiore, naturale appunto, difficilmente discutibile.

L'utilizzo degli automi permette di pervenire ad una vasta quantità di pattern prodotti in modo automatico e di poter scegliere quello maggiormente rispondente alle esigenze di progetto.

In questa sede viene proposto un metodo di generazione degli automi ibridato con sistemi euristici. Viene quindi introdotto in ambiente virtuale il concetto dell'evoluzione. Il fine è quello di riprodurre i processi morfogenetici naturali, soggetti ad una costante pressione evolutiva volta al raggiungimento di soluzioni via via più performanti in base alle condizioni alle quali si fa riferimento. Pertanto le definizioni parametriche dell'automa sono state considerate come il genoma da far evolvere fino al raggiungimento di un valore di target predefinito. Questo grazie all'utilizzo di risolutori genetici euri-

stici che applicano le logiche evolutive darwiniane a popolazioni di geni, ai quali viene associato un parametro di fitness che regola le operazioni di selezione, riproduzione e mutazione al fine di giungere alla soluzione che approssimi la migliore possibile, nel nostro caso il target, minimizzandola o massimizzandola.

Tali metodologie sono state inoltre testate in un progetto architettonico. Si è fatto riferimento dunque al concorso internazionale per studenti per la progettazione architettonica indetto nel 2018 dal UIA (Union International des Architectes), il quale richiedeva la creazione di circa 1000 moduli abitativi per comunità da costruire in una città cinese di prima o seconda categoria. Questo concorso rappresenta il banco di prova ottimale per testare la metodologia proposta in questa tesi, in quanto gli automi cellulari ben rispondono alla task richiesta, essendo particolarmente adatti in quelle situazioni nelle quali sia richiesto di ripetere un modulo n volte trovando altresì dei pattern complessi e sempre diversi che ne migliorano le caratteristiche estetiche e quindi le potenzialità di godimento che richiede la funzione residenziale. I 1000 moduli rappresentano per il nostro intento il target da raggiungere nell'evoluzione dell'automa. La grande varietà di soluzioni ottenibili è il grande punto a favore di tale metodologia, che permette di valutare diverse soluzioni e di scegliere quella che si adatti maggiormente all'obiettivo desiderato, giustificando il tempo speso nella fase di explicitazione della procedura per ottenerla.

NOTE

[1] John E. Harding, *Meta-Parametric Design*, Elsevier, 2016

LET

TE

RA

TU

RA

I sistemi complessi costituiscono il substrato su cui si poggia l'intero lavoro di tesi. E' stato di fondamentale importanza il contributo offerto dalla pubblicazione di Alberto Gandolfi [1], il quale espone le caratteristiche generali che accomunano i sistemi complessi, seppur eterogenei, descrivendone la composizione, il comportamento e la loro evoluzione; questi pur riferendosi a campi estremamente differenti, dalla storia alla citologia, dai terremoti ai termitai, sembrano sottostare ad una struttura comune che permette di generalizzarne il comportamento globale. E' stato così possibile, attraverso un'astrazione a partire dagli esempi estremamente lontani dal campo della progettazione, capirne i meccanismi di funzionamento derivandone considerazioni applicabili al campo dell'Architettura, fine ultimo di questo lavoro.

Leonard R. Bachman [2] a tal proposito si è occupato di colmare il vuoto presente nella letteratura, andando a ricercare i diversi tipi di complessità cui si deve far fronte in Architettura arrivando a distinguere e descriverne in modo puntuale in particolare quattro, la complessità malvagia, disordinata, ordinata e naturale. Tale pubblicazione ha confermato il fatto che abbia senso riportare in discussione le teorie sui sistemi complessi, i quali si è dimostrato interessino il mondo dell'Architettura.

Per poter applicare i principi che reggono questa categoria di sistemi in campo architettonico è stato scelto di operare in ambito parametrico e di approfondirne pertanto teorie che interessano le metodologie coinvolte oltre agli aspetti più pratici per poter utilizzare i software necessari.

Si è fatto riferimento in primo luogo a Parametrici-

sm 2.0 [2bis], pubblicazione curata da Patrik Schumacher, nella quale viene analizzato lo stato dell'arte avvalorato da interventi di diversi esponenti di spicco nel campo dell'architettura parametrica. L'intento di Schumacher è quello di dettare l'agenda, compiere per così dire il passo successivo. Se fino ad ora infatti l'architettura parametrica ha avuto come fine la sperimentazione sulla forma, portata all'estremo, ora è necessario investirla di un significato più ampio. Nella pratica si tratta di associare alle geometrie una serie di attributi, informazioni che possono essere parametrici fisici, dati climatici, misurazioni o ancora input esterni espressi dagli utenti nell'architettura partecipativa. In questo modo potranno totalmente esprimersi le potenzialità offerte dal parametricismo; questo infatti ha tra i maggiori pregi quello di poter prendere in considerazione una moltitudine di fattori. Ciò renderebbe il parametricismo estremamente più flessibile rispetto agli altri movimenti in architettura, tipicamente quello razionalista.

La traduzione dei principi teorici deve obbligatoriamente passare attraverso dei software. Per questo lavoro è stato scelto di utilizzare Grasshopper in Rhinoceros e ed è stato necessario riferirsi ad Algorithms Aided Design [3bis] di Arturo Tedeschi, libro diventato punto di riferimento globale per la progettazione algoritmica, nonché best seller nella propria categoria. Il libro contiene le basi metodologiche per poter affrontare un progetto in ambiente parametrico attraverso l'utilizzo del vpl (visual programming language), il quale permette di creare un algoritmo mettendo in successione logica dei componenti in modo visuale, non necessitando pertanto competenze informatiche approfondite.

Affidarsi ad una pubblicazione di questo tipo è un passaggio obbligato, in quanto tali metodologie si scostano sensibilmente da quelle di disegno tradizionale. Un algoritmo infatti funziona se le intenzioni del designer siano totalmente espresse e messe in una successione logica ordinata e sensata; ciò presuppone una strutturazione del pensiero codificato in step elementari, assente nel metodo di disegno tradizionale, nel quale si instaura un rapporto diretto tra idea e risultato ottenuto.

Così facendo è stato possibile applicare i principi degli automi cellulari in ambito architettonico, i quali godono di numerose pubblicazioni, più o meno recenti, che ne descrivono minuziosamente le caratteristiche matematico-fenotipiche. Tra le varie pubblicazioni si è fatto riferimento al lavoro di John Von Neumann [3], tra i primi teorizzatori degli automi cellulari, al quale va attribuito altresì il merito di aver intuito che potessero replicare in modo soddisfacente una grande varietà di fenomeni naturali; sono state pressione inoltre le pubblicazioni di Stephen Wolfram [4] e Christopher G. Langton [5] ai quali si deve la trattazione delle classi di automi e dell'auto riproduzione degli automi cellulari.

L'utilizzo degli automi cellulari nel progetto di architettura non è certamente cosa nuova, è stato perciò necessario definire lo stato dell'arte il quale gode purtroppo di limitate pubblicazioni sull'argomento. Christiane M. Herr e Ryan C. Ford [6] hanno pubblicato un articolo che ha lo scopo di porre a sistema i vari esperimenti svolti con gli automi cellulari in ambito architettonico, mettendo in evidenza punti di convergenza o eventuali implementazioni. Tra questi meritano di essere citati per completezza e

dovizia nella trattazione quelli di Robert J. Krawczyk [7] [8]; egli ha descritto una serie di esperimenti ottenuti mediante puntuali variazioni al contorno apportate agli automi, allegando una serie di immagini utili a comprendere in modo immediato gli effettivi risultati.

John Frazer in *An evolutionary Architecture* [8bis] espone i risultati ottenuti in 30 anni di carriera ed è da considerarsi una delle principali fonti di ispirazione per il lavoro di tesi che viene proposto in questa sede. Frazer da una panoramica dei processi morfogenetici che traggono ispirazione dalla natura, offrendo diversi esempi di sperimentazioni che potremmo definire pionieristiche in questo campo.

Questo lavoro come detto ha lo scopo di emulare i principi morfogenetici alla base dei sistemi naturali, a tal fine è stato particolarmente prezioso il contributo di *Biomimetics in Architecture* di Petra Grube [8tris]. Qui vengono descritti una vasta quantità di esempi di elementi naturali, che reggono il funzionamento di organismi anche alla scala microscopica, tradotti in elementi architettonici in larga scala. Non solo, vengono altresì descritti diversi processi morfogenetici e di crescita naturali che ricoprono elevato interesse per i fini di questo lavoro.

Volendo riprodurre le dinamiche evolutive in ambito virtuale è stato necessario riferirsi ad una letteratura mirata, in particolare le pubblicazioni di David Rutten [9]-[14] circa il funzionamento degli algoritmi genetici, nello specifico in *Grasshopper*. Inoltre per cercare di implementare tali metodologie con innesti metaparametrici ci si è riferiti al lavoro

di John E. Harding [15], sviluppatore dei plug-in *Embryo* e *Biomorpher* per *Grasshopper*.

Infine sembrava doveroso porre l'accento sul fattore umano ed autoriale, analizzandone le caratteristiche e domandandosi in quale misura incidessero all'interno del processo creativo di design e soprattutto, sotto la lente del parametricismo, all'interno della progettazione algoritmica automatizzata. A tal proposito è stata fondamentale l'intervento di Manfredo Nicolis di *Robulant* [16] all'interno del ciclo di conferenze "Architecture: Conjectures and Refutations" organizzato dal Politecnico di Torino nel 2018, nel quale ha analizzato il tema dell'autorialità in architettura, avanzando come esempio diverse campagne pubblicitarie del 900 nelle quali l'architetto veniva eclissato in favore degli elementi tecnologici o prefabbricati e del loro valore prestazionale. Questo è stato il pretesto dal quale sono sorte diverse congetture che hanno portato a dei parallelismi con la progettazione parametrica, la quale spesso viene tacciata di spersonalizzare il prodotto finale e non incamerare a dovere l'apporto creativo umano. A loro volta tali considerazioni sono state motivo di un ulteriore parallelismo instaurato con il lavoro di *Libbeus Woods*, esposto anch'esso durante una conferenza tenuta da *Per-Johan Dalh* [17], curatore di una mostra dedicata proprio al lavoro dell'architetto. *Woods* infatti utilizzava il disegno come mezzo espressivo e creativo, e questo essendo un metodo diretto riflette in modo immediato le intenzioni dell'autore, le quali possono essere percepite anche esternamente, a differenza di tanto accade con il metodo parametrico.

NOTE

[1] Alberto Gandolfi, Formicai, Imperi, Cervelli; introduzione alla scienza della complessità; Torino: Bollati Boringhieri, 2008

[2] Leonard R. Bachman, Architecture and the four encounters with complexity, in Halim Boussabaine, Architectural Engineering and Design Management; London : Earthscan, 2008, pp. 15-30

[2bis] Patrik Schumacher (a cura di), Parametricism 2.0; Wiley, 2016

[3] John von Neumann, A.W. Burks, The Theory of Self-Reproducing Automata; USA: Univ. of Illinois Press, 1966

[3bis] Arturo Tedeschi, AAD_Algorithms Aided Design; Brienza: Le Penseur Publisher, 2014

[4] Stephen Wolfram, Cellular automata and complexity : collected papers; Addison-Wesley, 1994

[5] Christopher G. Langton, Self-reproduction in cellular automata; Amsterdam: Elsevier

[6] Christiane M. Herr, Ryan C. Ford, Cellular automata in architectural design: From generic systems to specific design tools; Elsevier, 2016

[7] Robert J.Krawczyk, Architectural Interpretation of Cellular Automata; 2002

[8] Robert J.Krawczyk, Exploring the Massing of Growth in Cellular Automata; 2003

[8bis] John Frazer, An evolutionary architecture; London : Architectural Association, 1995

Stephen Wolfram, Cellular automata and complexity : collected papers; Addison-Wesley, 1994

[8tris] Petra Gruber, Biomimetics in architecture : architecture of life and buildings; Berlin : Springer, 2011

[9] David Rutten, Evolutionary Solvers: Selection, Wordpress, <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/selection-mechanisms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)

[10] David Rutten, Evolutionary Solvers: Fitness Functions, Wordpress, < [https://ieatbugsforbreakfast.](https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/fitness-functions/)

[wordpress.com/2011/03/04/fitness-functions/](https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/fitness-functions/) > (consultato il 10 Luglio 2018)

[11] David Rutten, Evolutionary Principles applied to Problem Solving, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/> > (consultato il 10 Luglio 2018)

[12] David Rutten, Evolutionary Solvers: Coupling, Wordpress, <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/coupling-algorithms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)

[13] David Rutten, Evolutionary Solver: Coalescence, Wordpress, <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/05/evolutionary-solver-coalescence-algorithms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)

[14] David Rutten, Evolutionary Solver: Mutations, Wordpress, <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/05/evolutionary-solver-mutations/>> (consultato il 10 Luglio 2018)

Genetic algorithms for feature selection in Data Analytics, neuraldesigner, <https://www.neuraldesigner.com/blog/genetic_algorithms_for_feature_selection> (consultato il 11 Luglio 2018)

[15] John E. Harding, Meta-Parametric Design, Elsevier, 2016

[16] Manfredo Nicolis di Robulant, Elemental permanence, or the indifference of modern Architecture. A research project on Authorship and contemporary Architecture; ciclo di conferenze, serie: Architecture: Conjectures and Refutations, Politecnico di Torino, 2018.

[17] Per-Johan Dalh, 30 boards, rediscovering Libbeus Wood's Exhibition in Oneonta; ciclo di conferenze, serie: Architecture: Conjectures and Refutations, Politecnico di Torino, 2018

01

SISTEMI COMPLESSI

La teoria dei sistemi complessi interessa una grande varietà di fenomeni naturali tra loro eterogenei, che incontriamo nella vita di tutti i giorni. Fanno parte di questa categoria tutti quei sistemi formati da una quantità di elementi tale da non rendere sufficiente una analisi individuale per spiegare il comportamento globale. La causa va ricercata nella quantità e nel tipo di legami tra gli elementi del sistema, i quali possono essere più o meno evidenti [0]. La quantità degli elementi e la natura intricata delle relazioni che mutano dinamicamente determinano il grado di complessità di un sistema. Per questo motivo il loro studio viene effettuato attraverso modelli matematici e simulazioni virtuali, nelle quali possono essere tenute in considerazione una molteplicità di variabili messe in relazione reciproca in modo simultaneo.

La maggior parte dei fenomeni naturali è descrivibile sotto la lente della teoria dei sistemi complessi; per questo, diversi filoni scientifici hanno iniziato ad occuparsi di sistemi complessi, soprattutto quelli in cui sia necessaria una comprensione olistica. Tra questi ritroviamo anche l'Ingegneria e l'Architettura, soprattutto nel campo gestionale e nelle sperimentazioni formali.

Questo lavoro ha lo scopo di applicare i sistemi complessi in un progetto per sfruttare l'emergenza di pattern autoprodotti di cui si vuole sfruttare il potenziale architettonico.

Il primo step metodologico da compiere per addentrarsi nello studio dei sistemi complessi (SC) - e come vedremo, sarà una pratica da ripetere più volte lungo l'intero lavoro di tesi per la comprensione di fenomeni di varia natura - consiste nell'individuazione delle sue componenti e le caratteristiche elementari per giungere ad una comprensione olistica. E' infatti utile capire in primo luogo cosa siano i sistemi e derivare da qui delle considerazioni che



permettano di definire la particolare categoria di quelli cosiddetti complessi [1].

Banalmente potremmo dire che un sistema rappresenta un'entità organica composta da n elementi differenti, caratterizzati da una certa organizzazione. E' importante dire che il comportamento globale del sistema è differente da quello delle singole parti che lo compongono (olismo).

Di qui in avanti faremo riferimento a quelli che ven-



1. I SISTEMI COMPLESSI

gono definiti sistemi aperti, ovvero quella categoria di sistemi in grado di comunicare con l'ambiente circostante, instaurando con questo una serie di scambi di materia, energie e informazioni.

Caratteristica fondamentale di questi sistemi è il fatto che abbiano la capacità di evolversi e di adattarsi, si parlerà a tal proposito di sistemi complessi adattivi (SCA), definiti come sistemi aperti costituiti da vari elementi aventi interazioni reciproche non

lineari e costituenti un'entità unica, organizzata e dinamica. Da notare che tali sistemi richiedono un flusso costante e continuo di energia scambiata con l'ambiente circostante.

Questo tipo di sistemi, dotati di una certa dinamicità e aventi come peculiarità una spiccata sensibilità, sono del tipo non lineare; facendo riferimento ad una variazione regolare degli input immessi nel sistema, l'output può avere un andamento non linea-

re o caratterizzato da una certa irregolarità o ancora non retto da un principio di proporzionalità rispetto alla variazione impressa.

L'organizzazione dei processi che si instaurano all'interno di tali sistemi non è in linea ma a rete o sequenziale. L'input può rientrare nella sequenza del processo che può essere influenzato da diversi input. Tale proprietà viene detta retroazione del feedback.

Una proprietà comune ai sistemi del tipo complesso è la loro organizzazione in gerarchie sistemiche, ovvero la composizione in sub-sistemi. La riorganizzazione avviene in modo continuo ed è strettamente dipendente dalle interazioni che vengono ad instaurarsi tra gli elementi del sistema considerato. Il comportamento del singolo elemento è quindi il riflesso del comportamento degli altri, questo rende difficile individuarne uno specifico punto di indagine dal quale poter derivare le proprietà globali. La catena del feedback è detta pertanto autoreferenziale.

Nei sistemi complessi il nesso causale tra output ed input decade.

Nell'analisi di tali sistemi in generale è opportuno rilevare che ci si può imbattere in una rilevante incertezza circa i tempi entro cui alcune reazioni potranno evidenziarsi allo spettatore. Le funzioni e le strutture che ne regolano il comportamento globale cambiano in continuazione, questo in quanto il si-

stema è sottoposto ad una costante pressione evolutiva.

Questo tipo di sistemi aderiscono alla seconda legge della termodinamica secondo la quale all'interno di un sistema un sistema in grado di scambiare energia con l'ambiente, si avrà un incremento di disordine dei suoi elementi fino al raggiungimento dell'equilibrio termico, tale proprietà è detta entropia.

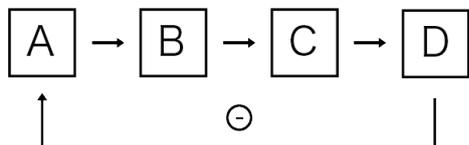
FEEDBACK

Nel paragrafo precedente si è fatto riferimento al concetto di feedback. In generale data una sequenza di processi, all'interno di un sistema complesso, uno può influenzare l'altro.

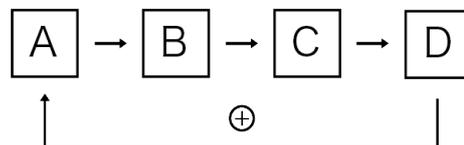
Ma che cos'è un feedback? In prima battuta è opportuno specificare che attraverso il feedback si formano dei cicli nel processo, in quanto gli output ritornano nella catena influenzando pertanto la loro stessa creazione. Il feedback può essere distinto in positivo e negativo.

- feedback negativo: esaminando la catena che esemplifica il processo di formazione dell'output, in questo tipo di feedback si nota che lo stesso output (D) inibisce o blocca l'inizio della catena. Si dice che l'output si autoinibisce perché la sua formazione determina un effetto negativo sulla sua stessa produzione. Tale inibizione è retta da un rapporto di

2

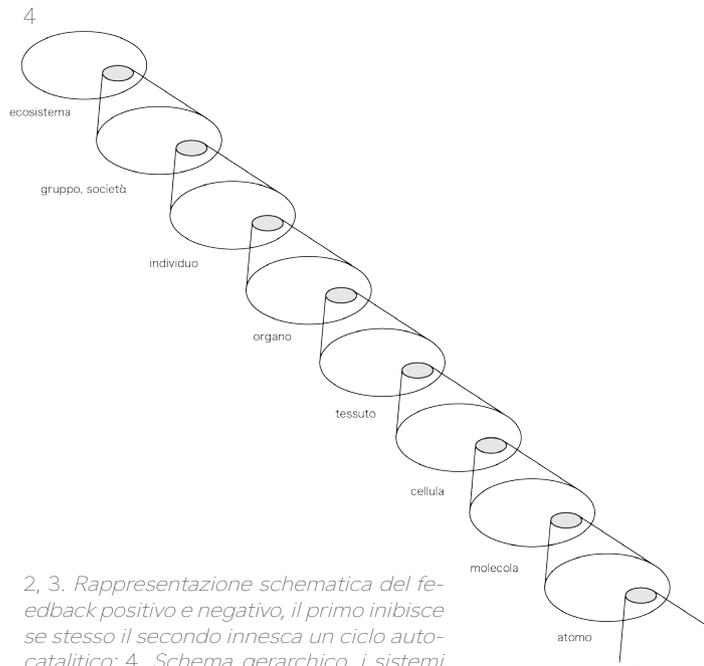


3



proporzionalità con la grandezza dell'output (D). Il feedback negativo svolge una funzione di regolazione in quanto in realtà stabilizza il sistema (fig.2).

- feedback positivo: in questo caso si dice che si assiste ad un ciclo di autocatalitico in quanto ogni evento del processo di formazione catalizza in modo indiretto o diretto se stesso. L'output che ne deriva favorisce e stimola il processo iniziale facendo aumentare la produzione di se stesso. Il comportamento in questo caso è di rafforzamento, verso l'alto o verso il basso, ovvero può aversi smorzamento fino a bloccarsi o produzione incontrollata fino all'autodistruzione (fig.3).



2, 3. Rappresentazione schematica del feedback positivo e negativo, il primo inibisce se stesso il secondo innesca un ciclo autocatalitico; 4. Schema gerarchico, i sistemi si autorganizzano aumentando la propria complessità verso l'alto.

Fonti: fig. 2, 3, 4. [1]

STRUTTURA

“ L'insieme è più della somma dei suoi elementi ”
Aristotele

Come si è detto una peculiarità dei sistemi complessi è quella di presentare al loro interno una organizzazione gerarchica la quale permette al sistema di avere un controllo dei vari elementi interagenti che lo costituiscono, i quali operano secondo una certa armonia e coordinazione.

Tali livelli sono soggetti a quello che Hermann Haken chiama principio di asservimento o di subordinazione secondo il quale gli elementi microscopici di un livello gerarchico inferiore una volta che costituiscano un sistema, risultano essere asserviti a quello superiore (fig.4.). In questo modo viene ridotta quella che si potrebbe definire libertà teorica degli elementi del sistema.

Va detto che volendo capire il funzionamento di un sistema complesso, non è necessario svolgere un'analisi dettagliata di tutti i sistemi gerarchici che lo costituiscono. A tal proposito è utile trattare i sistemi come delle black box dei quali ci interessano gli input e gli output.

E' per questo motivo che nello studio di un SC, sia più utile osservare e codificare le relazioni intercorrenti tra gli elementi piuttosto che la natura degli elementi stessi.

In un livello gerarchico superiore il comportamento è la risultante delle interazioni dei suoi componenti ma assume importanza primaria la dinamica globale del sistema.

Ma cosa regge la formazione dei diversi livelli gerarchici? lo studio di sistemi complessi di varia natura ha evidenziato il fatto che la formazione dei livelli

gerarchici avvenga spontaneamente, i vari livelli si autorganizzano. Più precisamente si può asserire che il risultato di questa tendenza ad autorganizzarsi sia la formazione di un nuovo livello gerarchico. Ad un dato livello gerarchico ogni elemento che lo costituisce agisce senza legami di dipendenza, pertanto il sistema stesso è libero ed autonomo.

Si osserva che il sistema si autorganizza quando venga raggiunta una certa soglia, detta critica, di complessità. Si raggiunge in questo modo un comportamento coordinato, che emerge in modo spontaneo all'interno di una classe di elementi.

Emergono così strutture e proprietà globali, che non si sarebbero raggiunte se non grazie all'autorganizzazione, le quali diventano dominanti per il comportamento dell'insieme.

Se si volesse, forzatamente, operare una semplificazione del sistema sarebbe possibile considerare una moltitudine di elementi di un dato livello gerarchico (n) che spontaneamente si autorganizzano per raggiungere una nuova configurazione ($n+1$); tra i due vige un legame di asservimento che riduce le possibilità di comportamento degli elementi e permette altresì il raggiungimento di proprietà olistiche

o globali del tutto inedite.

Tale semplificazione si esaurisce nel momento in cui il nuovo livello gerarchico raggiunge la stabilità e, superata una certa soglia di criticità che innesci l'autorganizzazione, evolve, muovendo verso nuovi livelli aventi complessità più elevata.

Ervin Laslo parlando di evoluzione afferma che la formazione di un nuovo livello organizzativo determina una semplificazione della struttura del sistema e parallelamente l'innescio di un processo di graduale complessificazione.

E' di estremo interesse osservare che nonostante gli elementi interagiscano mutualmente secondo regole banali, affiorino comportamenti globali complessi ed inattesi.

A tal proposito si potrebbe portare l'esempio della formazione di un termitaio. E' il caso che rende possibile l'emergenza dell'ordine.

Elementi non intelligenti che interagiscono in modo organizzato danno luogo ad un sistema globalmente intelligente.

Un più chiaro esempio potrebbe essere quello emerso dagli studi dell'etologo francese Chouvin (nota) circa il comportamento delle formiche. Ope-

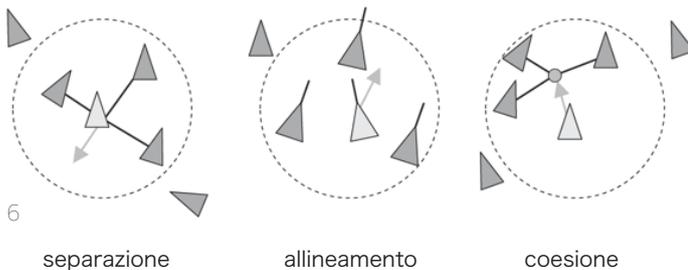


rando in ambiente virtuale, codificando due semplici regole quali il movimento delle formiche, che avviene entro un raggio massimo rispetto al nido, e il tempo limite di trasporto di un fuscillo, con grande sorpresa, assistette alla formazione di una cupola di fuscilli che rappresenta in campo reale, il formicaio. Craig Reynolds invece ha riprodotto il comportamento globale di uno stormo di uccelli codificando semplicemente 3 comportamenti la separazione, l'allineamento e la coesione [2]. Grazie a queste semplici regole è stato possibile riprodurre degli stormi molto simili a quelli reali, e di più, è emerso un complesso comportamento sociale non programmato che ha permesso agli stormi prodotti di dividersi per evitare gli ostacoli.

Ne deriva pertanto una regola fondamentale secondo la quale un comportamento cosiddetto complesso non discenda necessariamente da leggi complesse.

STATI DEI SISTEMI COMPLESSI

Stuart Kauffman servendosi delle reti booleane per riprodurre il comportamento dei sistemi complessi



6

separazione

allineamento

coesione

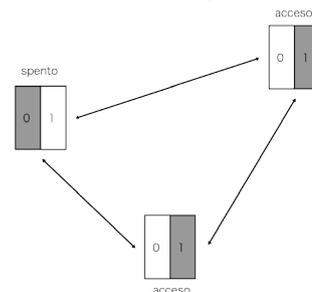
7

giunse all'ideazione delle reti booleane casuali (Random Boolean networks RBNs) le cui connessioni dei nodi avvengono per l'appunto in modo casuale [3]. Nello specifico per dimostrare le sue teorie utilizzò delle reti elettroniche di N elementi interconnessi. I nodi possono essere accesi o spenti, o avere valore zero o uno (booleano). Lo stato dei nodi è definito da K connessioni tra i nodi stessi (K è detto parametro di controllo). Le RBN non sono altro che la generalizzazione degli automi cellulari booleani introdotti da Von Neumann, in cui lo stato di ogni elemento non è influenzato soltanto da quello dei suoi vicini ma da quello di qualsiasi elemento del sistema o rete.

Kauffman rilevò che per bassi valori di K corrispondesse uno stato congelato ovvero ordinato, il sistema era per così dire in coma. All'aumentare di K , di contro, il sistema risultava essere più disordinato, piccole perturbazioni possono essere amplificate fino al raggiungimento di una biforcazione o catastrofe e far precipitare il sistema nel caos.

Attraverso le sue dimostrazioni empiriche Kauffman in *The Origin of Order* è stato in grado di individuare 3 differenti comportamenti o stati del sistema

8



6. Tre regole per ricreare uno stormo;
7. Stormo riprodotto virtualmente attraverso le tre regole descritte in fig. 6; 8. Rete booleana definita N elementi (3) e K stati (2)

Fonte fig.8 [1]

: ordinato, caotico e zona di confine aventi diverse connotazioni.

- ordinato: il sistema è caratterizzato da una diffusa staticità;

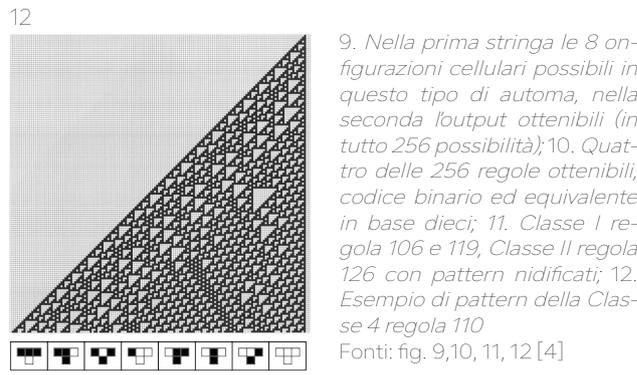
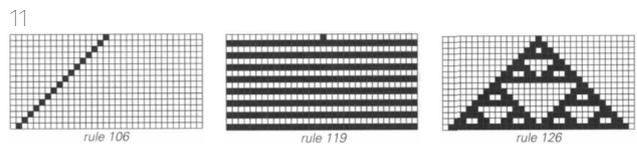
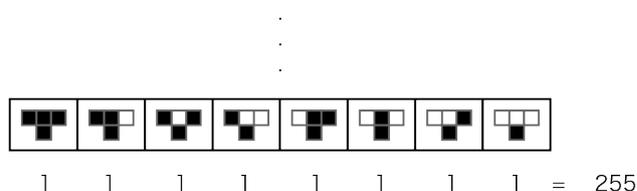
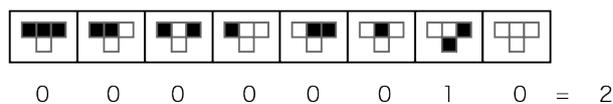
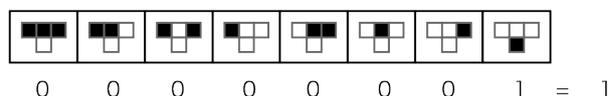
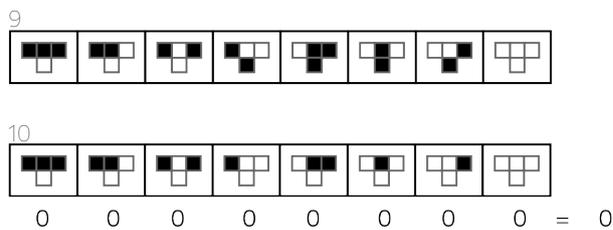
- caotico: all'inverso si assiste ad una perenne ed irregolare fluttuazione tra lo stato acceso e spento

- confine: questo è un comportamento che potremmo definire ambiguo, le regioni statiche sono in equilibrio precario e si instaurano dei legami tra le cosiddette isole di disordine.

Quest'ultima definita in inglese edge of chaos rappresenta la zona ove si ha la massima libertà di comportamento che è fortemente influenzato dai cosiddetti parametri di controllo che ne determinano il tipo appunto. Quando ci si trova in questa zona di confine tra il comportamento ordinato e caotico, si assiste ad un comportamento che si potrebbe definire creativo, intelligente, con maggiori potenzialità di evoluzione, di adattamento e ottimizzazione.

Wolfram in *A New Kind of Science* utilizzò degli automi cellulari le cui celle potevano assumere due stati, bianco o nero (a cui viene assegnato rispettivamente il valore di 0 e 1) rendendo possibili 8 diverse configurazioni di input (fig. 9) e 256 output diversi. Ad ogni scenario è associato un numero binario il cui valore varia da 0 a 255 in base dieci [4] (fig.10). Ponendo ogni fase sotto quella precedente è possibile osservare iterazioni multiple in modo simultaneo, così Wolfram fu in grado di distinguere 4 differenti classi di comportamento. La classe I è caratterizzata da un comportamento ripetuto, si riscontrano elementi ripetuti di eguale taglia (fig.11). La classe 2 con pattern nidificati, ovvero dei pattern che si ripetono a scala più grande (fig.11). La classe 3 completamente casuale, i pattern si ripetono ma con posizione e frequenza casuale. Infine la classe 4

è una combinazione della 1 e la 3 nella quale i pattern si ripetono ma in modo casuale (fig.12).



9. Nella prima stringa le 8 onfigurazioni cellulari possibili in questo tipo di automa, nella seconda l'output ottenibili (in tutto 256 possibilità);10. Quattro delle 256 regole ottenibili, codice binario ed equivalente in base dieci; 11. Classe I regola 106 e 119, Classe II regola 126 con pattern nidificati; 12. Esempio di pattern della Classe 4 regola 110
 Fonti: fig. 9,10, 11, 12 [4]

DINAMICA DEI SISTEMI COMPLESSI + TEORIA DEL CAOS

In generale, il raggiungimento di una configurazione gerarchicamente superiore - attraverso processi evolutivi spontanei - comporta un apparente equilibrio, facilmente alterabile sotto l'influenza di perturbazioni esterne che potrebbero comportare conseguenze inaspettate. Sovente, le fluttuazioni e i disturbi impressi, non innescano cambiamenti drastici, e si esauriscono in breve tempo. E' raro che una fluttuazione si propaghi a tal punto da portare ad una catastrofe globale.

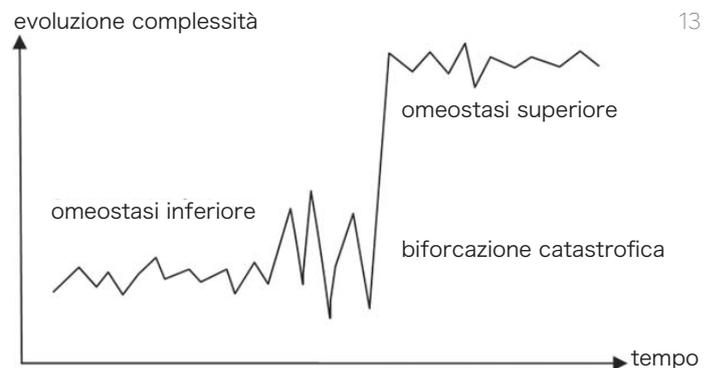
Qual è la dinamica che regge un sistema caotico? Banalmente potrebbe essere sollevato l'esempio del noto effetto farfalla, ove il sistema precipita in uno stato di instabilità globale provocato da un ciclo di feedback positivo. Il fatto che l'output concorra a generare se stesso fa sì che una moltitudine di perturbazioni si sovrappongano nello stesso momento. Ci si imbatte in questo modo in quello che viene definito caos deterministico, un sistema cioè può essere descritto da una serie di leggi deterministiche, ma il suo comportamento non è prevedibile in senso assoluto perché dipende dalle condizioni al contorno (ad esempio la situazione di partenza) e da una serie di approssimazioni che necessitano considerazione di tipo probabilistiche anziché deterministiche.

Il sistema quindi si mantiene in una situazione di equilibrio stabile per un ampio periodo di tempo e mostra una certa resilienza nei confronti delle perturbazioni esterne. Al raggiungimento di una soglia di criticità, il sistema raggiunge uno stato di crisi instabile, raggiungendo uno stato di caos entro il quale è estremamente difficoltoso giungere a delle previsioni attendibili in quanto anche la minima

sollecitazione viene amplificata, come se il sistema entrasse in risonanza, a causa del ciclo di feedback positivo generato. In questo modo tra tutte le possibili perturbazioni alle quali è soggetto il sistema, se ne impone una, la quale fa evolvere il sistema in un nuovo stato di equilibrio.

La stabilità viene mantenuta, grazie alla capacità di subire e dissipare perturbazioni che non influiscono sull'integrità globale, per mezzo di cicli di feedback negativo. Il sistema comunque muove verso una situazione di instabilità critica essenzialmente per due motivi, questo perché come visto il sistema evolve spontaneamente verso una situazione caotica o perché subisce stimoli esterni di entità tale da non garantire il mantenimento dell'equilibrio dovuto alle peculiarità omeopatiche del sistema. Si giunge così a quella che viene chiamata biforcazione catastrofica, ovvero una situazione ove un sistema entrato in crisi viene poi catapultato in un diverso livello di stabilità (fig.13). Come detto questa è una situazione di incertezza, in quanto qualsiasi evoluzione successiva è dominata dal caso.

In generale comunque la stabilizzazione avviene per cicli di feedback.



CARATTERISTICHE GENERALI

Nonostante l'eterogeneità dei sistemi complessi è possibile stilare un elenco di peculiarità comuni:

- esiste un rapporto di proporzionalità tra la complessità di un sistema - particolarmente lontano dalla condizione di equilibrio - e il numero di stati stabili raggiungibili a seguito di una biforcazione catastrofica;

- Il nuovo stato raggiunto - dopo una biforcazione catastrofica - è più complesso e caratterizzato da un livello di entropia più basso. Acquisito un livello di complessità più alto, almeno uno dei fattori principali che caratterizzano il sistema - gestione delle informazioni, dell'energia e dei materiali - risulterà maggiormente performante.

- per quanto riguarda l'aspetto materiale, si riscontrano legami, tra gli elementi, più deboli. A tale configurazione flessibile è imputabile una interazione e comunicazione più efficiente.

- a seguito di una biforcazione si può assistere a tre diversi effetti : raggiungimento di un nuovo livello più alto (a complessità più elevata), ad un livello più basso (a complessità minore) oppure all'estinzione totale del sistema stesso.

In via definitiva è possibile asserire che la legge evolutiva abbia validità universale in quanto tutti i sistemi complessi sono destinati a mutare secondo dinamiche di adattamento ambientale (omeostasi).

1.1. I SISTEMI COMPLESSI IN ARCHITETTURA

La grande quantità di discipline in campo e la mole di variabili da tenere in considerazione al giorno d'oggi in un progetto di architettura, legittimano la messa in discussione della modalità con la quale ci si approccia alla materia, rendendo favolerevoli fruttuosi innesti presi a prestito dalla teoria dei sistemi complessi. Leonard R. Bachman individua quattro diversi possibili punti di convergenza tra l'Architettura e la Complessità [5]. Definisce pertanto 4 tipi di complessità malvagia, disordinata, ordinata e naturale, descrivendole puntualmente e mettendole in relazione reciproca.

COMPLESSITÀ MALVAGIA

La complessità malvagia è così definita da un lato per il fatto che la comprensione umana si attesta su definiti limiti, i quali vengono nella realtà travalicati a causa sia della mole di informazioni di cui tenere conto, sia perché i limiti stessi dei problemi cui dover far fronte non sono ben delineati, ma nebulosi e difficilmente scomponibili. Herbert Simon ha studiato il limite di comprensione dello strumento cognitivo umano. In particolare ha messo in evidenza il fatto che il nostro cervello possa incamerare ed utilizzare a proprio vantaggio un numero limitato di informazioni, pertanto si procede in modo da trovare soluzioni sufficientemente soddisfacenti a determinati problemi piuttosto che ricercare la miglior soluzione possibile. Il parallelo con la pratica architettonica è presto detto. Infatti avere a che fare con variabili economiche, legislative, temporali e climatiche, tra le tante, costringe gli attori del processo a trascurare alcuni aspetti privilegiandone altri in modo da garantire un risultato che sia soddisfacente almeno in modo sufficiente.

Questa categoria di problemi è caratterizzata dall'assenza di punti di partenza, di fine, e in generale da una definizione precisa, pertanto è impossibile una loro risoluzione o quantomeno determinare se una soluzione sia migliore di un'altra vista la dinamica mutevolezza delle condizioni alle quali ci si riferisce.

COMPLESSITÀ DISORDINATA

Questo tipo di complessità deve la sua accezione da *Complexity and Contradiction in Architecture* (1966) di Robert Venturi.

“Sono per la ricchezza di significato piuttosto che la chiarezza di significato; per la funzione implicita oltre che quella esplicita. Preferisco “entrambi-e” a “nessuno-o”, bianco e nero, talvolta grigio, invece che bianco o nero. Una Architettura che sia valida evoca diversi livelli di significato e combinazioni di focus: il suo spazio e i suoi elementi diventano leggibili e lavorabili in diverse maniere in una volta”

“Ma un'architettura di complessità e contraddizione ha un obbligo speciale verso il tutto: la sua verità deve essere nella sua totalità o nelle sue implicazioni di totalità, deve incarnare la difficile unità di inclusione piuttosto che la facile unità dell'esclusione.”

“C'è una qualità persino peggiore della bruttezza o del disordine, e questa qualità peggiore è la maschera disonesta di pretendere l'ordine, ... sistemi complessi di ordine funzionale come ordine, e non come caos.. una volta che vengano compresi come sistemi di ordine, appariranno effettivamente diversi”

COMPLESSITÀ ORDINATA

La complessità ordinata rappresenta il tentativo di dominare il sistema servendosi degli strumenti della meticolosa programmazione, i quali a loro volta diventano via via più complessi.

COMPLESSITÀ NATURALE DELL'ORGANISMO

Il risultato dei processi evolutivi naturali non sono altro che un equilibrato compromesso tra fattori di tipo spaziale, limiti dimensionali, materiali e strutturali oltre che ad una generale economia delle risorse la quale regola in maniera gerarchicamente superiori i processi morfogenetici.

Trasponendo le logiche che reggono il funzionamento dei sistemi complessi in Architettura, il contesto assume un ruolo cruciale, non solo come punto di riferimento per le riflessioni formali, ma in quanto portatore di informazioni inerenti ad esempio al clima, le quali possono diventare nuovo pretesto creativo, riflettendo la propria influenza sui processi morfogenetici che scaturirebbero in questo modo spontaneamente, avulsi da qualsivoglia pre-concetto, ridefinendo in questo modo l'atto creativo.

Operando in questa maniera, l'oggetto virtuale assume i connotati di un essere vivente, in quanto generato mediante lo stesso tipo di processi che regolano la formazione dei sistemi naturali; Grazie a questi assunti è possibile parlare, più che mai, di organismo architettonico.

L'insieme delle funzioni, degli elementi architettonici e spaziali che costituiscono il programma di progetto, costituiscono i fattori che governano e stimolano l'emergere di una configurazione formale spontanea.

1.2. L'ARCHITETTURA LIQUIDA

L'Architettura si è nutrita di assunti, fino ad ora, prettamente biologici, incamerando tra le sue metodologie, quella dell'evoluzione. Il rigore scientifico lascia spazio un certo grado di incertezza che caratterizza l'evoluzione di tali sistemi. Si prospetta in questo modo una singolare antinomia nella quale le possibilità molteplici si contrappongono alla ricerca de "la soluzione" unica secondo il modello classico. Non solo, se è vero che come postulava Aristotele un sistema è più che la somma dei suoi elementi,

avvalersi di questa proprietà per modellare un sistema spaziale governato dal principio della complessità genera un organismo che può considerarsi altra cosa rispetto alla giustapposizione delle sue componenti secondo una procedura meramente additiva.

In questo modo si raggiunge una sovrapposizione dei campi del sapere, come veniva auspicato anche da Giedion [6], in modo da alimentare una dialettica interdisciplinare dalla quale può scaturire nuova creazione. Come noto infatti, l'atto creativo si instaura quando vi sia uno scambio di informazioni tra gli elementi di un sistema, questa capacità è particolarmente spiccata nello stato liquido. A buon ragione pertanto si è soliti definire questo tipo di Architettura liquida [7], appunto. La caoticità degli elementi, lo scambio dinamico di informazioni e la flessibilità del sistema costituiscono il terreno fertile dal quale possa emergere un nuovo tipo di architettura.



tura, non legata ai canoni delle geometrie euclidee, scervo dalle costrizioni temporali (grazie alle simulazioni virtuali) che ne permettono i meccanismi di evoluzione e adattamento.

STORIA DELLA NASCITA DEL PENSIERO COMPLESSO

Il pensiero complesso contiene nella sua stessa formazione i caratteri che descrivono il comportamento dei sistemi complessi. E' infatti il frutto di diverse biforcazioni catastrofiche del pensiero, grazie alle quali si è raggiunto via via un grado di complessità appunto, maggiore. Volendo selettivamente ritrovarne il germe, si potrebbe partire dalla nascita del movimento razionalista, riconducibile alle figure di Galileo Galilei e René Descartes. I principi razionalisti incarnavano in toto gli ideali della modernità, contrapponendo la perfezione della logica razion-

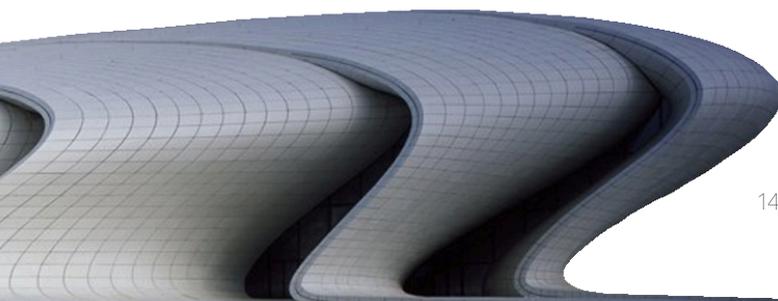
ale all'incertezza delle percezioni sensoriali. Il culmine di tale identificazione si avrà nel '900, grazie al movimento funzionalista e alla fondazione del bauhaus, vera e propria officina dove venivano sperimentati i principi del Movimento Moderno, anche in campo industriale. Solo con il lavoro di Wright, comprendente lo sviluppo di una dialettica con la natura e l'elaborazione di una architettura funzionalista organica, e le sperimentazioni di Gaudì basate sull'arricchimento dei metodi compositivi e speculativi con innesti derivanti dalle leggi della statica e della natura, si avrà un superamento del puro razionalismo.

Con la nascita della teoria quantistica, che mette in discussione il concetto stesso di misura, vista l'impossibilità di poter assegnare contestualmente dei valori di velocità e posizione di una particella, senza alternarne lo stato, nasce il cosiddetto indeterminismo. Il concetto di verità assoluta lascia spazio a quella di verità relativa, la realtà dunque non poteva essere piegata ad una sola logica deterministica.

Con la specializzazione dei campi del pensiero, viene a mancare una considerazione olistica, globale necessaria al fine di comprendere le proprietà che lo descrivono in maniera generale: come si è detto infatti, lo studio delle proprietà del singolo componente, a la somma di queste, non descrivono il comportamento dell'insieme.

Nasce così, appunto, la teoria dei sistemi, la quale è in grado di distillare delle caratteristiche e delle regole di valenza generale, capaci di descrivere il comportamento dell'insieme, seppure di natura eterogenea. Vengono così evidenziati i punti di convergenza dei sistemi, sotto la lente di considerazioni olistiche piuttosto che specifiche.

Nasce il dualismo tra determinismo e indeterem-



inismo, il quale presupponendo un certo grado di incertezza presentava la mancanza di non poter descrivere in modo certo la realtà e quindi di poterla conoscere.

Ciononostante, la teoria dei sistemi si è fatta largo, riuscendosi ad infiltrare anche in Architettura, la quale interessando per sua stessa natura diverse discipline, ne sta incamerando i principi per sperimentare nuove metodologie di design.

Ben presto viene ritrovata una relazione semantica tra il concetto di liquidità, teorizzato da Bauman, che caratterizza la scienza dei sistemi complessi, per via della struttura labile che permette la diffusione di informazioni tra i componenti dell'insieme, e il decostruttivismo, in senso derridiano per il quale *"..non vi è quindi possibilità per costruire se non de-costruire.."*. La liquidità baumaniana però si riferisce alla particolare condizione entro la quale è calato l'individuo della società moderna, il quale non può contare sulla presenza confortante dei tipici riferimenti, che perdono la loro centralità, struttura, solidità. Vengono al contempo ad instaurarsi nuove trame di relazione, caratterizzate da un alto tasso di interattività.

Per J. Derrida, non vi è quindi possibilità per costruire, se non *"de-costruire"*;

"La modernità è quella che fa della crisi un valore e suscita un'estetica di rottura"[8]

Bruno Zevi

e ancora

"la fluidità è la forma che meglio rappresenta il caos dell'età moderna " (intervista, D la Repubblica, 2013)

Zaha Hadid

E' possibile superare questo stato di incertezza, di crisi per l'individuo, di mancanza di riferimenti con la nascita di una nuova estetica, la quale sia capace di interpretare i fenomeni che caratterizzano la realtà, seppur complessa e labile, facendone i punti di forza per l'espressione di nuovi impulsi creativi.

In questo senso l'informazione viene elevata al ruolo di materiale per la creazione, la quale vista la sua repentina mutevolezza potrà riflettersi in tempo reale sulla nuova creatura.

Afferma A. Saggio [8]:

"Il mondo di oggi è permeato dall'informazione. L'informazione, anzi, è esattamente la materia prima dell'architettura di oggi! Sì, non è più il mattone, è l'informazione. Una informazione che penetra nei nostri database, crea gli algoritmi dei nostri progetti, determina inedite possibilità di mutazione e adattamento topologico, che segna la possibilità di gestione, trasformazione, sviluppo anche futuro dell'edificio".

L'ambiente costruito è il risultato di un'equilibrata coesistenza di caos e ordine, o meglio, della prevalenza del pensiero complesso che mette in relazione semantica tutti gli elementi del sistema, e quindi della città secondo una logica coerente.

Secondo Patrik Schumaker l'agglomerazione di elementi urbani non rispondenti a piani contenenti regole per la loro formazione ha prodotto l'effetto -globale- di un rumore bianco il quale impedisce l'emergenza di identità urbane distinguibili [9] (fig.15). Il risultato è un caos visuale disorientante, secondo la sua visione una vera e propria scarica di spazzatura, dove non si abbia la predominanza di un carattere sull'altro e la diversità diventa indeci-

frabile, proprio come in un accumulo di rifiuti. Così facendo viene compromessa la capacità espressiva dell'ambiente costruito. E' sulla base di tali ragioni che si motiva il tentativo, di articolare una città complessa e variegata che offra un modo alternativo di percezione degli elementi.

Forse Patrik prospetta la nascita di quella che chiameremmo in altri termini architettura liquida, rimandando all'iperconnessione di senso che viene ad instaurarsi tra i suoi elementi, capaci di comunicare tutti, ma allo stesso tempo di essere distinti dagli altri.

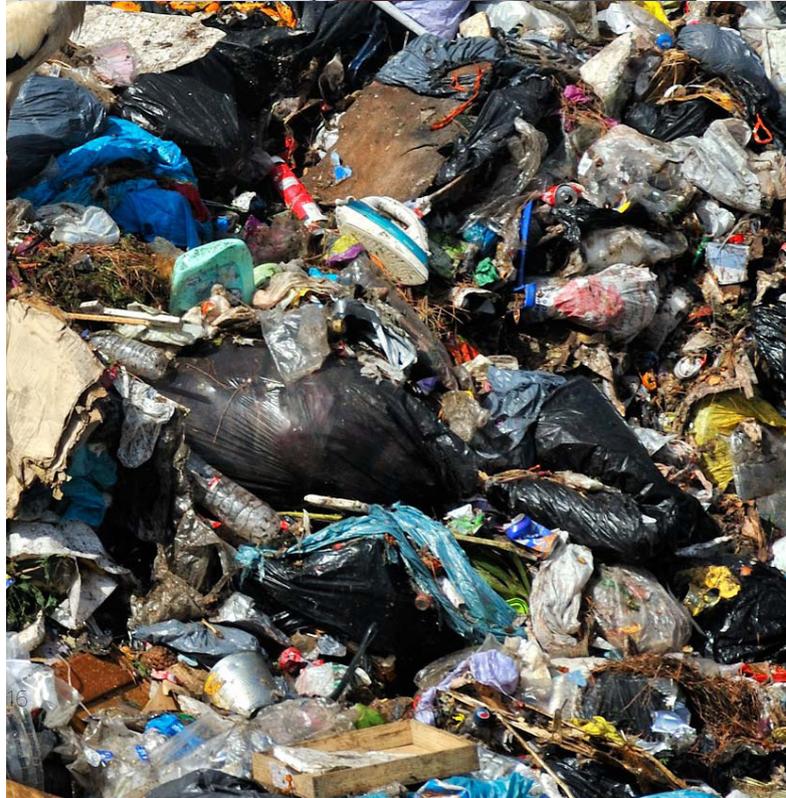
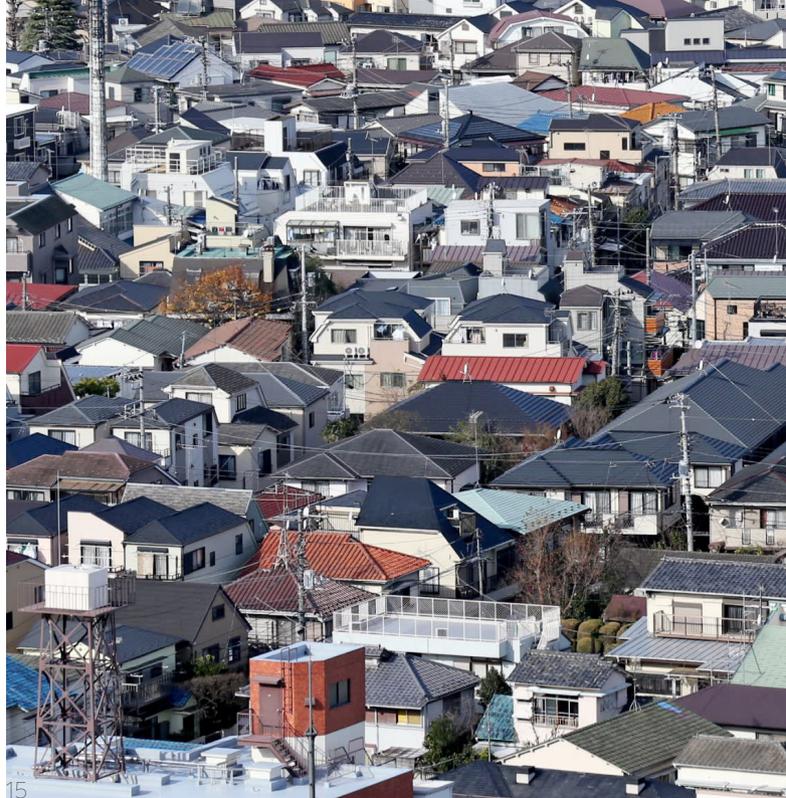
"Un'opera di architettura liquida non è più un singolo edificio, ma un continuum di edifici, che si evolvono fluidamente o aritmicamente sia nello spazio sia nel tempo" Abitare e lo spazio liquido dell'architettura, in "XAOS. Giornale di confine, 2005

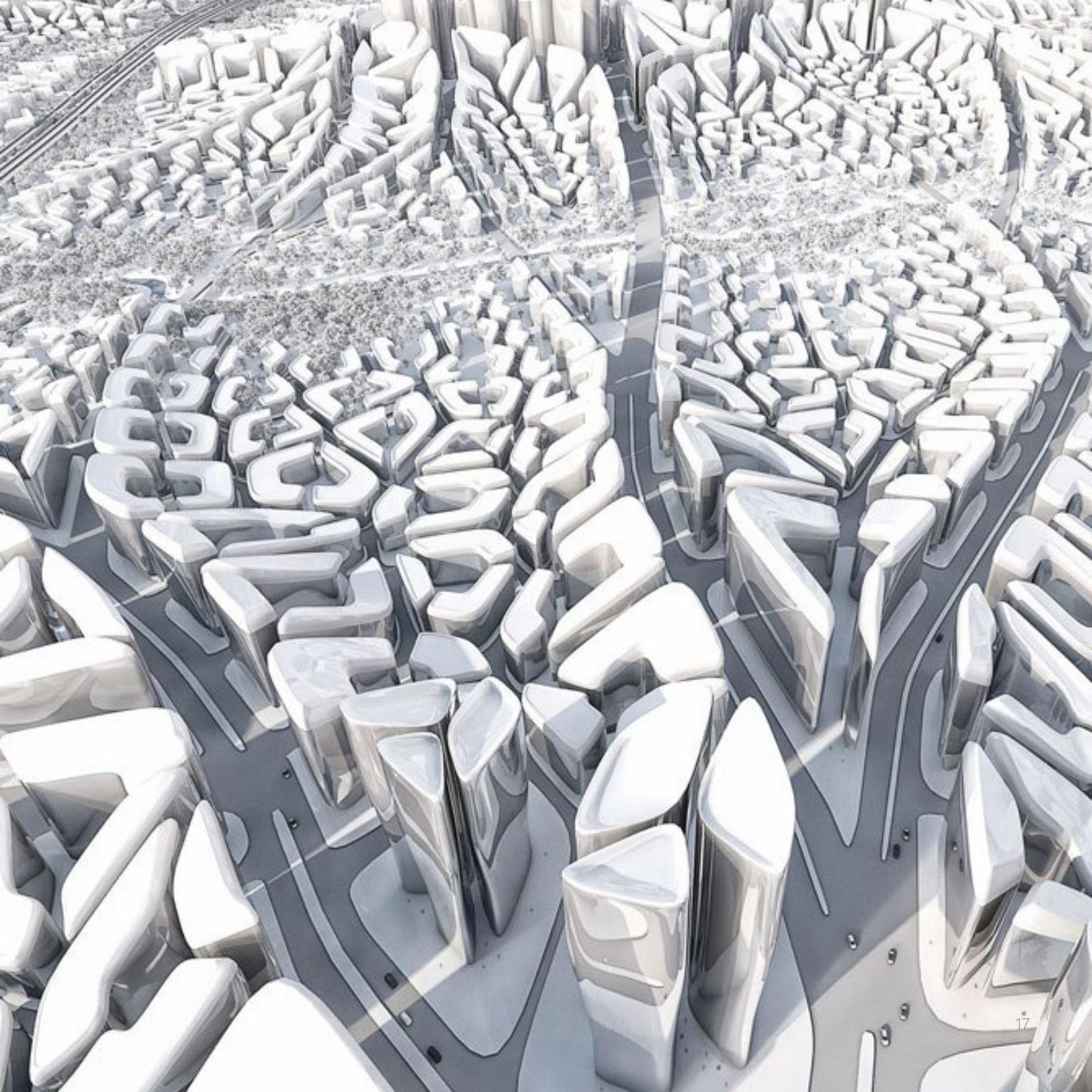
Silvano Tagliagambe

In questo senso l'ordine percettivo scaturirebbe niente di meno che dal caos.

Grazie alle potenzialità offerte dall'ambiente virtuale, secondo Derrida, è possibile raggiungere uno stato avanzato nell'Architettura, dispiegando al mondo forme inedite grazie all'applicazione dei concetti evolutivi.

Tale obiettivo è raggiungibile solo attraverso un processo di astrazione, nel quale la funzione abitativa venga -seppur momentaneamente- lasciata da parte, per esplorare in modo totale le nuove potenzialità offerte dallo cyber-spazio. Il rischio è dietro l'angolo, tali organismi architettonici potrebbero essere tacciati di essere il frutto di impulsi meramente irrazionali, i quali però -seppure come in realtà retti





da logiche di fondo- non sarebbero altro che l'interpretazione degli stimoli offerti dalle condizioni reali, caotiche, che diventano poi critiche -quindi creative- che ci circondano.

Progettare in sintonia con il proprio tempo, potrebbe comportare l'allontanamento dai modelli della tradizione, o ancora meglio, metterli in discussione, testarli e comprimerli in una dimensione virtuale dove possano subire i mutamenti impressi dai processi evolutivi.

"non esiste metamorfosi senza forma, non esiste forma senza metamorfosi"[7]

E' necessario quindi riconoscere ai sistemi complessi, e quindi caotici, delle valenze creative, una fonte inestimabile, e ancora scarsamente inesplorata, di forme forme fino ad ora impensabile.

17. *Potenzialità del modello parametrico, un sistema a prima vista caotico nel quale gli elementi sono legati da una coerenza di fondo che li rende altresì distinguibili dagli altri*

NOTE

[0] Thomas Ciza, Prasad Rendhir R., Mathew Minu, Introduction to Complex Systems, Sustainability and Innovation, 2016

[1] Alberto Gandolfi, Formicai, Imperi, Cervelli; introduzione alla scienza della complessità; Torino: Bollati Boringhieri, 2008

[2] Craig Reynolds, Boids, red3d, <<https://www.red3d.com/cwr/boids/>> (consultato il 21 Agosto 2018)

[3] Carlos Gershenson, Introduction to Random Boolean Network, 2004

[4] Andrews Gavin, Cellular automata and Applications

[5] Leonard R. Bachman, Architecture and the four encounters with complexity, in Halim Boussabaine, Architectural Engineering and Design Management; London : Earthscan, 2008, pp. 15-30

[6] Siegfried Giedion, Spazio, tempo ed architettura, Hoepli, 1984

[7] Massimo Mariani, Architettura liquida e pensiero complesso, bta, < <http://www.bta.it/txt/a0/08/bta00819.html>> (consultato il 3 Luglio 2018)

[8] Antonino Saggio, Architettura e modernità. Dal Bauhaus alla rivoluzione informatica, 2007, p. 40

[9] Patrik Schumacher (a cura di), Parametricism 2.0; Wiley, 2016

8. Rielaborazione a cura dell'autore, da [1]

9, 10 Rielaborazione a cura dell'autore, da [4] 11, 12 [4]

13. http://www.quinterna.org/pubblicazioni/rivista/26/struttura_frattale.htm

14. post-produzione a cura dell'autore <http://www.zaha-hadid.com/architecture/heydar-aliyev-centre/>

15. <https://asia.nikkei.com/Economy/Japan-rental-housing-starts-likely-hit-8-year-high>

16. <https://www.emaze.com/@AWRTRLOO>

17. <http://marketurbanism.com/2016/05/19/the-bottom-up-urbanism-of-patrik-schumacher/>

IMMAGINI fonti

1. <https://www.flickr.com/photos/eo-sgreg/6819015322/in/photostream/> 2, 3, 4. [1]

5. post produzione a cura dell'autore, da <https://www.erieinsurance.com/blog/keeping-your-home-termite-free>

6. http://www.gamecareerguide.com/features/312/book_excerpt_killer_game_.php

7. <http://www.interwebjill.info/work/flock.html>

02

AUTOMI
CELLULARI



2.

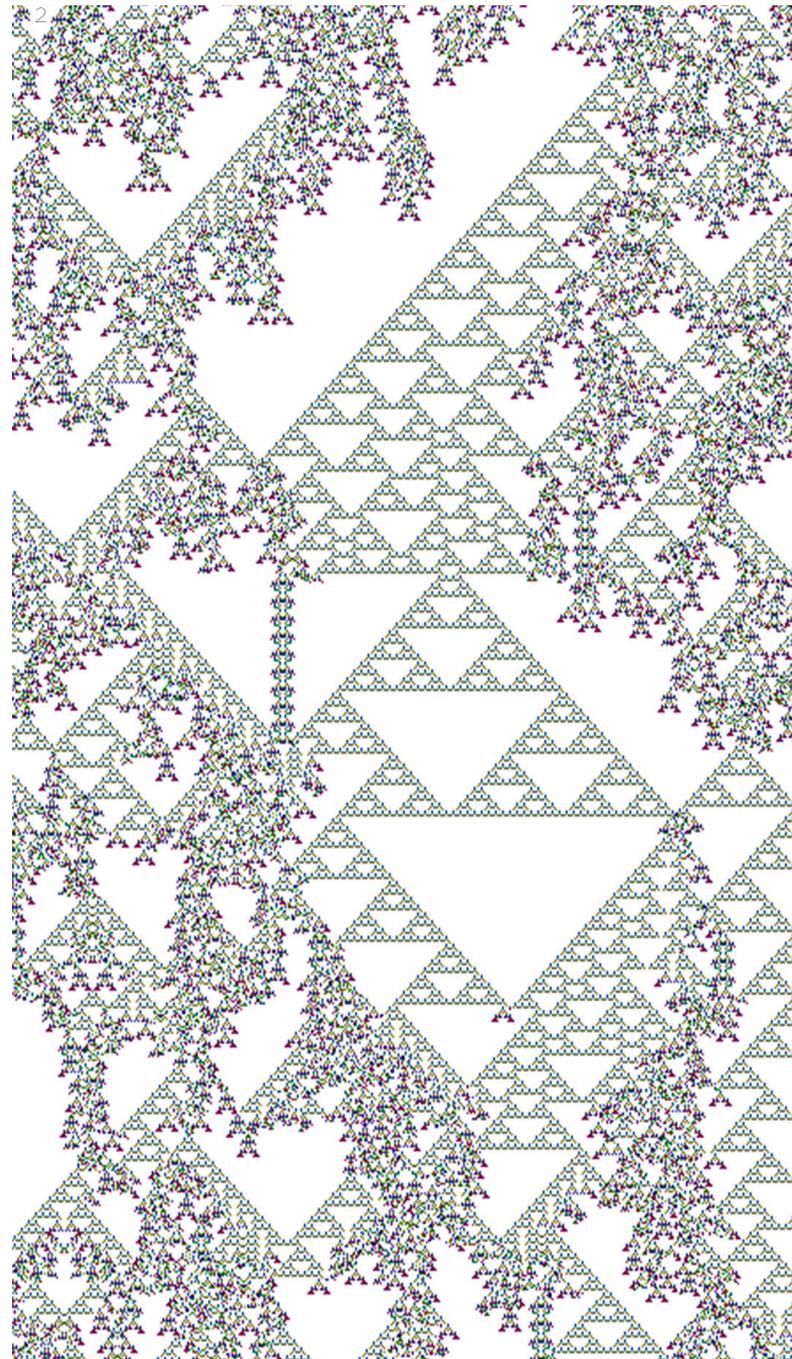
AUTOMI CELLULARI

La nascita degli automi cellulari (cellular automata, CA) nel 1950 è dovuta alle teorie di John von Neumann insieme al contributo di Stanislaw Ulam; vennero ideati con lo scopo di studiare la logica organizzativa con la quale i sistemi si riproducono [1]. L'intuizione alla base dei suoi studi risiedeva nella considerazione che se il processo autoriproduttivo era simulabile con una macchina, allora doveva esistere un algoritmo tale da poter descrivere il funzionamento della macchina [2].

I CA sono dei modelli matematici che trovano impiego nello studio dei sistemi auto organizzativi nella meccanica statistica. Infatti data una configurazione di partenza arbitraria (o casuale), grazie al carattere irreversibile dell'automata, è possibile ottenere una grande varietà di fenomeni autorganizzativi [3]. Gli automi cellulari vengono trattati utilizzando un approccio topologico; questo metodo matematico considera infatti gli automi come funzioni continue in uno spazio metrico compatto [4].

Trattandosi di sistemi complessi, ci si riferisce al secondo principio della termodinamica secondo il quale dato un sistema fisico microscopico e isolato, questo tenda a raggiungere col tempo lo stato di massima entropia e quindi di disordine. Ai sistemi microscopici, irreversibili e dissipativi, ovvero sistemi aperti cui venga ammesso lo scambio di energia e materia con l'ambiente, è permesso evolvere da uno stato di disordine a uno più ordinato attraverso fenomeni autorganizzativi. [3]

I CA riproducono matematicamente dunque sistemi fisici attraverso variabili spazio temporali discrete, le cui misure sono circoscritte ad un insieme limitato di valori, anch'essi discreti. L'automata cellulare evolve nel tempo producendo un certo numero di generazioni; una nuova generazione sostituisce la



precedente la quale influenzerà i valori delle nuove variabili [3].

Il solo fatto che i valori non abbiano un rapporto di dipendenza lineare genera automi non banali (fig.3). E' questa la ragione per la quale i CA trovano applicazione nei modelli chimici non lineari che richiedono una catena di reazioni che si diffondono nello spazio (Greenberg et al., 1978), o nei modelli di evoluzione delle galassie a spirale (Gerola and Seiden, 1978; Schewe, 1981), o ancora per gli aspetti cinetici delle fasi di transizione (e.g., Harvey et al., 1982) come ad esempio la crescita ramificata dei dendriti (Langer, 1980) [3].

Sembrerebbe che la formazione di pattern nello sviluppo degli organismi naturali sia retta da regole locali molto semplici e potrebbe essere ben descritta dall'adozione di un modello di automa cellulare. (Thompson, 1961; Stevens, 1974). Ciascuna unità spaziale del reticolo, formante una matrice regolare, è accompagnata da valori discreti che descrivono i tipi di cellule viventi; le interazioni a corto raggio possono portare all'emergenza di caratteristiche

genetiche variegate [3].

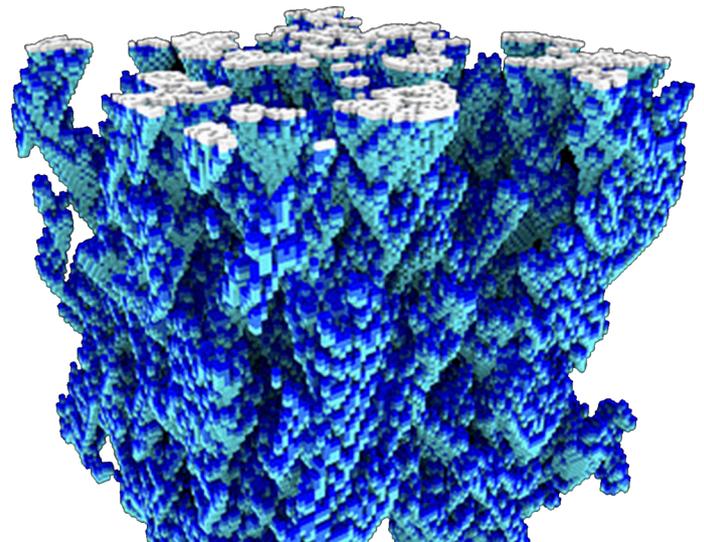
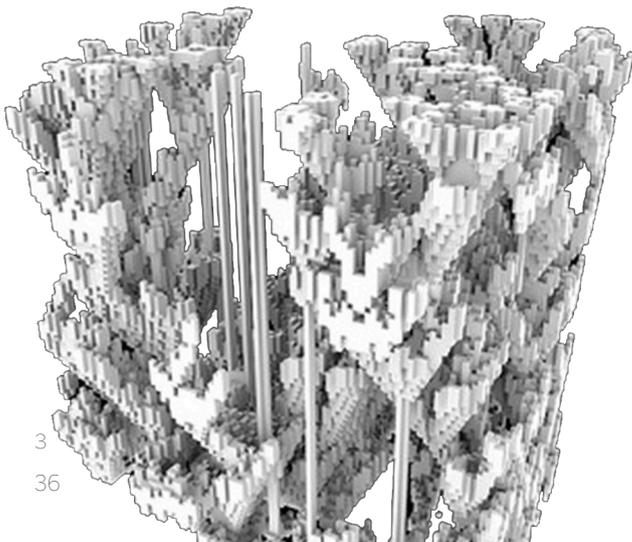
L'automa cellulare consta di una griglia regolare di cellule a cui è consentito lo sviluppo 1D, 2D e 3D. Ogni cella è connotata da almeno due stati, nei casi più semplici 0 e 1, vero o falso, bianco o nero, vivo o morto.

Il comportamento complessivo dell'automa, nell'istante $t+1$, è il riflesso dello stato nell'istante t precedente e dell'operazione di transizione che solitamente influisce sulla transizione di stato di tutte le cellule, in sincronia.

Le regole che influenzano il comportamento della singola cellula sono dette "locali", il comportamento complessivo invece, "globale". I cambiamenti interessano le generazioni e il cosiddetto vicinato (ovvero le cellule presenti nell'intorno che influenzano mutualmente il comportamento delle altre).

La configurazione di partenza è detta "seme" e può essere costituita da una cellula o da un pattern di cellule. La scelta della situazione iniziale può essere casuale o legata a scelte di design.

Come visto in generale nell'esposizione dei principi



che regolano i sistemi complessi, anche in questo caso si ottengono comportamenti sorprendentemente complessi risultanti da semplici regole locali. Tali comportamenti potrebbero essere condizionati in modo significativo dal seme iniziale. In particolare l'evoluzione del sistema può indirizzarsi verso diversi scenari. Il pattern potrebbe morire nel caso in cui le cellule raggiungano il medesimo stato, si potrebbero sviluppare strutture locali complicati o infine pattern periodici [5].

In sintesi un automa cellulare è descritto attraverso [6]:

-Cellula: la cellula rappresenta l'unità minima per definire lo spazio 2D e 3D. Un reticolo illimitato di cellule può descrivere l'universo.

-Stato cellulare: descrive lo stato, all'istante t , dell'unità spaziale considerata la quale può essere piena o vuota. Lo stato cellulare può essere definito in base alle esigenze di progetto.

Sia A la serie di stati che impressi all'unità spaziale della matrice [7]

$$A = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_i, \dots, S_{n-1}, S_n\}$$

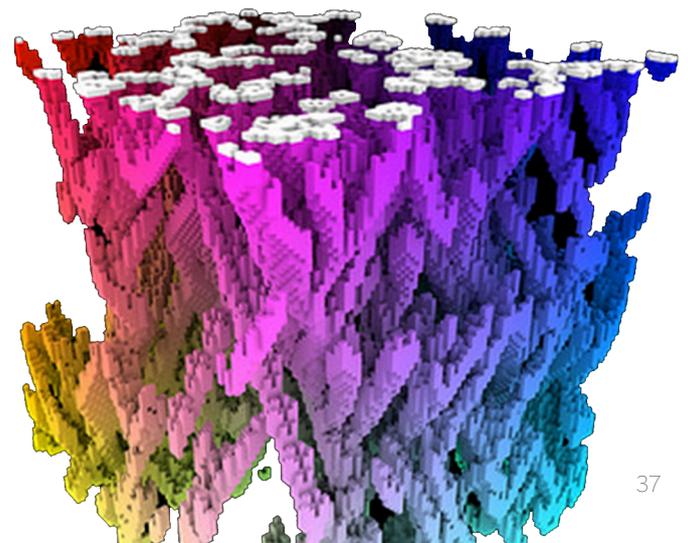
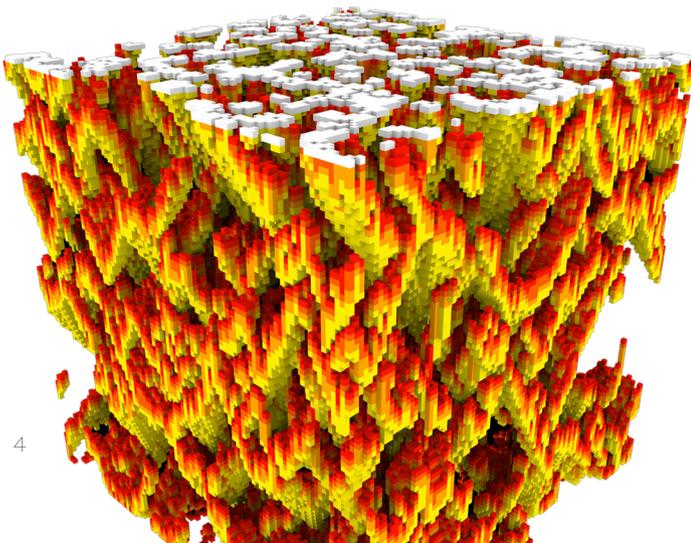
S_i è descritto come

$$S_i = s(N, V, C, H)$$

essendo N il numero d'ordine, V il valore o la caratteristica semantica, C il colore, H valore numerico sia k il numero degli stati possibili dell'unità della matrice; n le cellule vicine del tipo di vicinato le regole di aggiornamento di un ciclo sono pertanto:

$((k)k)_n$ [7].

Si prenda in considerazione una matrice rettangolare con solo 8 cellule vicine le quali rendono possibili un massimo di 28 stati cellulari. Considerando anche il prossimo livello di vicinato, si hanno 24 cellule le quali rendono possibili 224 stati cellulari. L'identificazione e l'enumerazione di tutti i possibili stati può così diventare particolarmente difficoltosa, tuttavia, spesso lo stato cellulare non deve essere individuato in modo esaustivo. Solitamente bastano poche condizioni per generare un automa soddisfacente. La complessità raggiungibile è tale da poter permettere addirittura la simulazione di interazioni

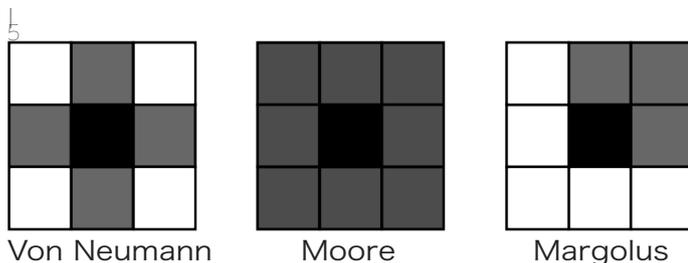


sociali [6].

-Vicinato: il cosiddetto vicinato (neighborhood) è costituito da cellule che condividono alcune caratteristiche di prossimità spaziale, predeterminate. Ad esempio cellule che condividono almeno una faccia, un lato o un vertice con un'altra, possono essere considerate cellule appartenenti allo stesso vicinato. La scelta delle condizioni iniziali di partenza condiziona lo sviluppo futuro degli automi cellulari, per cui è necessario tenere conto di eventuali vincoli e requisiti specifici da soddisfare.

Con intorno si intende l'insieme delle cellule vicine alla cellula presa in esame, le quali determinano la regola di aggiornamento di stato nella generazione successiva [5].

Esistono diversi tipi di intorno, a seconda del numero di cellule considerate, i quali si sovrappongono con quelli delle cellule adiacenti. In riferimento agli automi bidimensionali si citano i vicinati simmetrici, di Von Neumann ($n=4$), di Moore ($n=8$) e l'intorno di Margolus ($n=3$) (fig.5).



a cellula centrale è considerata attiva.

6

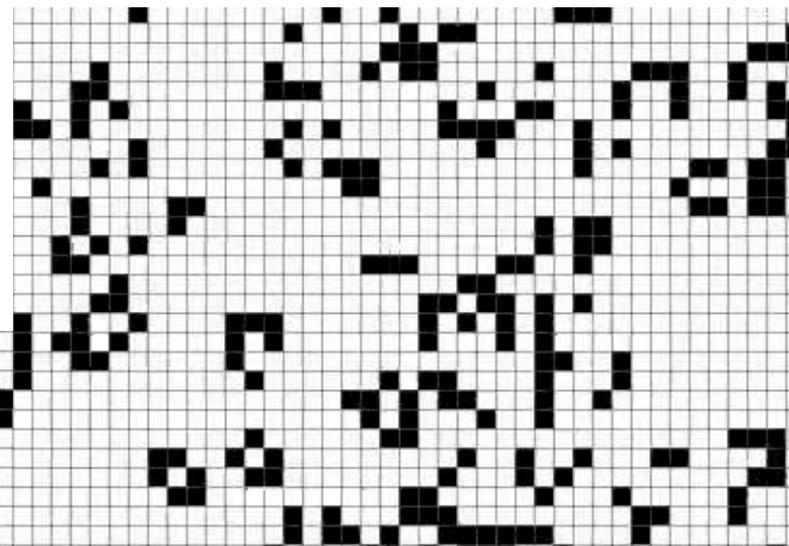
THE GAME OF LIFE DI CONWAY

Game of life, letteralmente il gioco della vita, è uno degli automi cellulari più famosi ideato da John Conway negli anni '70 al fine di proporre un computer universale che fosse una versione semplificata della proposta di von Neumann [5] (fig.6).

Lo scopo di Conway era quello di simulare il comportamento della vita [5]. Si avvale pertanto di una griglia di cellule disposte in uno spazio bidimensionale, caratterizzate da due stati cellulari retti da semplici regole di transizione. Il linguaggio utilizzato per l'espressione degli stati (espresso visivamente attraverso il colore) è antropomorfo, le cellule vengono considerate vive o morte se sono rispettivamente bianche o nere. La colorazione dell'intera griglia è detta configurazione del gioco della vita.

Le cellule sottostanno al medesimo set di regole e la transizione di stato avviene simultaneamente, determinando un cambiamento nel colore della griglia.

In particolare, prendendo in esame 8 vicinati, si de-



lineano le seguenti possibilità:

- una cellula morrà di solitudine, nella generazione successiva, se più di 3 cellule vicine sono vive. Ne consegue che l'optimum per la sopravvivenza sia di 2 o 3 cellule vive.

- una cellula morta può tornare in vita se 3 cellule vicine sono vive.

La reiterazione del processo determina il tempo di evoluzione del sistema.

Nel tempo è stata creata una corposa raccolta di pattern nati spontaneamente caratterizzati da diversi comportamenti inattesi.

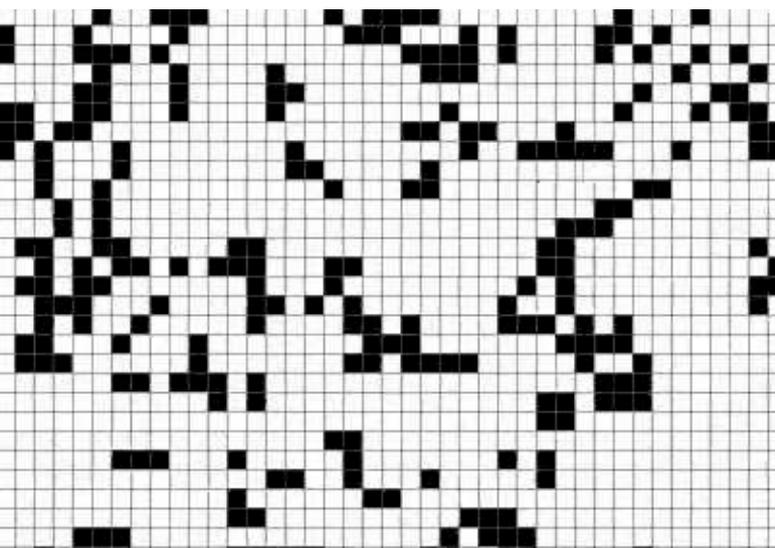
Per quanto riguarda i pattern si avranno [4][5](fig. 7):

- glider: pattern che dispiega in esatto equilibrio un breve ciclo di nascita ad eventi di morte;

- eater: fagocita e distrugge ogni pattern che incontra.

- Natura morta (still life) : L'aggiornamento della regola mantiene invariato lo stato di ogni cellula. Il tipo di natura morta più semplice è il blocco di 2-a-2 cellule viventi (a).

- Oscillatore (oscillator): il pattern è periodico.

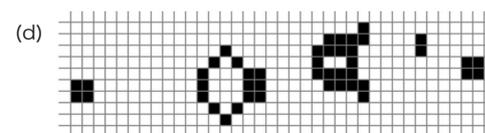
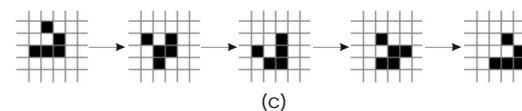
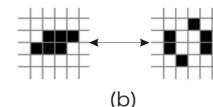
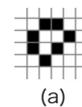
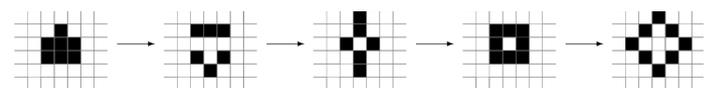


L'aggiornamento della regola potrebbe determinare un cambiamento ma dopo un certo numero di generazioni riappare il pattern originario nella stessa posizione con lo stesso orientamento (b).

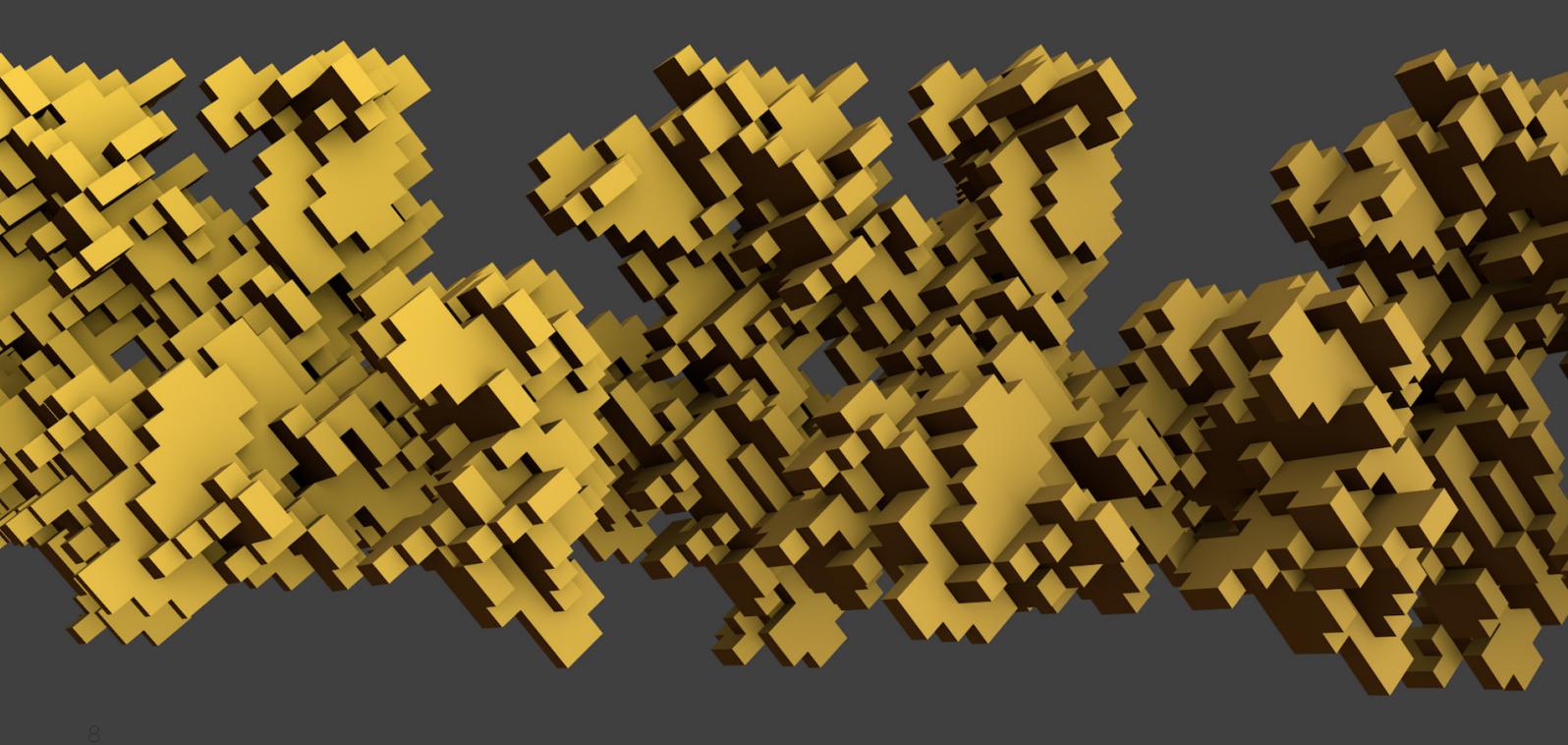
- Astronave (space ship): Tipo di pattern che dopo un certo numero di generazioni riappare ma in una posizione differente della griglia (es. glider) (c). L'oscillatore è un'astronave stazionaria che non si muove.

- gun: produce un flusso continuo di pattern, ovvero cresce indefinitamente, torna periodicamente alla condizione iniziale (d).

Queste sono strutture dinamiche. Evolvendo, gli oggetti interagiscono tra di loro attraverso delle collisioni create da glider e altre strutture in movimento. Grazie al gioco della vita di è dimostrato che molti processi vitali possono essere replicati con il computer -con un certo grado di fedeltà- in ambiente virtuale [4].



5. Tipi di intorno
6. Configurazione di Game of life nell'istante t
7. Pattern significativi del Gioco della Vita
Fonti: fig. 5 [5],
fig. 7 [4]



2.1 GLI AUTOMI CELLULARI IN ARCHITETTURA

Questa è una metodologia attraverso la quale, utilizzando semplici regole locali, si assiste all'espressione di proprietà emergenti e comportamenti apparentemente imprevedibili. Un insieme di piccole azioni, tra loro combinate, formano un pattern comportamentale riconoscibile. Quando viene raggiunto un certo punto critico di complessità (biforcazione catastrofica), gli elementi del sistema si autorganizzano e autoriproducono, creando entità più complesse.

Neumann riconobbe che la vita stessa dipendesse dal raggiungimento di questo punto critico di complessità.

La vita esiste nel limite del caos, e questo è il punto di partenza per le speculazioni del modello di Architettura proposta in questa tesi.

E' importante sottolineare come nelle scienze naturali tutto venga esaminato sotto la lente delle teorie evolutive (neo Darwinismo). Ora si assiste ad una tendenza espansiva di tale teoria per formare una metateoria nella quale i sistemi artificiali vengono esaminati alla stregua di quelli naturali. [5]

Il metodo può essere considerato come un ulteriore supporto a disposizione dei designer oltre che l'occasione per poter automatizzare parti del processo di design. (nota)

Gli automi cellulari rispondono agli stimoli del contesto in quanto il processo di generazione dipende

dallo stato delle cellule vicine. I limiti assegnati nella fase di progetto possono influenzare il comportamento delle cellule del sistema. Motivo per il quale il risultato può raggiungere enorme complessità difficilmente prevedibile [6].

L'utilizzo di automi cellulari si mostra particolarmente efficace quando si voglia sfruttare la sensibilità agli stimoli del contesto e si voglia al contempo tenere conto di molteplici fattori che agiscono nello stesso momento, i quali si influenzano a vicenda, provocando cambiamenti in un punto, stimolandone ulteriori in un altro [6].

Utilizzare gli automi cellulari come metodologia per il form finding può essere il giusto compromesso per quelle situazioni in cui si debbano coniugare il soddisfacimento di vincoli, esigenze formali e prestazionali con una certa economia delle risorse da spendere nella fase di ideazione; l'uso di questo metodo si presta in particolare modo quando si abbia a che fare con una tipologia edilizia dove si ha la necessità di ripetere la medesima unità (n) volte. La cellula dell'automata può quindi rappresentare tale unità da reiterare attraverso cicli consecutivi. In particolar modo, gli automi cellulari potrebbero essere impiegati per studiare nuovi modi di aggregazione di edifici residenziali ad alta densità, caratterizzati nella pratica costruttiva da una eccessiva monotonia, elevata alla seconda potenza se si pensa che storicamente questo tipo di edifici hanno costituito, attraverso una semplice ripetizione, come un copia e incolla forsennato, intere porzioni di città, restituendoci oggi un ambiente altamente ripetitivo, sgradevole e di asfissiante monotonia [8].

Inoltre la modellazione degli automi cellulari è relativamente semplice in quanto si tratta di definire gli stati del sistema.

CASI STUDIO

A seguito di una veloce rassegna della letteratura, va rilevato che non si rintracciano descrizioni esplicite della metodologia adottata, la tendenza è quella di mostrare il risultato finale, spesso slegato da considerazioni circa condizioni di applicazione reale, che contribuiscono a scoraggiare chi volesse intraprendere uno studio di ricerca in questo campo, vista la nebulosità dei processi alle spalle di tali metodologie.

Uno sforzo nel cercare di fare chiarezza e mettere a sistema lo stato dell'arte è stato compiuto da Christiane M. Herr e Ryan C. Ford [9], le quali analizzano i vari tentativi di modificare e adattare gli automi cellulari applicati al campo dell'architettura, descrivendone in maniera esplicita le peculiarità e le strategie di intervento, distillandone i contenuti e mettendoli a confronto per evidenziare con maggior chiarezza le differenze ed eventuali implementazioni (fig.9).

In generale tutti i metodi fanno riferimento all'automata Game of life sviluppato da Conway, apportando delle variazioni nella serie di regole che ne influenzano il comportamento. Coates ad esempio apporta delle variazioni all'ambiente dove l'automata si sviluppa, ponendo dei limiti della crescita laddove si incontrino degli ostacoli. Di più gli esperimenti di Wanababe mettono in campo non solo i limiti del contesto ma anche l'intervento della luce naturale nel modificare le geometrie risultanti.

Le due autrici rintracciano le variazioni sulla forma e la scala delle cellule oltre che ai diversi tipi di vicinato presi in considerazione, tipicamente quello di von Neumann e di Moore. Inoltre mettono in luce i tentativi di introdurre nuovi stati cellulari e la loro eventuale espressione tramite scala, forma o colore.

Adaptation types	Architecture-specific rules	Cell shapes and sizes	Cell neighborhoods	Cell states	Interpretation	Conversational design process	Context
Game of Life 1970							
Coates et al. [26]	Yes	Yes	Yes	Yes			Yes
Watanabe [30]	Yes			Yes			Partly
Krawczyk [24]	Yes	Yes		Yes	Yes		
Anzalone and Clarke [1]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Partly	Yes
Herr and Kvan [18]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes
Herr [14]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Herr and Karakiewicz [19]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Fischer and Herr [10]	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	
Herr and Fischer [20]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
Khalili-Araghi and Stouffs [23]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		
Cruz et al. [7]	Yes	Yes	Yes	Yes	Partly		
Ford [9] (case study)	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes

9 Tabella sugli automi cellulari esaminati da Christiane M. Herr e Ryan C. Ford e confronti sulle condizioni al contorno. Fonte C.Herre, R.Ford.[9]

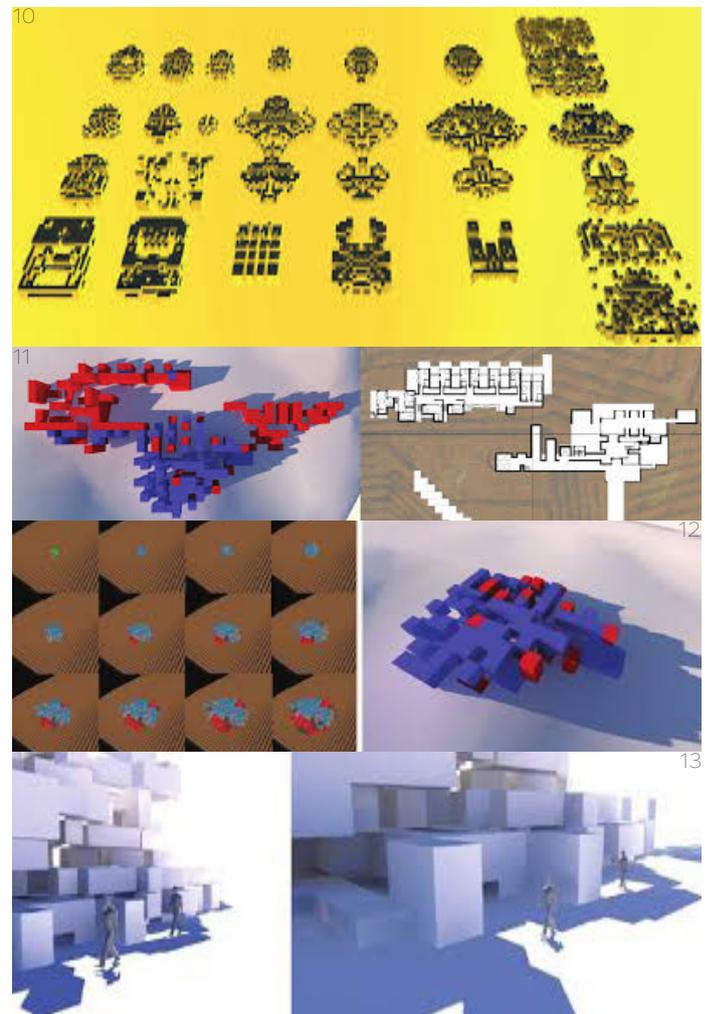
HOTEL, R.C FORD

Si tratta dell'utilizzo da parte di Ford di un CA retto da regole che sin dall'inizio hanno lo scopo di ottenere un risultato architettonicamente soddisfacente, per la progettazione di un Hotel destinato agli ingegneri e scienziati impiegati nel progetto European Extremely Large Telescope (E-ELT) situato nel deserto di Atacama in Cile. Anche in questo caso il riferimento è Game of Life di Conway [9].

Ford mette a punto una serie di regole che tengano conto tanto del contesto, inserendo nel processo la topografia del luogo, i fattori di illuminamento e spazialità, quanto le problematiche prettamente architettoniche di scala e struttura.

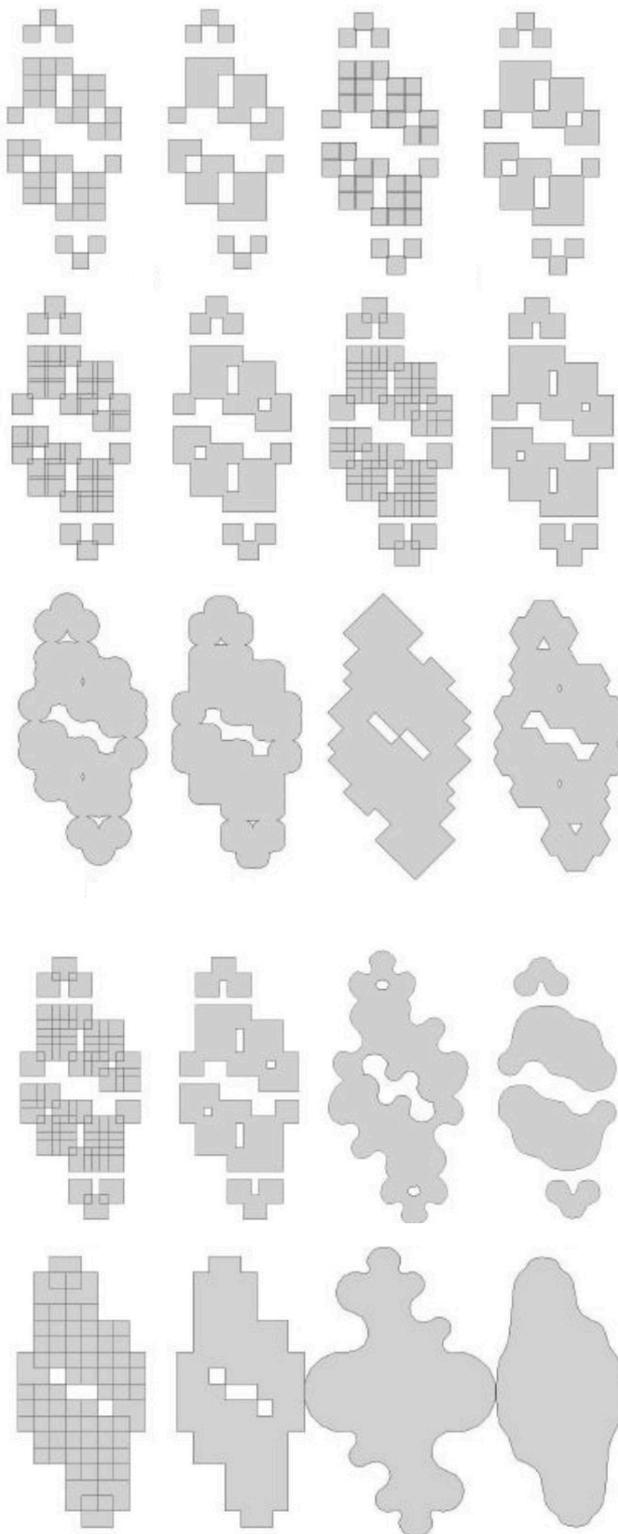
Le variazioni di forma delle celle sembravano non rispondere alle esigenze architettoniche (fig. 10), è stato scelto pertanto un automa con cellule cubiche di 3 metri di lato.

Ai fini architettonici è interessante rilevare l'introduzione di un nuovo stato cellulare che preveda, attraverso dei valori Booleani che regolano il colore delle cellule, la distinzione tra pubblico/privato (fig. 10, 11) chiuso/aperto (fig. 13). Anche in questo caso per discriminare il comportamento del singolo, viene preso in considerazione lo stato delle cellule vicine oltreché il loro numero.



10. Esperimenti con gli automi cellulari, la simmetria poco si prestava alle esigenze architettoniche; 11, 12. Diversificazione delle funzioni associate a ciascuna cellula evidenziate dal colore; 13. Diversificazione del tipo di spazio ottenibile, chiuso o aperto; 14. Congiunzioni in senso orizzontale attraverso la scala delle cellule; 15. Sperimentazioni con la forma totale

Fonti: fig. 9 [9], fig 10, 11, 12 13 [9], fig. 14, 15. [10]



LE INTERPRETAZIONI DI KRAWCZYK

Krawczyk ha cercato di usare gli automi cellulari interpretandone il prodotto finale sotto il punto di vista architettonico [10]. Questi sono stati il punto di partenza per una serie di riflessioni spaziali le quali hanno necessitato diversi aggiustamenti, al fine di ottenere un risultato valido secondo gli standard architettonici.

Gli automi hanno costituito nel suo lavoro l'ispirazione da dover indagare più profondamente, la cui forza risiede nella capacità non solo di simulare i sistemi complessi ma anche nel generare dei pattern aventi diverse caratteristiche, nei quali K. ha scorto del potenziale architettonico.

K. evidenzia importanti problemi da affrontare nel momento in cui si voglia tradurre in architettura il reticolo derivante dall'utilizzo degli automi.

Il punto di partenza è il classico universo infinito tridimensionale costituito da un reticolo di cellule il cui stato (occupato o vuoto, vivo o morto) muta ad ogni generazione in base allo stato delle cellule vicine.

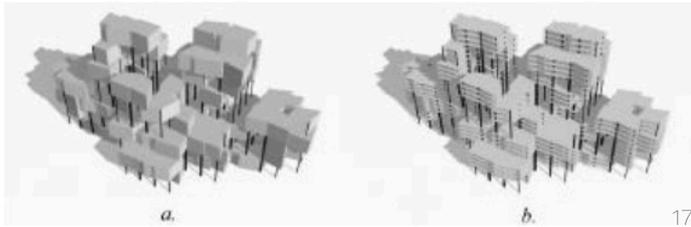
L'atto interpretativo secondo K. può avvenire all'inizio o alla fine del processo. Al reticolo viene imposto un limite il quale rappresenta i limiti spaziali del sito, la cui crescita viene orientata secondo un determinato orientamento.

la scala:

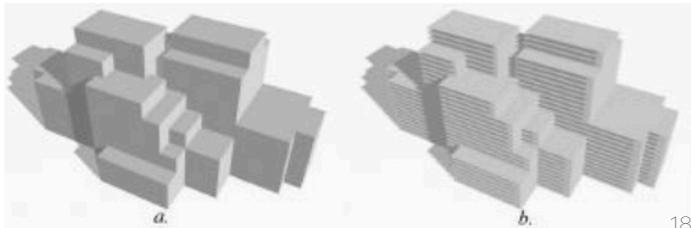
tra i problemi incontrati nella trasposizione delle cellule in spazi architettonici c'è quello delle connessioni in senso orizzontale e verticale. Per ovviare ai problemi di connessione nel piano orizzontale K. si è riferito al centroide delle cellule, unendo prima le cellule per creare degli spazi continui e poi scalandole per creare delle zone sovrapposte in modo da connettere quelle avente un solo angolo in co-



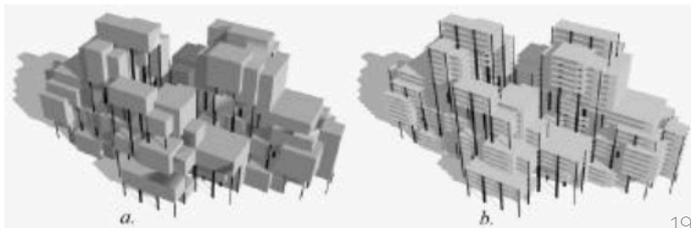
16



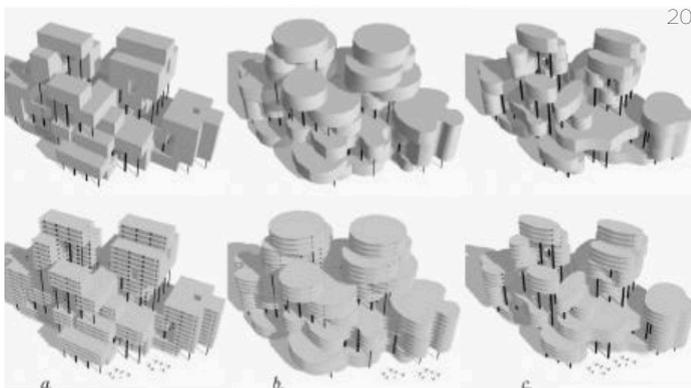
17



18



19



20

mune (fig.14).

Un'ulteriore variazione è quella di prendere in considerazione l'intero sedime e lavorare sui bordi (fig.15). K. ha tenuto inoltre conto della dimensione massima e minima delle cellule tridimensionali e dell'offset dei vertici con un metodo casuale (fig.16).

La forma base è il quadrato ma K. ha cercato di variare l'unità di base per articolare la pianta e il prospetto in modo differente (fig.17).

Un'ulteriore variazione è quella di prendere in considerazione l'intero sedime e lavorare sui bordi.

la struttura:

per ovviare al problema delle connessioni verticali Krawczyk propone il supporto con colonne al centro o ai bordi. In alternativa considera le cellule come volumi verticali. (fig.18)

la storia:

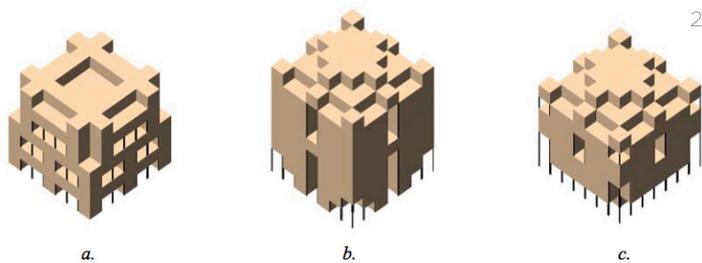
Un'ulteriore concept è quello di prendere in considerazione la formazione del pattern; quando una cellula sopravvive nella nuova generazione ne viene incrementata la taglia o la forma. (fig.19, 20)

In primo luogo era necessario distinguere le cellule superstiti dalle neonate, a questo scopo è stata apportata una differenziazione nel colore [11]. (fig.21) Oltre al colore è stata attribuita alle cellule sopravvissute una variazione nella forma o ancora successivi incrementi in altezza (fig. 21 g, h, i)

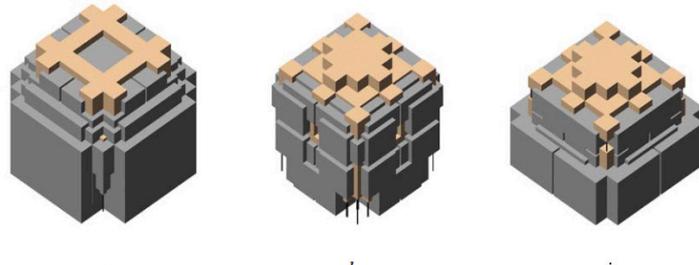
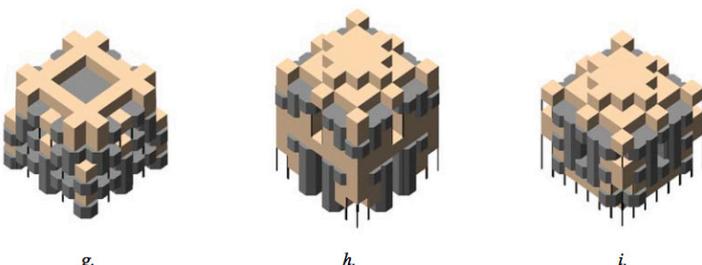
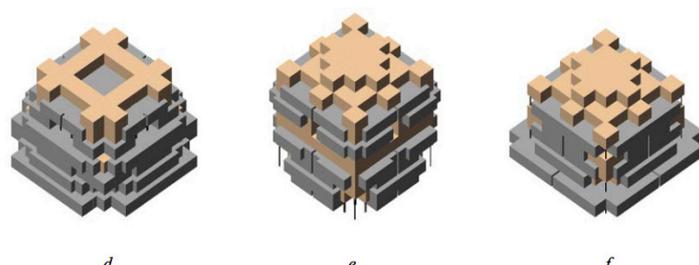
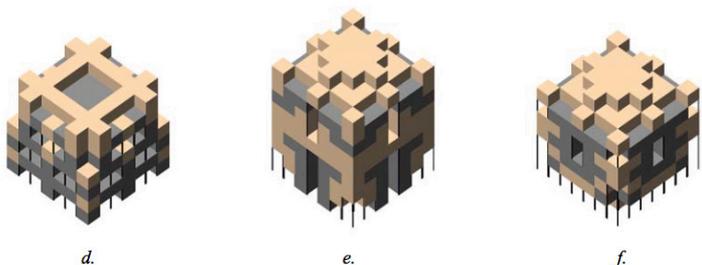
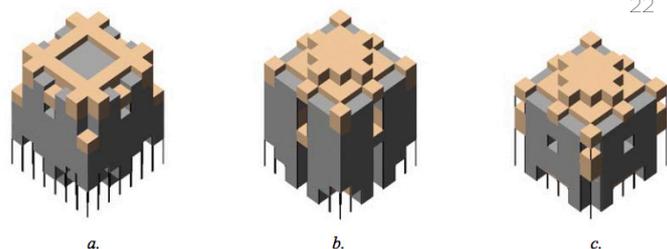
Un'altra serie di esperimenti prevedeva l'introduzione di una mutazione ad ogni generazione grazie alla selezione casuale di una nuova regola di sopravvivenza e del numero di vicine preso in considerazione (fig.22, 23).

16. *Esperimenti sugli offset tra i piani*; 17. *Variazioni sui prospetti*; 18. *Interpretazione differente dell'altezza in questo caso con volumi interi*; 19. *Incrementi nella scala dopo la sopravvivenza*; 20. *Visualizzazione delle cellule sopravvissute*; 22, 23. *Mutazioni ad ogni nuova generazione*. Fonti: fig. 16-20 [10], fig. 21-23 [11]

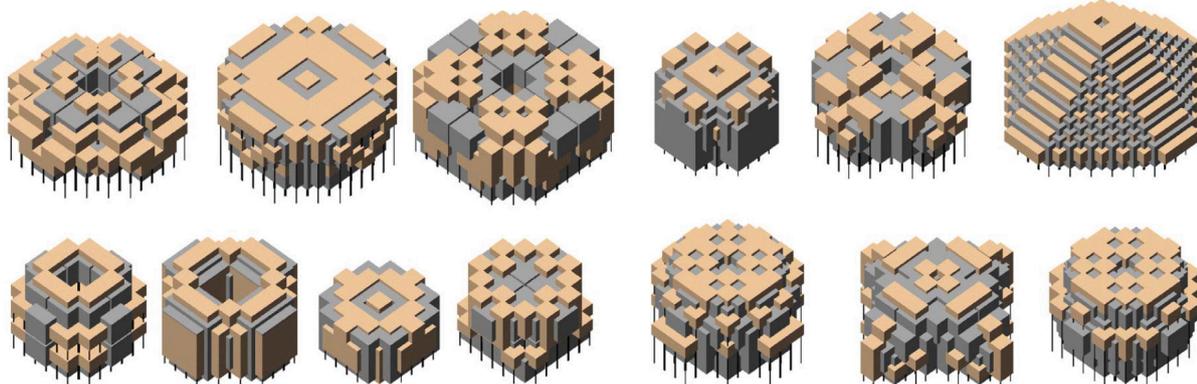
21



22



23



NOTE

- [1] John von Neumann, A.W. Burks, The Theory of Self-Reproducing Automata; USA: Univ. of Illinois Press, 1966
- [2] Christopher G. Langton, Self-reproduction in cellular automata; Amsterdam: Elsevier
- [3] Stephen Wolfram, Cellular automata and complexity : collected papers; Addison-Wesley, 1994
- [4] Jarkko Kari, Cellular Automata, 2013
- [5] John Frazer, An evolutionary architecture; London : Architectural Association, 1995
- [6] Vishal Singh, Towards an integrated generative design framework; Elsevier, 2011
- [7] Giorgio Guariso, Gli Automi Cellulari, Polimi, <<http://home.deib.polimi.it/guariso/appunti/software/automi/contenuti/cap2.htm>> (consultato il 3 Luglio 2018)
- [8] Christiane M. Herr and Thomas Kvan, Using Cellular Automata to Generate High-Density Building Form, in B. Martens , A. Brown, Computer Aided Architectural Design Futures; Olanda: Springer, 2005, pp. 249-258
- [9] Christiane M. Herr, Ryan C. Ford, Cellular automata in architectural design: From generic systems to specific design tools; Elsevier, 2016
- [10] Robert J.Krawczyk, Architectural Interpretation of Cellular Automata; 2002
- [11] Robert J.Krawczyk, Exploring the Massing of Growth in Cellular Automata; 2003

machines/

7. [4]
8. <https://softologyblog.wordpress.com/tag/high-way-rule/>
9. [9]
- 10, 11, 12, 13. [9]
- 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20. [10]
- 21, 22, 23. [11]

IMMAGINI fonti

1. <http://algorithmic-worlds.net/blog/blog.php?Post=20120406>
2. <http://math.hws.edu/xJava/CA/>
- 3, 4. <https://softologyblog.wordpress.com/2018/02/>
5. Rielaborazione a cura dell'autore, da [5]
6. <http://www.electronicbeats.net/the-feed/this-interactive-site-lets-you-make-music-from-cellular->

03

ALGORITMI GENETICI



3.

ALGORITMI GENETICI

Gli algoritmi genetici (AG) sono un metodo di ricerca euristico ed una tecnica di ottimizzazione ispirati dall'evoluzione naturale [1]. Essi sono la trasposizione algoritmica del modello evolutivo proposto da Darwin il quale opera per successive selezioni genetiche.

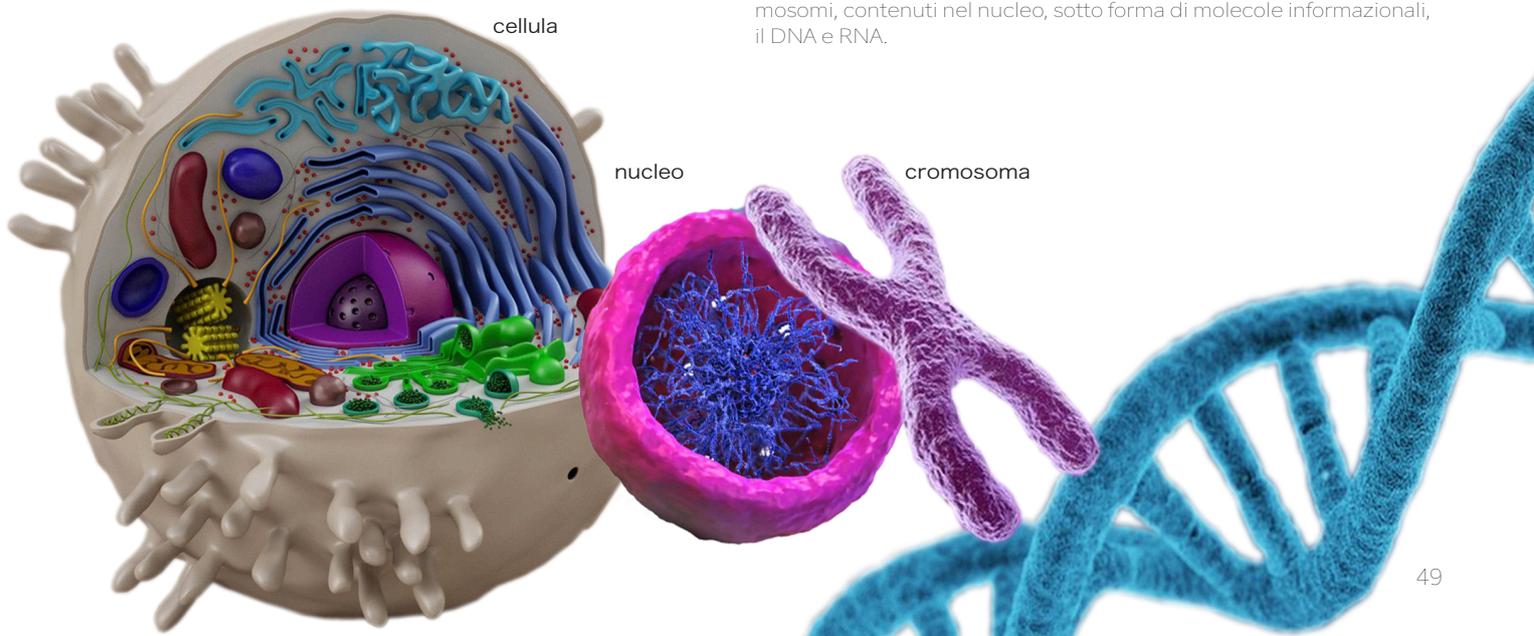
Dalla natura viene preso in prestito il modello cellulare (fig.2), il quale contiene due tipi di macromolecole informazionali, il DNA e l'RNA, ciascuna costituita da quattro tipi diversi di nucleotidi il cui ordine non è affatto casuale, da cui dipende anzi il tipo di informazione necessaria per assemblare -secondo una sequenza precisa- gli amminoacidi necessari per la produzione delle catene polipeptidiche, che ripiegate nelle tre dimensioni formano poi le proteine [2]. L'informazione genetica di una cellula è quindi influenzata dall'ordine delle unità monomeriche degli acidi nucleici, impacchettati sotto forma di cromosomi.

Gli AG non sono altro, pertanto, che un codice formato da parametri che controllano il problema investigato. Si giunge ad una soluzione attraverso un processo evolutionario, adattivo e parallelo. Vengono chiamati algoritmi paralleli, in quanto usano una popolazione di soluzioni potenziali, i cromosomi artificiali, invece che testare a caso o aggiustare una potenziale soluzione singola.

La soluzione ottimale è ottenuta mediante piccoli e graduali cambiamenti all'interno della popolazione, su diverse generazioni, di qui la classificazione di algoritmi adattivi [3].

La soluzione è espressa sotto forma di cromosomi dunque, ai quali è associata una funzione di fitness. Quest'ultima esprime, attraverso un numero, la misura di quanto la soluzione soddisfi il problema imposto, in altri termini il fitness riflette la bontà della soluzione.

2. Modello cellulare, l'informazione genetica è impacchettata nei cromosomi, contenuti nel nucleo, sotto forma di molecole informazionali, il DNA e RNA.



Gli AG constano di 3 parti fondamentali [4]:

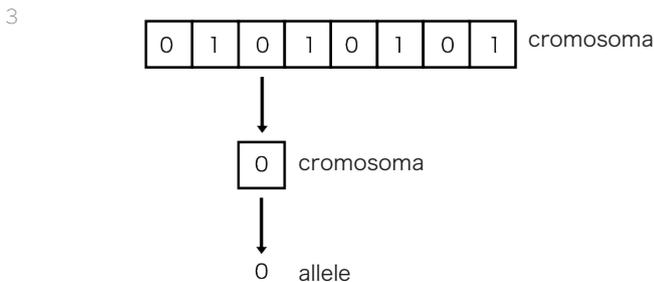
Geni: sono la più piccola unità del genotipo insieme agli alleli, forma alternativa dei geni (fig.3). La codifica in genotipo artificiale è espressa in codice binario in stringhe.

Codici genetici: è la descrizione del genotipo attraverso termini genetici, la quale permette al sistema di compiere le azioni di selezione, incrocio e mutazione.

struttura genetica, genotipo e fenotipo: la struttura è composta da una serie di geni con un preciso ordine e relazioni reciproche. Il genotipo in particolare è la costituzione genetica mentre il fenotipo rappresenta le proprietà qualitative espresse esternamente.

Gli Algoritmi genetici sono dei risolutori di ottimizzazione stocastica, pertanto il punto di partenza è una popolazione di cromosomi generata in modo casuale e attraverso una selezione basata sul fitness e la ricombinazione genetica si giunge ad una popolazione o generazione successiva (fig.4,5) Con la ricombinazione, il materiale genetico dei cromosomi dei genitori viene ricombinato per formare i

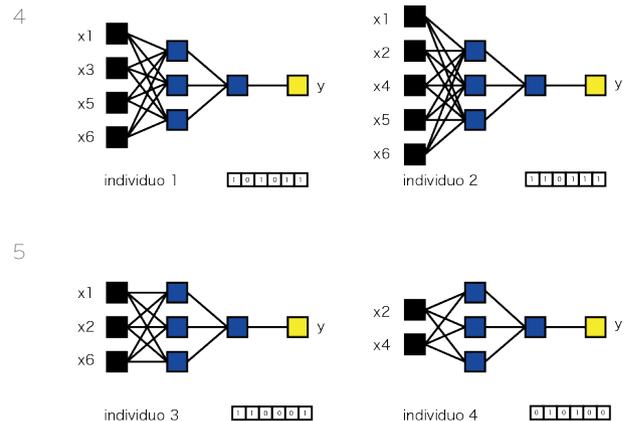
cromosomi della prole, i quali attraverso lo stesso procedimento passano alla generazione successiva e così via. L'iterazione del processo fa sì che il fitness medio dei cromosomi tenda ad incrementare fino al raggiungimento di una soglia che costituisce un criterio di sospensione. Gli AG vennero introdotti da John Holland [5] con il proposito di trovare buone soluzioni a quei problemi che fino ad allora erano intrattabili sotto il campo computazionale. Negli anni sessanta si svilupparono inoltre le strategie evolutive le quali, come gli algoritmi genetici, si avvalgono di stringhe per rappresentare le soluzioni di problemi e cercano di giungere a delle buone soluzioni attraverso step evolutivi regolati da funzioni di fitness. La differenza con gli algoritmi genetici risiede nel fatto che non venga usata, in questo caso, una popolazione di soluzioni; vengono altresì apportate delle mutazioni guidate dal fitness nella singola soluzione. In via generale per costruire un algoritmo genetico è necessaria una codifica dei cromosomi, una funzione di fitness e uno schema di ricombinazione e mutazione al fine di ottenere la miglior soluzione possibile attraverso logiche evolutive.



3. Composizione dei cromosomi in codice binario.

4., 5. Accoppiamento, ricombinazione genetica e selezione del miglior individuo.

Fonti: fig.3, 7 Jain Shubham [7], fig.4, 5 Fernando Gómez, Alberto Quesada [6]



I CROMOSOMI ARTIFICIALI

Gli algoritmi genetici operano attraverso sofisticazioni apportate ai cromosomi formanti una popolazione di partenza (fig.7). I cromosomi sotto forma di stringhe esprimono le soluzioni di un problema dato. In questo senso le stringhe sono l'omologo del DNA biologico che potrebbe essere rappresentato come una stringa di lettere AGCT (Adenina, Guanina, Citosina, Timina). Una determinata posizione nel cromosoma è detta gene e il numero in quel punto è detto valore dell'allele o allele.

Negli algoritmi genetici i problemi vengono sottoposti a codifica, classicamente con stringhe di bit ovvero stringhe di geni i cui valori degli alleli possono variare tra $\{0,1\}$.

FITNESS

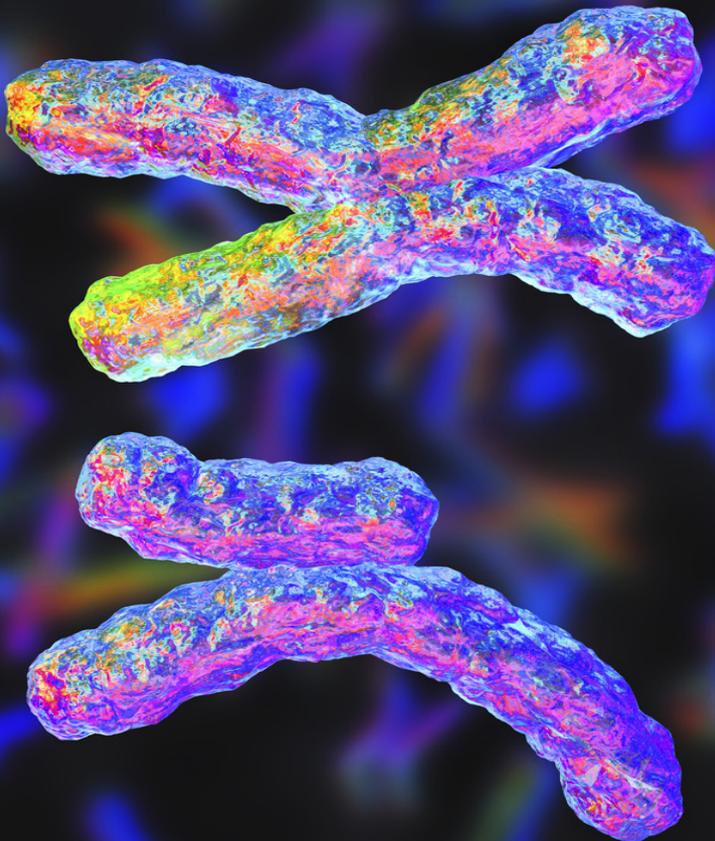
La funzione di fitness non è altro che un procedimento di calcolo avente il fine di valutare la qualità dei cromosomi come soluzione di un problema; questa associa un valore di benessere a ciascuna delle ipotesi o soluzioni h del problema.

Per valutare il valore di fitness da associare ad ogni cromosoma è possibile utilizzare il metodo del rango. Il valore sarà determinato solo dal rango e non dipenderà dall'errore di selezione, calcolato come

$$\Phi(i) = k \cdot R(i)$$

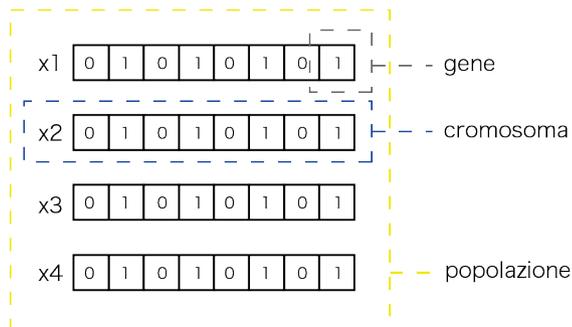
$$i = 1, \dots, N.$$

essendo k la costante di pressione selettiva il cui valore può variare da 1 a 2 ed $R(i)$ rango dell'individuo [6].



6

7

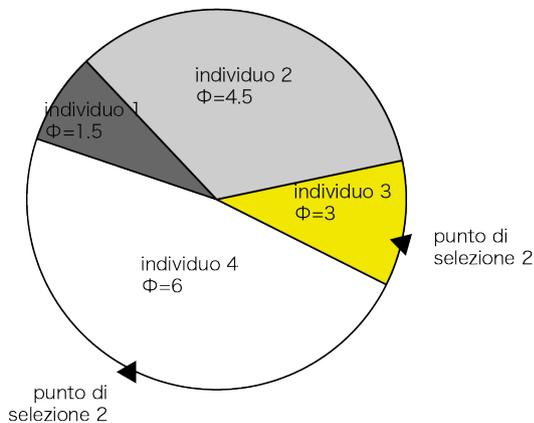


6. Illustrazione di due cromosomi biologici
7. Rappresentazione in codice binario di una serie di cromosomi espressi in codice binario

SELEZIONE

Come detto la funzione di fitness valuta la bontà della popolazione di soluzioni espresse in forma cromosomica. La selezione viene eseguita in ragione di un parametro detto fitness, come nel caso della selezione naturale, applicando una pressione selettiva poi una ricombinazione; I cromosomi con fitness maggiore avranno maggiori probabilità di essere selezionati rispetto a quelli con fitness minore, si instaura in questo modo la pressione selettiva attraverso soluzioni con livello di fitness più alto. Esistono diversi metodi di selezione, quello di uso corrente è il cosiddetto metodo della "Ruota della roulette" o del campionamento stocastico con sostituzione. Ad ogni cromosoma viene associata una probabilità di essere selezionato proporzionale al proprio fitness, proporzionale a sua volta alla somma dei fitness dei cromosomi della popolazione.

8



8. Selezione per elitismo e con il metodo della ruota della roulette

9. Operazione di incrocio

10. Incrocio in più punti; 11 Funzionamento della mutazione

Fonti: fig. 8, 9, 11 Fernando Gómez, Alberto Quesada [6], fig. 10 Jain Shubham [7]

Sia il grafico a torta la rappresentazione dei fitness di quattro individui (fig.8). L'individuo 4 è selezionato per elitismo, essendo quello con fitness maggiore, l'individuo 3 è selezionato dalla ruota della roulette, la quale non garantisce di scegliere il miglior individuo vista la sua natura probabilistica.

RICOMBINAZIONE

Attraverso il processo di ricombinazione i cromosomi sopravvissuti alla selezione vengono ricombinati e sostituiti dai cromosomi successivi. In questo modo si emula la combinazione del materiale genetico ottenibile con la riproduzione.

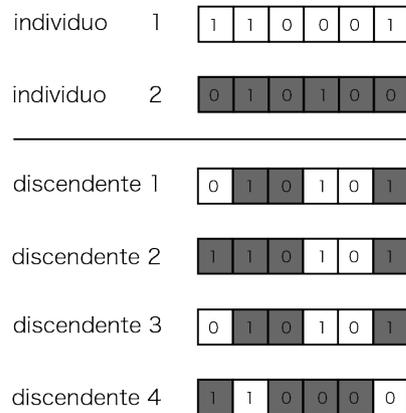
La ricombinazione avviene attraverso l'incrocio e la mutazione. Tali operatori sono nondeterministici nel loro comportamento in quanto suscettibili di una certa probabilità di accadimento; nondeterministico è anche il prodotto di tali operazioni.

INCROCIO

Ai fini della ricombinazione di due cromosomi selezionati, viene generato un numero casuale nell'intervallo $[0,1]$ con uniforme probabilità in relazione ad un tasso di incrocio predefinito. Se il numero casuale è maggiore del tasso di incrocio, questo non ha luogo ed uno o entrambi i cromosomi genitore rimangono inalterati nella fase o ricombinazione successiva. Se il tasso di crossover è più alto o uguale al numero casuale, viene applicato l'operatore di incrocio, comunemente in un punto scelto tra 0 e n con uniforme probabilità. I cromosomi derivanti dall'operatore di incrocio presenteranno i caratteri di entrambi i genitori, rispettivamente quelli prima e dopo il punto di crossover.

Con riferimento all'esempio precedente, a seguito della selezione dell'individuo 3 e 4 si avrà:

9



Naturalmente esistono diverse opzioni di incrocio, ad esempio quella a due o a più punti di crossover:

10



MUTAZIONE

A seguito di tale operazione, i cromosomi ottenuti verranno esposti ad eventuali mutazioni. Questa agisce sul singolo cromosoma per invertire uno o più alleli. Nel caso in cui i cromosomi vengano espressi in stringhe di bit, la mutazione viene applicata in ogni posizione del cromosoma. Viene generato poi un numero casuale nell'intervallo $[0,1]$ con uniforme probabilità e raffrontato ad un tasso di

mutazione predefinito (fig.11). Se il numero casuale è maggiore del tasso la mutazione non ha luogo in quella posizione. Nel caso in cui il tasso di mutazione sia maggiore o uguale al numero casuale, il valore dell'allele viene invertito da 0 a 1 o il contrario. I tassi di mutazione si attestano solitamente su valori molto piccoli, tipicamente nell'ordine dei millesimi.

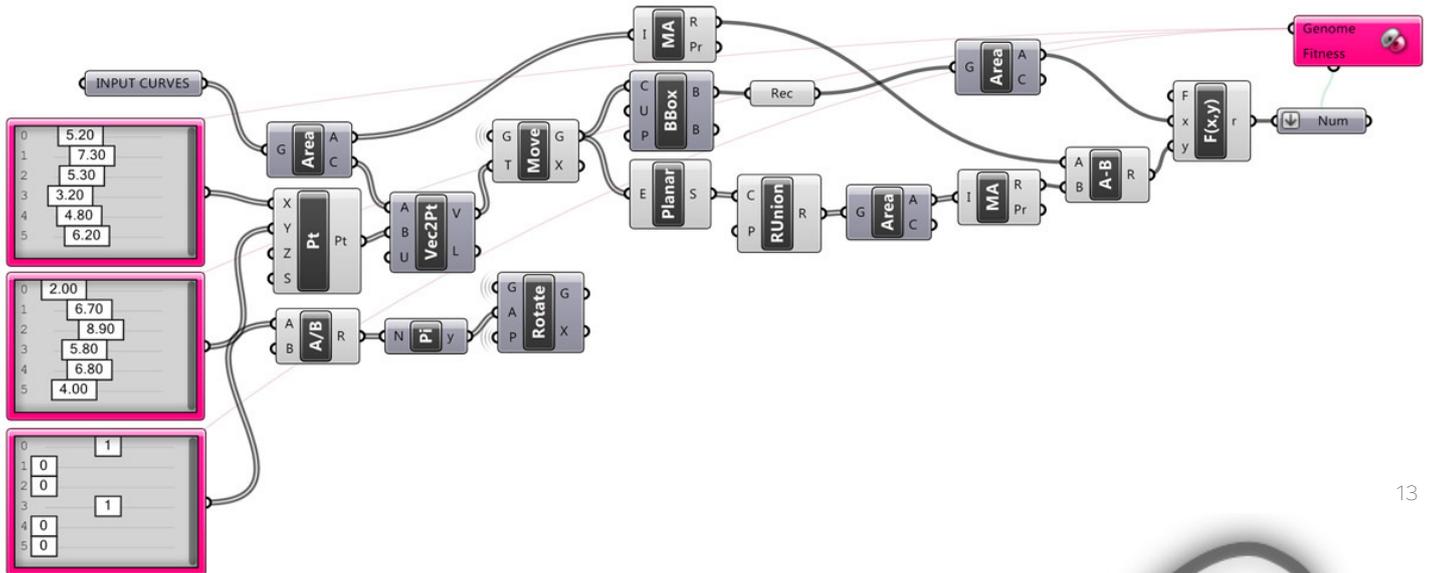
11



EVOLUZIONE

Una volta effettuata la ricombinazione i cromosomi ottenuti vengono trasmessi alla popolazione successiva. L'algoritmo genetico viene iterato per svariate generazioni fino al raggiungimento di un valore target definito secondo un criterio di terminazione. Questo può essere un numero di generazioni raggiunte, la convergenza verso un optima di fitness, o ancora l'ottenimento di una popolazione di soluzioni che soddisfano appieno i vincoli imposti.

Gli schemi evolutivi sono diversi, dalla completa sostituzione, dove tutti i membri della popolazione successiva sono ottenuti attraverso la selezione e ricombinazione, allo stato stazionario dove la popolazione successiva è accompagnata dalla generazione di un nuovo cromosoma ad ogni iterazione, il quale sostituisce un membro con fitness minore della popolazione d'origine. Un ulteriore schema di uso corrente è la sostituzione con elitismo con la quale si ha una sostituzione quasi completa ad eccezione di uno o due dei migliori individui della popolazione originaria i quali vengono preservati in quella successiva.



3.1 RISOLUTORI GENETICI

GALAPAGOS

Galapagos è un risolutore euristico sviluppato da David Rutten; applicando i principi dell'evoluzione naturale è in grado di ottimizzare un problema, massimizzando o minimizzando una soluzione, quindi approssimandola. Opera all'interno di Grasshopper, programma di modellazione algoritmica che lavora a sua volta all'interno del software di modellazione 3D Rhinoceros. Il suo utilizzo è consigliato laddove

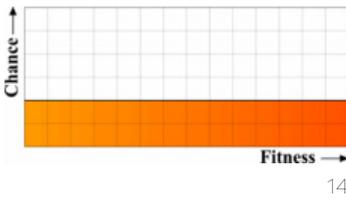
la quantità di variabili prese in considerazione sia tale da non consentire l'utilizzo di risolutori genetici esatti [8].

Galapagos applica i principi dell'evoluzione in ambiente virtuale, applicando una selezione in ragione del fitness, l'accoppiamento dei geni, l'incrocio del materiale genetico ed opportune mutazioni al fine di migliorare la soluzione ottenuta.

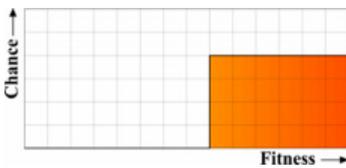
SELEZIONE:

L'evoluzione biologica viene raggiunta grazie ai processi di selezione che determinano quali individui possono accoppiarsi, influenzando la trasmissione genetica.

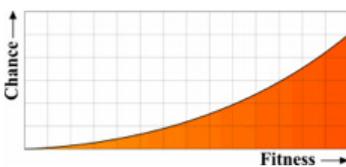
Oggi all'evoluzione naturale si affianca quella artificiale, la quale procede secondo la stessa logica, la regolamentazione degli accoppiamenti. Posso attuarsi diversi procedimenti [9].



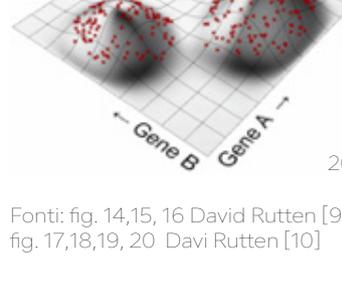
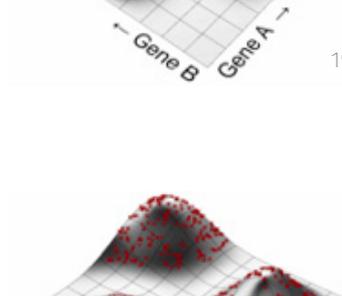
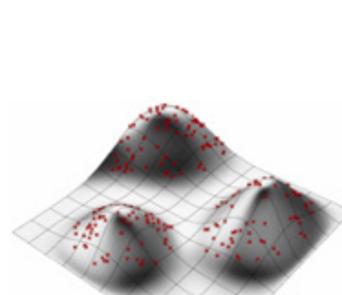
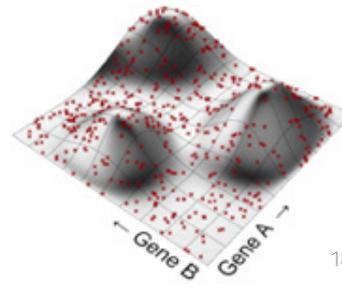
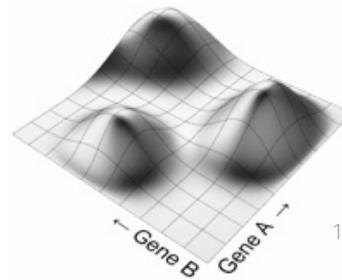
Nella selezione isotropica tutti i membri della popolazione possono accoppiarsi con probabilità uniforme (es. in natura: impollinazione naturale) (fig.14).



All'interno di Galapagos è possibile operare anche la selezione esclusiva, dove solo una percentuale della popolazione con fitness più alto può accedere alla riproduzione (fig.15).



Con la selezione parziale le probabilità di accoppiamento aumentano proporzionalmente all'incremento del fitness (fig.16) (naturacoppie stabili).



FITNESS:

L'ottante avente come 3 assi coordinati rispettivamente la rappresentazione del gene A e B e terzo asse del fitness perpendicolare ai primi due, è detto Paesaggio del Fitness (fitness landscape) (fig.17) [10].

E' possibile rappresentare anche un numero di geni n in uno spazio n+1 dimensionale.

Inizialmente il landscape viene popolato da una serie di geni secondo una modalità casuale (fig. 18).

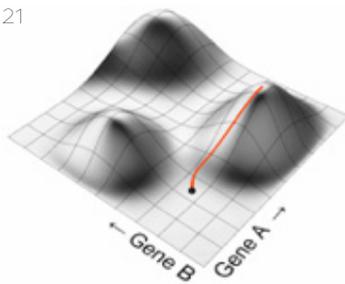
Il genoma in questo spazio è rappresentato dai valori dei geni, per esempio $\{A=0.4 B=0.2\}$ ai quali è associato determinato fitness (altezza).

Dopo aver gerarchizzato i fitness vengono eliminati i più bassi, per operare su quelli rimanenti (fig.19).

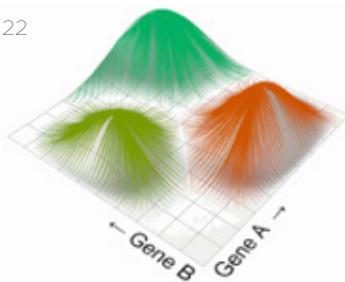
Successivamente vengono fatti riprodurre i migliori genomi per creare la successiva generazione (fig. 20).

Fonti: fig. 14,15, 16 David Rutten [9], fig. 17,18,19, 20 Davi Rutten [10]

Il procedimento viene iterato provocando il popolamento dei picchi di fitness, fino al raggiungimento del picco più alto. Il fitness ha una definizione particolarmente flessibile, è il progettista a stabilire in cosa consista in quanto conosce il particolare problema da risolvere.



Rimane da stabilire la discendenza del genoma. Le sue origini sono caratterizzate da un certo grado di casualità dato dal metodo di lavoro del risolutore, tuttavia è possibile tracciarne dei tratti distintivi [11].



In particolare si può notare come i discendenti genetici risalgano il pendio più ripido (fig.21).

Generalmente ciascun gene tende a massimizzare il proprio fitness in quanto il risolutore remunera i fitness più alti. La via più breve per raggiungere il più alto fitness possibile è di fatto il pendio con pendenza più elevata.

In (fig.22) è possibile osservare la rappresentazione di tutti i percorsi dei geni di maggior successo. Si evidenzia in questo caso il legame tra risolutore e il dominio del fitness; si dice che ogni picco rappresenta il bacino di attrazione attorno ad esso. La qualità del picco, e quindi della soluzione, non è proporzionale all'area del bacino. La soluzione potrebbe risiedere nel bacino caratterizzato da più bassa qualità, questo dipende da quale bacino venga popolato per primo.

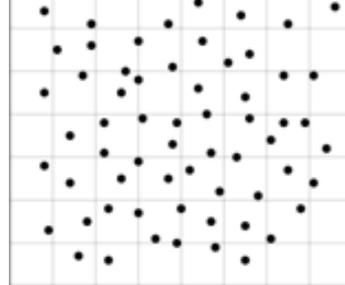
ACCOPPIAMENTO

L'accoppiamento in Galapagos è regolato dalla selezione per distanza genomica, definita come la distanza intercorrente tra due genomi in un valore n dimensionale, con n = numero dei geni [12]. Data la Mappa del genoma (fig.23) viene individuato il genoma medio (fig.24).

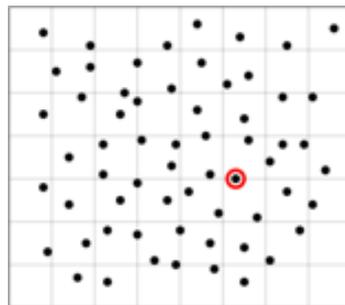
I geni più prossimi hanno caratteristiche analoghe, e così anche la prole ottenibile. L'incesto porta ad una diminuzione vertiginosa della diversità e aumentano le probabilità di rimanere bloccati in un optima locale (fig.25).

L'accoppiamento con geni troppo lontani porta a caratteristiche a lungo andare tra loro incompatibili (fig.26).

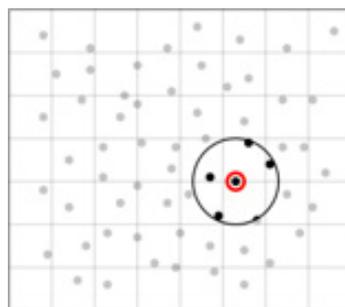
Va evitato anche l'accoppiamento zoofilo, dove si hanno a disposizione diverse sub specie. L'accoppiamento tra specie differenti farebbe cadere la prole in una zona in-



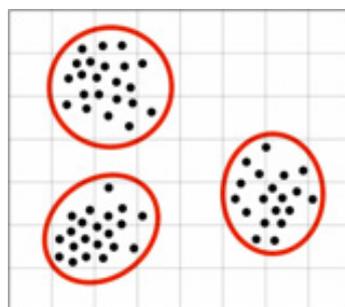
23



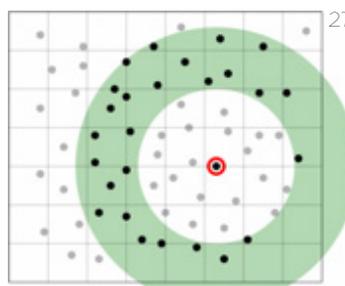
24



25



26



27

termedia, ma ogni specie sta scalando un picco, per cui la zona intermedia è un avvallamento del fitness. Per cui si cerca di equilibrare la distanza di riproduzione, In Galapagos può essere specificato un fattore che varia tra +/- 100%, rispettivamente totalmente fuori, totalmente dentro (fig.27).

COALESCENZA

All'interno di Galapagos i geni possono assumere qualsiasi valore numerico all'interno di un dominio assegnato. Una volta avvenuto l'accoppiamento resta da associare i valori ai geni della prole [13](fig. 28).

Operando per analogia con i processi naturali si può usare la Coalescenza (crossover coalescence).

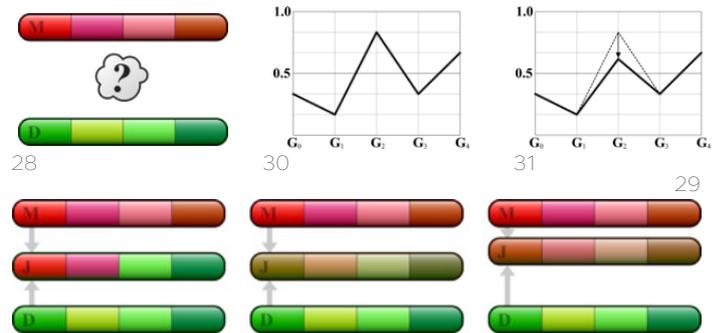
I figli ereditano una percentuale casuale di materiale genetico dalla madre e il restante dal padre, preservando il valore associato al gene. Con la la blend coalescence (coalescenza d'unione) verranno calcolati nuovi valori da associare ai geni a partire da una media dei valori (interpolazione dei geni parentali) (fig.29). E' possibile fornire anche una preferenza di fusione, favoreggiandola trasmissione dei geni del genitore con maggior fitness.

MUTAZIONI

Per evitare di un deterioramento della popolazione e una conseguente diminuzione della biodiversità è opportuno rendere possibili delle mutazioni[14].

La (fig. 30) è il grafico del genoma.

Mentre nella (fig. 31) è rappresentato il punto singolo di mutazione del genoma, unico tipo presente in Galapagos.



Fonti: fig. 21, 22 David Rutten [11], fig. 23-27 David Rutten [12], fig. 28,29 David Rutten [13], fig. 30, 31 David Rutten [14].

EMBRYO

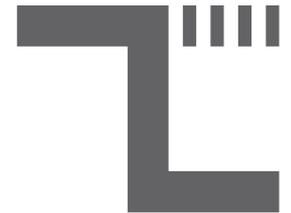
Embryo è un plug-in utilizzabile nel software Grasshopper sviluppato da John E. Harding [15]. Esso si serve della mappatura indiretta del genotipo in modo da generare automaticamente dei modelli algoritmico-parametrici.

Tale metodologia si presta particolarmente nelle fasi iniziali del design.

Harding ha sfruttato le similitudini con la programmazione genetica (genetic programmino GP);

in particolare nella Cartesian Genetic Programming (CGP) si generano dei grafi, Direct Acyclic Graph DAG, espliciti molto simili a quelli usati nella modellazione parametrica, utilizzando però una codifica di genotipo intero[15] (fig.33). Sinteticamente :

- ogni nodo nel grafico è una funzione con ingressi e uscite.



32

- il metodo di codifica permette di stabilire quali uscite nel grafico collegare agli ingressi del nuovo nodo, da una funzione specifica contenuta in una lista di selezione.

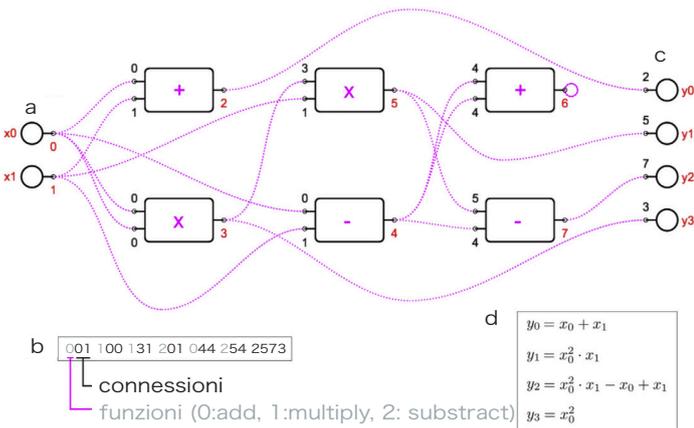
- i nodi di terminazione sono il fenotipo, che può essere espresso anche sotto forma di equazione.

Embryo applica una forma di CGO ai modelli parametrici. I DAG creati automaticamente possono essere affiancati a quelli creati manualmente. L'algoritmo iniziale necessita di tre tipologie di parametri che insieme costituiscono il genotipo di Embryo : parametri esterni, componenti del grafico e struttura topologica.

Harding descrive i parametri necessari per il funzionamento del suo plug-in e ne spiega caratteristiche e azioni [15](fig.34):

- 1) geni metrici: controllano i valori degli sliders generati e hanno una mappatura numerica diretta
- 2) geni di funzione: quando un componente viene aggiunto al grafico, questi controllano il tipo di com-

33



58

ponent selezionato da un determinato set di componenti che costituiscono gli ingredienti dell'algoritmo automatizzato.

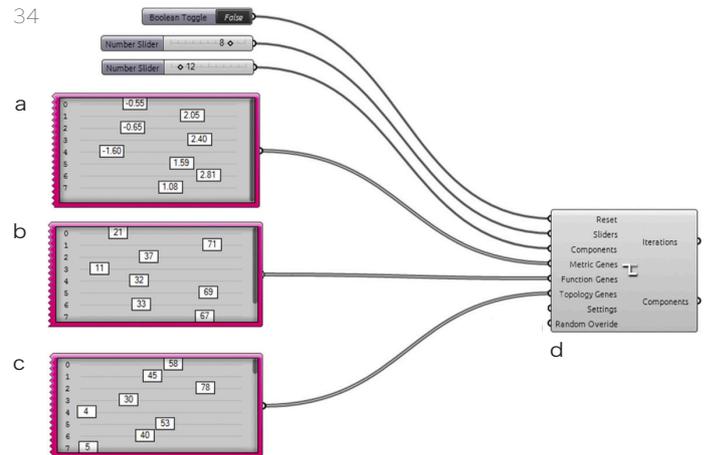
- 3) geni topologici: basati su valori che mappano la posizione di uscita per ciascun component in ingresso, durante la formazione del grafico. E' possibile collegare un solo filo ad ogni ingresso (input) ma le uscite possono essere utilizzate più volte.

Embryo investiga in sostanza dei problemi combinatori, aumentando la complessità e la varietà dei diversi scenari prodotti (fig.35).

La grande potenzialità di questo metodo risiede nel fatto che il genotipo possa essere facilmente combinato con dei risolutori euristici come ad esempio Galapagos.

Si arriva in questo modo alla costruzione di un modello che Harding definisce metaparametrico che ottimizza il modello parametrico generato da Embryo.

34



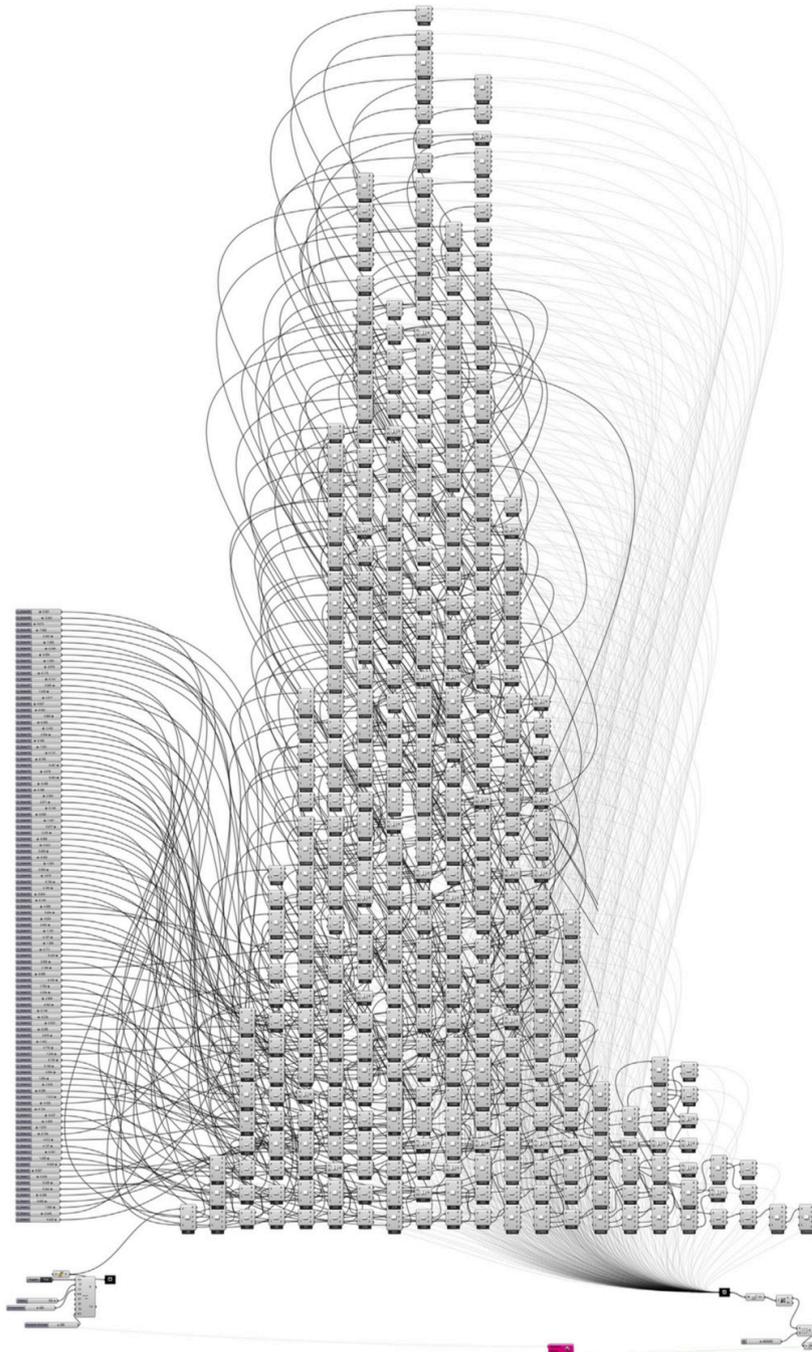
59

33. Grafo con (a) parametri iniziali, (b) metodo di codifica, (c) nodi terminali o fenotipo, (d) fenotipo in forma di equazioni

34. Embryo e i parametri necessari per il suo funzionamento, (a) geni metrici, (b) geni di funzione, (c) geni topologici, (d) Embryo

35. L'output di Embryo è un algoritmo molto complesso, generato automaticamente, in questo caso in accoppiamento con Galapagos.

Fonti: fig. 33, 34, 35 John E. Harding [15]



NOTE

- [1] John McCall, Genetic algorithms for modeling and optimisation; in "International Journal of applied Mathematics and Informatics", 2011, pp. 205-222
- [2] Jeff Hardin, Gregory P. Bertoni, Lewis J. Kleinsmith, Il mondo della cellula; Napoli: EdiSES, 2002
- [3] John Frazer, An evolutionary architecture; London : Architectural Association, 1995
- [4] Vishal Singh, Towards an integrated generative design framework; Elsevier, 2011
- [5] John H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems, USA (MI): The University of Michigan Press, 1975.
- [6] Fernando Gómez, Alberto Quesada, Genetic algorithms for feature selection in Data Analytics, neuraldesigner, <https://www.neuraldesigner.com/blog/genetic_algorithms_for_feature_selection> (consultato il 11 Luglio 2018)
- [7] Jain Shubham, Introduction to Genetic Algorithm & their application in data science, analyticsvidhya, <<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/07/introduction-to-genetic-algorithm/>> (consultato il 11 Luglio 2018)
- [8] Arturo Tedeschi, AAD_Algorithms Aided Design; Brienza: Le Penseur Publisher, 2014
- [9] David Rutten, Evolutionary Solvers: Selection, Wordpress, <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/selection-mechanisms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)
- [10] David Rutten, Evolutionary Principles applied to Problem Solving, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/> > (consultato il 10 Luglio 2018)
- [11] David Rutten, Evolutionary Solvers: Fitness Functions, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/fitness-functions/> > (consultato il 10 Luglio 2018)
- [12] David Rutten, Evolutionary Solvers: Coupling,

- Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/coupling-algorithms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)
- [13] David Rutten, Evolutionary Solver: Coalescence, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/05/evolutionary-solver-coalescence-algorithms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)
- [14] David Rutten, Evolutionary Solver: Mutations, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/05/evolutionary-solver-mutations/>> (consultato il 10 Luglio 2018)
- [15] John E. Harding, Meta-Parametric Design, Elsevier, 2016

IMMAGINI fonti

1. http://www.c3dis.com/wp-content/uploads/2015/06/c3dis_2018_Joel-Ludbey-updated.pdf
2. post-produzione a cura dell'autore, da <https://www.pinterest.es/pin/513621532486951946/>, https://kr.123rf.com/photo_60937695_%EC%84%B8%ED%8F%AC-%ED%95%B5-%EB%82%B4%EB%B6%80-chromatine-nucleus-%ED%95%B5%EC%86%8C%EC%B2%B4-%EC%9D%B8%EC%B2%B4-%EC%84%B8%ED%8F%AC-%EC%A7%84%ED%95%B5-%EC%84%B8%ED%8F%AC%EC%9D%98-%ED%95%B5-.html, <https://scienze.fanpage.it/editing-genetico-dall-italia-una-svolta-storica-creata-arma-che-elimina-solo-il-dna-malato/>, <https://www.dreamstime.com/stock-photo-chromosome-scientific-concept-medical-symbol-gene-therapy-depth-field-effect-d-illustration-image76666335>

- 4, 5, 8, 9, 11. Rielaborazione a cura dell'autore, da [6]
3, 7, 10. Rielaborazione a cura dell'autore, da [7]
6. https://es.123rf.com/photo_69760143_cromosomas-humanos-x-e-y-en-colores-de-fondo-ilustraci%C3%B3n-3d.html
12. <https://www.designcoding.net/packing-objects-with-galapagos/>
13. <https://www.grasshopper3d.com/group/galapagos>
14, 15, 16. [9]
17, 20. [10]
21, 22. [11]
23, 24, 25, 26, 27. [12]
28, 29. [13]
30, 31. [14]
32. <https://www.grasshopper3d.com/group/embryo>
33, 34, 35. [15]

04

FATTORE
UMANO

+

AUTORIALITÀ

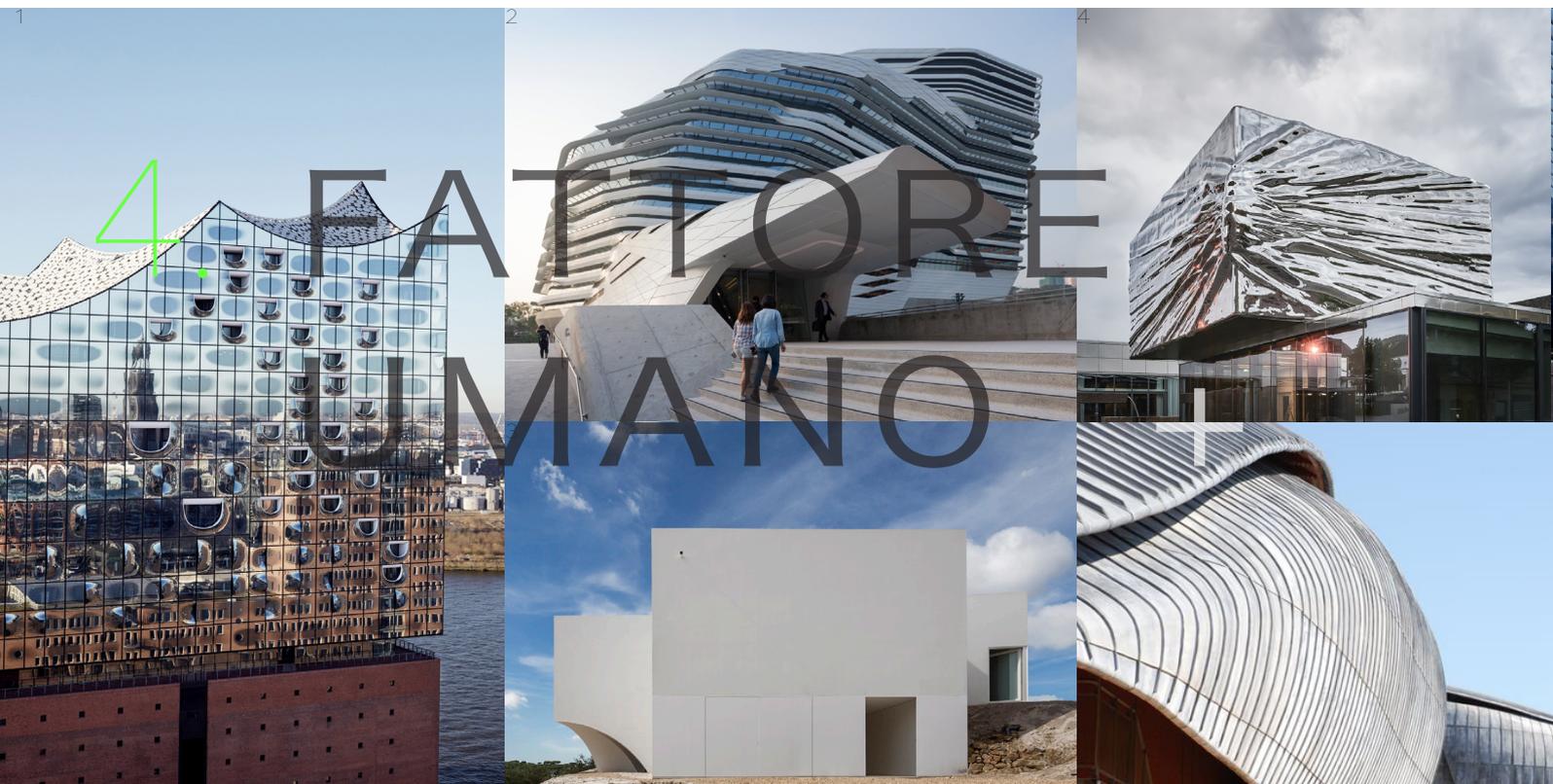
E' importante dare luogo ad una riflessione circa il ruolo dell'Architetto in un progetto. Nella visione contemporanea all'Architetto è demandata la funzione creativa e di regia delle varie discipline coinvolte nel processo di design. Ma i suoi compiti e la percezione esterna alla disciplina hanno subito diversi mutamenti nel corso della storia.

La figura dell'Architetto, come redattore di un progetto, nasce nel Rinascimento; prima di allora l'opera era frutto dal "saper fare" della manodopera, dei maestri scalpellini e in generale, dalla cultura del cantiere. Nel '500 il progetto si avvale di tutte le tecniche del disegno, della forza delle proiezioni or-

togonali, della prospettiva, che insieme costituivano un dominio metrico e spaziale mai raggiunto fino ad ora.

Lo status e competenze della professione, rimangono pressoché inalterate fino alla Rivoluzione Industriale. Il grande avanzamento tecnologico che ne conseguirà, renderà infatti le sue mansioni estremamente differenti da quelle ricoperte solo un secolo prima. Di pari passo muta anche l'immaginario che ne viene restituito.

Se prima era necessario disegnare ogni minima parte dell'edificio -arrivando ad una scala di dettaglio considerevole- e l'idea dell'Architetto investiva il



fabbricato in ogni sua parte, ora con l'avvento dell'industrializzazione e quindi la possibilità di poter reperire elementi architettonici preconfezionati, tutto cambia. L'Architettura subisce, suo malgrado, la contaminazione dell'ingegneria e della tecnologia. Si assiste ad un passaggio dall'Architettura in senso classico come riparo, abitazione, luogo funzionale, ad una Architettura della performance e di propaganda.

Ne è emblematico il caso della facciata vetrata. Questo nuovo elemento architettonico, prefabbricato, è stato utilizzato per risolvere il problema dell'illuminamento in tipologie completamente differenti tra

loro. Cambia però il rapporto semantico tra vetro e luce.

Per capire il legame tra architetto-edificio-pubblico, può essere utile studiare le campagne pubblicitarie o le rappresentazioni presenti nelle riviste, nei giornali o nei libri nel '900.

Consideriamo la campagna promozionale di una scuola e di una fabbrica, in diversi periodi storici, compiute precisamente a distanza di 19 anni [1].

La prima è stata pubblicata in Germania nel 1936 per promuovere il miglioramento delle condizioni di lavoro in fabbrica; l'organizzazione che le ha realizzate chiamata Schönheit der Arbeit (letteralmente



SCHÖNHEIT DER ARBEIT

JAHRGANG 11 HEFT 3

BERLIN - JULI 1939



“la bellezza del lavoro”), scelse di mostrare un allineamento di lavoratori sotto la luce del sole, i quali potevano beneficiare, grazie alla facciata di vetro, del landscape esterno (fig.8). Questa campagna è figlia della grande rivoluzione -in ambito architettonico- conseguente alla realizzazione delle officine Fagus di Walter Gropius (1911). Influenzato dalla figura del lavoratore, ora elevata da Marx, propose una fabbrica in grado di garantire una qualità di vita migliore ai suoi dipendenti (nell’800 la fabbrica era un luogo malsano e con scarse, se non inesistenti, caratteristiche estetiche di pregio). Il protagonista assoluto è appunto il vetro, che da quel momento poteva coprire luci considerevoli, grazie al progresso tecnologico. La trasparenza era una caratteristica necessaria al fine di accentuare la dignità del lavoro, non più confinato da cortine murarie scarsamente bucate. La seconda immagine risale invece al 1955, USA, e viene pubblicata in una situazione politica differente da una organizzazione privata (fig.9). Anche qui la facciata è costituita da una finestratura continua, la quale pone l’enfasi sull’estetica della trasparenza, il panorama e i ragazzi felici perché gli è consentita la vista verso l’esterno.

Durante i 19 anni intercorrenti tra la pubblicazione delle due immagini la storia è scossa da diversi eventi tragici, la seconda guerra mondiale e la bomba atomica tra questi. Parimenti, anche la storia dell’Architettura si arricchisce di eventi importanti, come la ricostruzione dei centri bombardati, la diffusione dell’International Style e progetti cruciali come la Casa Kaufmann di Wright, L’Unité d’Habitation e Notre-Dame du Haut di Le Corbusier, la Glass House Philip Johnson o la Farnsworth House di Rohe, tutti complici dello sconvolgimento in senso profondo della disciplina. Pur riferendosi a con-

dizioni diverse, alcuni elementi permangono immutati. E’ il caso della fabbrica e della scuole portati ad esempio, le quali sopravvivono con le stesse caratteristiche, nonostante i 90 anni che separano le due pubblicazioni.

Un elemento le accomuna forse più di tutte, ed è il punto che si vuole evidenziare con più forza tramite questi esempi: nei due casi non vengono menzionati gli autori, le immagini mostrano qualcosa che compete l’architettura ma al di fuori del campo dell’architettura, si propone un’interpretazione e una percezione degli elementi architettonici, adattando situazioni differenti a questo scopo.

Qual è dunque il ruolo dell’architetto?

L’autore in queste opere non è pervenuto, la sua firma si eclissa negli elementi prefabbricati, l’architetto è colui che assembla componenti da catalogo. L’autorialità, la mano, l’essenza del suo ruolo dovrebbe emergere spontaneamente dalla sua opera. I media ci restituiscono l’immagine di architetti, i più famosi per lo meno, ritenuti capaci di proporre forme inedite, con una forte connotazione estetica che ne determina il giudizio finale. Si potrebbe allora dedurre che quando l’architetto non eserciti scelte di stile, la sua figura venga snaturata e quindi venga meno la sua riconoscibilità; di più non avrebbe senso, e non sarebbe interessante, conoscere chi abbia ideato un dato elemento tecnico, il quale assolve semplicemente la sua funzione, senza la pretesa di lusingare i sensi in alcuna maniera.

Ne consegue che sia necessario padroneggiare e bilanciare sapientemente elementi tecnici, funzionali, espressivi ed artistici affinché si possa rintracciare un rapporto diretto tra la figura dell’Architetto e il suo lavoro. Certamente questo presuppone capacità creative.

Ma cos'è la creatività?

Prendendo in prestito le parole di Samuel Johnson, creatività è

“ l'accoppiamento inaspettato di idee, la scoperta di alcune relazioni occulte tra le immagini all'apparenza distanti tra loro [...] presuppone un accumulato di conoscenza; un magazzino di memoria dal quale l'immaginazione possa attingere per comporre nuove combinazioni [...] colui che non ha nulla di suo [...] deve vivere di prestiti o di furto” [2].

Alla luce di questa definizione di creatività dunque, comporre un edificio semplicemente prendendo a prestito da cataloghi questo o quell'elemento, non può essere inteso come atto creativo, in quanto manca l'elemento di originalità che faccia sì che l'accoppiamento sia inaspettato e sorprendente, rendendo palese la matrice mentale alle sue spalle.

Il dibattito sul ruolo dell'architetto non si è -ad oggi- spento. Ora più che mai infatti, si discute la veste che egli assume all'interno del processo. Abbiamo quasi certamente raggiunto una soglia critica nella storia, oltre la quale la definizione stessa di Architetto cambierà. I nuovi strumenti tecnologici infatti, hanno cambiato notevolmente il modo di progettare e quindi, per estensione, tipo e quantità di apporto umano richiesto.

Fino ad ora gli architetti hanno sempre utilizzato il disegno come strumento di progettazione; il fatto stesso di concretizzare e ordinare le proprie idee attraverso la rappresentazione ha distinto l'architettura dalla pura costruzione. L'idea veniva quindi tradotta in una serie di gesti che si traducevano in enti geometrici. Si veniva ad instaurare così un rapporto diretto tra idea e segno [3]. La rappresentazione

tradizionale stabiliva semplicemente dei rapporti tra le parti, escludendo qualsiasi tipo di informazione aggiuntiva. Il CAD non ha significato in questo senso una vera e propria rivoluzione nel metodo, in quanto si trattava solo di ripetere le stesse operazioni in ambito digitale. Il cambiamento è avvenuto non appena si è cercato di attribuire al segno grafico un significato più ampio.

Si tratta ora di definire le competenze e il grado di partecipazione che il progettista riesce a raggiungere in quelle metodologie che in un certo senso, automatizzano il processo, oggetto di questa tesi.

Il *modus* tradizionale subì una prima evoluzione una volta introdotto l'approccio del *form finding*, emerso alla fine dell'800, il quale metteva in relazione aspetti riguardanti i materiali, la forma e la struttura. Si faccia riferimento a tal proposito agli studi compiuti da Antoni Gaudì con le catenarie, ad Heinz Isler per il grandissimo contributo nello studio e nella realizzazione delle shell, al contributo rivoluzionario di Frei Otto nello studio delle superfici minime a curvatura media nulla, così come all'opera dell'ingegner Sergio Musmeci, i quali hanno trovato ispirazione, per il loro lavoro, nei processi auto organizzativi naturali. Il disegno tradizionale non era più in grado di descrivere il risultato desiderato e venne così sostituito da modelli fisici (film di sapone, tessuti sospesi o bagnati, strutture ramificate, modelli con la sabbia etc.).

Un ulteriore superamento delle metodologie tradizionali, venne compiuto grazie alla definizione di Architettura Parametrica introdotta nel 1939 da Luigi Moretti. La svolta si ebbe grazie alla sua ricerca su “le relazioni tra le dimensioni dipendenti da vari parametri” che sfociò nel progetto di uno stadio per il tennis, il nuoto e il calcio (1960). La forma finale

era generata dal calcolo di pseudo isocurve le quali cercavano di ottimizzare i punti di vista da varie posizioni nello stadio [3] (fig.10).

La rivoluzione più grande è avvenuta negli anni '80 quando si è cercato di ampliare l'esplorazione geometriche attraverso la programmazione. In questo modo potevano essere ottenute soluzioni più complesse che andavano oltre le capacità umane. La modellazione, in questo senso, si avvale di una un insieme di step messi in successione logica, gli algoritmi. Con questo procedimento è possibile scomporre un problema in una serie di semplici azioni facilmente computabili. Negli anni sono stati sviluppati una grande varietà di algoritmi, tra questi gli algoritmi genetici e gli algoritmi evolutivi che costituiscono il cardine di questo lavoro. Il loro risultato è ottenuto dalla somma di step deterministici; l'au-

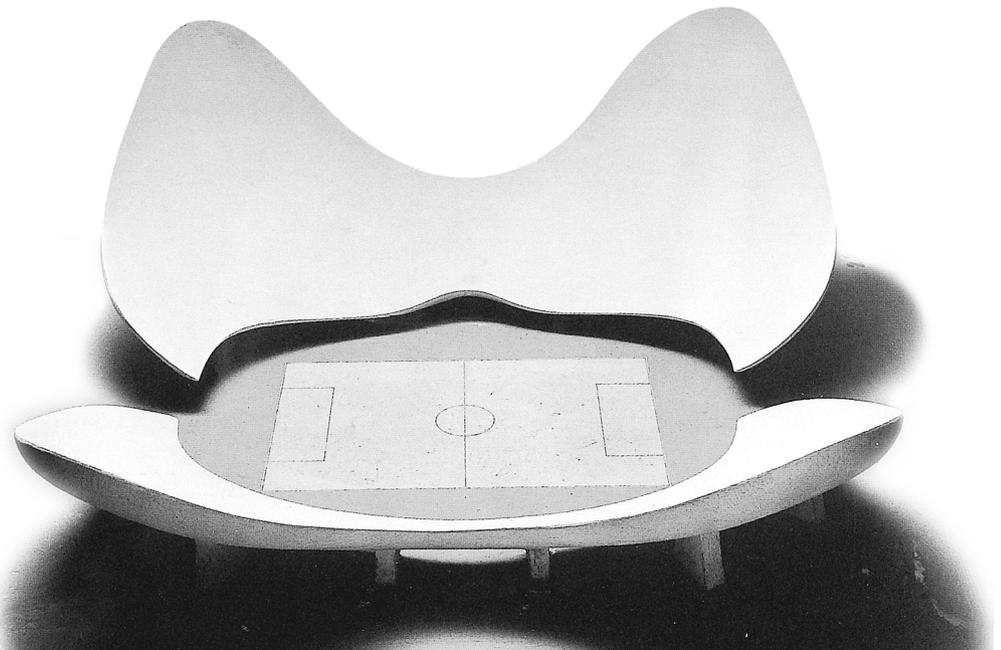
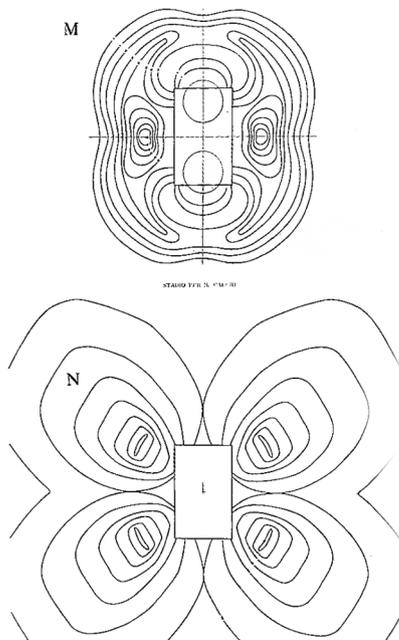
tore scrive le righe di codice ed è per lui impossibile anticipare esattamente l'output per via del numero di linee e step del processo.

L'oggettiva determinatezza è accoppiata alla soggettiva indeterminata [4].

Durante la fase di design, le intenzioni sono chiare ma si è ignari del risultato. La preoccupazione è che il processo sia scarsamente controllabile -alla stregua della riproduzione di un virus- ma è altresì vero che lo sfruttamento delle qualità del design naturale, utilizzando le proprietà degli automi cellulari accompagnati dagli algoritmi genetici, potrebbe potenzialmente determinare un miglioramento dell'ambiente costruito nel suo insieme.

Il computer diverrebbe quindi una risorsa di ispirazione, una vera e propria musa elettronica che affianca la creatività dell'Architetto [5].

10



Igor Aleksander, eminente esponente delle reti neurali, rende testimonianza di quanto il cervello umano sia estremamente capace nel creare delle ipotesi in base alle esperienze e a ritrovare conoscenza nella memoria, a percepire analogie e formare associazioni tra istanze isolate. In queste peculiarità della mente risiedono gli strumenti tradizionali per la formulazione di idee in architettura.

L'elaborazione del concept è stata fino ad oggi demandata alle sole capacità umane, ma stanno prendendo piede alternative meta-euristiche che potrebbero ribaltare la situazione.

Questa metodologia richiede dei cambiamenti nel lavoro dell'architetto. Il generico approccio deve essere reso esplicito per essere espresso in codice genetico, al fine di permettere l'evoluzione degli elementi in ambito virtuale.

L'architetto assume un ruolo inedito, deve definire i criteri per valutare un'idea e inglobare il parere del cliente, rendendo il processo partecipativo.

I suoi compiti vengono quindi accresciuti invece che diminuiti, in quanto chiamato a giudicare diverse generazioni di design [5]. L'intero iter raggiunge così un livello di sofisticatezza e complessità superiore rispetto alla economia del metodo corrente. Gli è richiesto uno sforzo maggiore per sviluppare un proprio linguaggio che si manifesti esplicitamente, nonostante la complessità dell'output, rendendo possibile l'individuazione della sua cifra anche al generico pubblico.

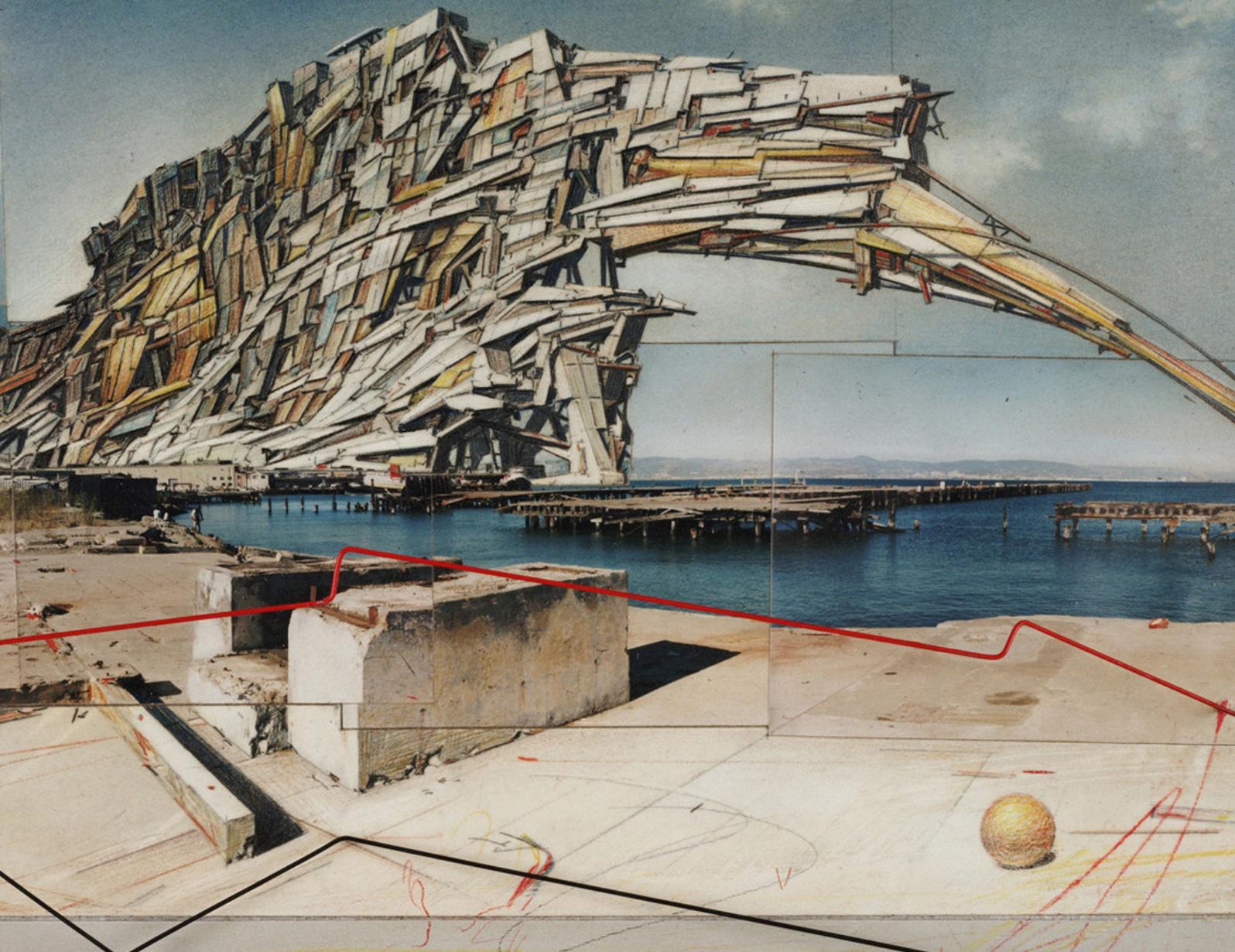
Riuscire a far emergere la propria firma in un processo computerizzato, dove è possibile automatizzare anche la fase di concept e l'apporto umano è circoscritto -soprattutto in certe fasi particolarmente rigide- è impresa assai ardua.

Lo schizzo e il disegno a mano rimane il mezzo

che garantisce maggior corrispondenza tra idea e output. Il disegno, prevedendo un apporto diretto, dove il pensiero viene mediato solo dalla mano, può a differenza delle procedure computerizzate, liberarsi dalle costrizioni della statica e dai vincoli della materia. In questo senso sono emblematiche le tavole di Libbeus Woods [6]. Queste mostrano il tentativo di esplorare idee complesse, soprattutto di spazi sociali, attraverso una espressività tale da rendere facilmente individuabile il contributo autoriale riversato nella loro produzione. Woods intendeva il disegno come un processo sperimentale, senza fine, il quale non poteva essere dominato appieno in quanto non poteva prevedersi una fine, o addirittura il risultato (fig.11). È interessante rilevare il parallelo esistente con l'applicazione dei sistemi complessi in architettura i quali implicano un notevole grado di incertezza circa l'output finale. La sperimentazione è una particolare attitudine della mente che porta alla risoluzione di problemi attraverso l'invenzione di nuove idee, tramite il disegno.

Di contro, nella progettazione parametrica algoritmica, al progettista è richiesto di stabilire delle relazioni tra il genotipo e il fenotipo per poter assicurarsi il controllo del processo, fino ad ora ottenuto nel disegno[8].





L'utilizzo di queste metodologie ridefinisce i confini del design in quanto il progetto non si avvale più del disegno minuzioso di ogni singola componente, ma è il risultato di un processo di generazione che risponde ad una trama di relazioni tra gli elementi derivante dall'astrazione algoritmica.

L'applicazione dei processi evolutivi nella fase di design ha senso fino a quando il risultato ottenuto possa essere selezionato da un ampio bacino di possibili soluzioni, altrimenti impossibili con l'uso di metodi tradizionali [8].

A questo proposito potrebbe essere utile riferirsi al

pensiero filosofico Deleuziano [8].

- sfruttare le proprietà delle popolazioni dell'individuo per la generazione di forme introducendo anche la possibilità di piccoli errori, in analogia alle mutazioni naturali, al fine di ottenere risultati migliori.

- pensiero intensivo, che prevede la suddivisione tra quantità intensive, ovvero quelle grandezze le quali possono essere suddivise (es. lunghezza), e quantità estensive non suddivisibili (es. temperatura). Una proprietà di tali quantità è che una differenza di intensità tende spontaneamente ad estinguersi per via dei flussi di materia ed energia. In tale differenza di intensità risiede il potenziale creativo di nuove forme (es. embriogenesi).

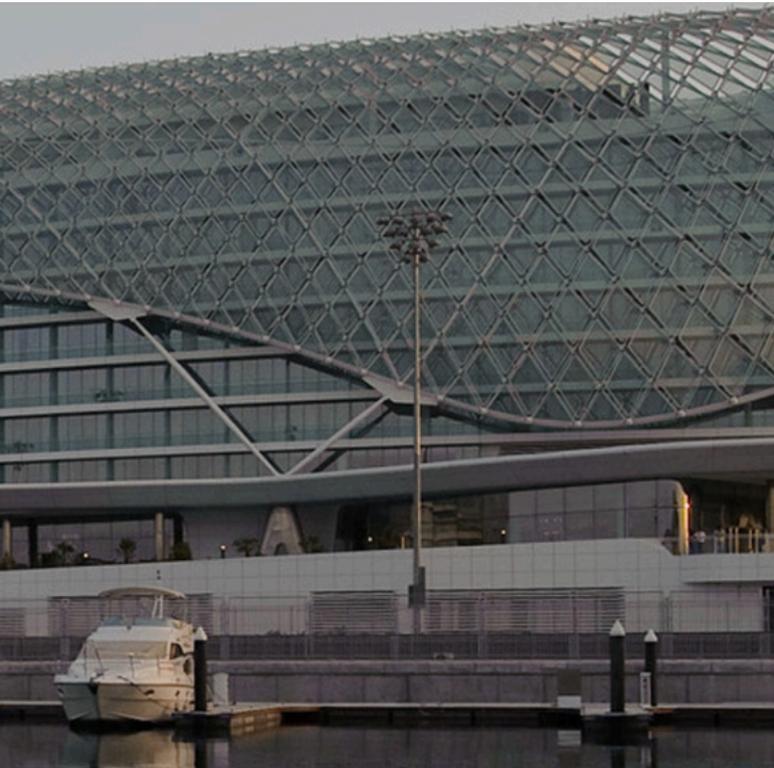
- pensiero topologico per permettere delle trasfor-

mazioni ammissibili nel mondo reale, le quali evitano allungamenti senza strappi, piegature senza incalcolamenti, compenetrazioni ecc. L'embriogenesi può potenzialmente produrre una grande varietà di forme, questo grazie al piano topologico.

Come si è visto la figura dell'architetto ha subito nella storia diverse rivoluzioni con l'invenzione di nuovi metodi di rappresentazione, con l'industrializzazione, l'introduzione del computer e ultimamente di algoritmi capaci di automatizzare intere parti del processo. Per ognuna di questi punti di crisi egli ha dovuto rendersi interprete e mostrare una certa reattività per dominare gli eventi e non soccombervi. Soltanto coloro i quali abbiano saputo sviluppare una propria cifra stilistica, capace di emergere a prescindere dal mezzo utilizzato per produrla, han-



no potuto godere di una certa riconoscibilità. Ora più che mai la sfida si fa più dura. Il rischio è che il processo sovrasti le prerogative del progettista il quale potrebbe rivestire il ruolo passivo di spettatore, senza avere reali possibilità di intervento. Lo strumento dovrebbe essere assoggettato all'idea o concorrere al suo miglioramento, non il contrario. A tal fine è necessario coltivare in prima battuta una serie di conoscenze degli strumenti e maturare contestualmente un gusto, un modo espressivo con il quale si possa intervenire, e operare un'influenza attiva su determinate parti del processo, seppur computerizzato, al fine di ottenere un output che sia espressione -nonostante possa essere completamente impreveduto- di considerazioni effettuate a monte del processo automatizzato.



NOTE

- [1] Manfredo Nicolis di Robilant, Elemental permanence, or the indifference of modern Architecture. A research project on Authorship and contemporary Architecture; ciclo di conferenze, serie: Architecture: Conjectures and Refutations, Politecnico di Torino, 2018.
- [2] Samuel Johnson, The works of Samuel Johnson, LL.D; Londra: Luke Hansard & Sons, 1810
- [3] Arturo Tedeschi, AAD_Algorithms Aided Design; Brienza: Le Penseur Publisher, 2014
- [4] Patrik Schumacher (a cura di), Parametricism 2.0; Wiley, 2016
- [5] John Frazer, An evolutionary architecture; London : Architectural Association, 1995
- [6] Per-Johan Dalh, 30 boards, rediscovering Libbeus Wood's Exhibition in Oneonta; ciclo di conferenze, serie: Architecture: Conjectures and Refutations, Politecnico di Torino, 2018
- [7] RIEA, riera, <<http://www.riea.ch/upload/RIEA%20Live-Gigs.pdf>>, (consultato il 1 Luglio 2018)
- [8] Manuel DeLanda, Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture; 2002

IMMAGINI fonti

1. <http://www.worldarchitecturenews.com/project-images/2016/26812/herzog-de-meuron/the-elbphilharmonie-in-hamburg.html?img=5>
2. <http://www.zaha-hadid.com/architecture/jockey-club-innovation-tower/>
3. <https://www.archdaily.com.br/br/01-173496/casa-em-fontinha-slash-manuel-aires-mateus-plus-sia-arquitectura/52eace03e8e44e2dbe000022>

4. <https://snohetta.com/projects/145-lillehammer-art-museum-and-lillehammer-cinema-expansion>
5. <http://www.amibozar-kemper.com/pages/sorties-voyages/2015.html>
6. <https://www.archdaily.com/783965/world-trade-center-transportation-hub-santiago-calatrava/58505d09e58ece894b000034-world-trade-center-transportation-hub-santiago-calatrava-photo>
7. https://www.domusweb.it/it/architettura/2013/12/13/fuksas_aeroportodishenzen.html
8. Post produzione a cura dell'autore, da <https://www.abebooks.com/book-search/author/deutsche-arbeitsfront-herausgeber/first-edition/>
9. <https://www.art.com/gallery/id--a273312/ben-kimberly-prins-posters.htm>
10. Post produzione a cura dell'autore, da <http://www.danieldavis.com/thesis-ch2/>
11. <https://www.archdaily.com/tag/lebbeus-woods>
12. <https://www.arup.com/projects/yas-hotel>

05

METODO

5. METODO

Le teorie esposte nei capitoli precedenti hanno avuto come esito un progetto, in modo da testarne la fattibilità e la capacità di soddisfare le esigenze del programma del concorso.

Si é pertanto scelto di creare un automa cellulare in Grasshopper (fig.2a). In prima battuta sono stati forniti una serie di elementi necessari affinché l'automa potesse crescere. La prima fase era volta quindi all'individuazione della superficie sulla quale é stata impostata una griglia, sede delle cellule. Questa é stata definita a partire da un'analisi delle direttrici principali offerte dal sistema viario e dei vettori di forza lungo i quali, in seguito, il progetto si sarebbe dovuto sviluppare.

Al fine di instaurare un dialogo armonico con il contesto urbano dove si operava é stato scelto di creare un proseguimento del vecchio tessuto residenziale estendendo il reticolo stradale che costituisce il limite principale per contenere la crescita dell'automa.

A seguito di un'operazione di reinterpretazione degli assi individuati é stato cosí definito il sedime del complesso.

In questa fase é stata di fondamentale importanza l'impostazione delle regole che reggono il funzionamento dell'automa per

applicare poi i principi evolutivi al sistema complesso ottenuto; tali regole, che nella pratica si riducono ad una serie di valori numerici indicanti il numero di cellule vive o morte da prendere in considerazione per la sopravvivenza nelle generazioni successive, costituiscono il genoma dell'automa.

L'automa, cosí definito, restituisce come output una serie di punti che ai fini progettuali sono stati considerati come i centroidi dei volumi degli alloggi residenziali.

La seconda parte dell'algoritmo ha il fine di operare una selezione tra i punti, in modo da tener conto delle volumetrie del contesto (fig.2b). Questo grazie all'esclusione di quelli che risultassero interni alle geometrie preesistenti, per ovviare ai conflitti che ne sarebbero conseguiti come penetrazioni, sovrapposizioni ecc. Infatti é stato previsto di recuperare sia le passerelle aeree sfruttandole per poter ottenere i cambi di quota necessari per mettere in comunicazione i diversi livelli dell'automa, sia gli edifici da cui le passerelle spiccano, nei quali sono state collocate alcune funzioni pubbliche come biblioteche, zona ristoro ecc. Mantenendo questa serie di strutture, le quali caratterizzano fortemente l'ex polo industriale, si é ottenuto un connubio equilibrato tra lo sviluppo di un nuovo organismo architettonico, che emula i principi di sviluppo naturale, e la preservazione dei manufatti preesistenti. In qualche modo é come se il complesso residenziale si sviluppasse come un organismo naturale che cerca di riappropriarsi dei suoi spazi

strappando di volta in volta spazio alla funzione industriale.

Parallelamente, al fine di complessificare ulteriormente il modello ottenuto, è stato utilizzato Embryo (fig.2c), il cui output rappresenta la serie di spazi comuni, visivamente differenziato con una diversa rotazione rispetto ai volumi delle residenze, i quali costituiscono il tessuto connettivo tra le varie abitazioni (fig.1c).

Scorporando gli spazi pubblici dai centroidi delle camere (fig.2d) è stata poi definita la geometria delle singole residenze (fig.2g). Questa trae ispirazione dalla morfologia del germoglio di soia. Una reinterpretazione e una stilizzazione delle sue caratteristiche ha portato all'ideazione di un volume leggermente bombato attraversato da un solco il quale crea un'ombra che arricchisce ulteriormente la complessità del prospetto.

Una volta definite le caratteristiche principali che governano l'automa è stato possibile applicare i principi evolutivi. A tal proposito è stato utilizzato Galapagos (fig.2e). Le regole di transizione dell'automa, contenute in un gene pool insieme al numero di generazioni, costituiscono il genoma che Galapagos sottopone ad una pressione evolutiva tale da trovare la soluzione che soddisfi, con un fitness crescente, il target assegnato. Ai fini progettuali il target è costituito dalle 1000 unità abitative richieste dal concorso. Si nota che Galapagos cerchi di pervenire a tale risultato alterando di volta in volta il valore dei geni, entro un

dominio assegnato.

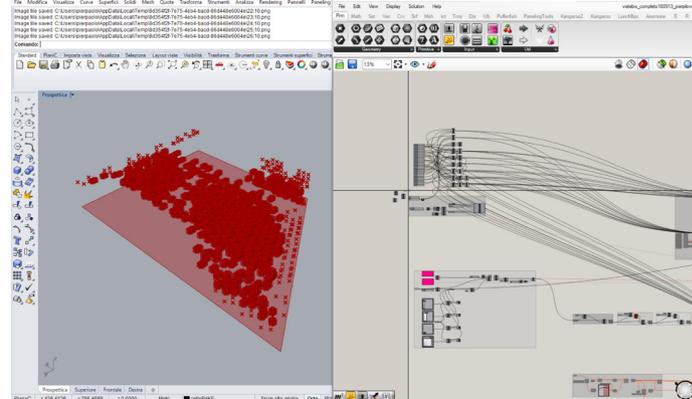
Infine si è scelto di enfatizzare il tema delle connessioni, le quali ricoprono un ruolo fondamentale all'interno della teoria dei complessi. Ciò che connota tali sistemi, infatti, è la trasmissione delle informazioni: ogni elemento è in comunicazione con gli altri.

Sfruttando questa caratteristica quindi è stato scelto di applicare tale caratteristica anche al progetto. Sono stati quindi utilizzati come base i punti dai quali sono stati generati dei ballatoi che si sviluppano in modo continuo, sia mettendo in relazione spaziale tutti gli elementi del sistema sia contribuendo, grazie alla loro geometria fluida e dinamica, all'analogia con la natura (fig.2f). Il sistema dei ballatoi infatti sembra reagire al contesto: lo circonda e ne viene attratto.

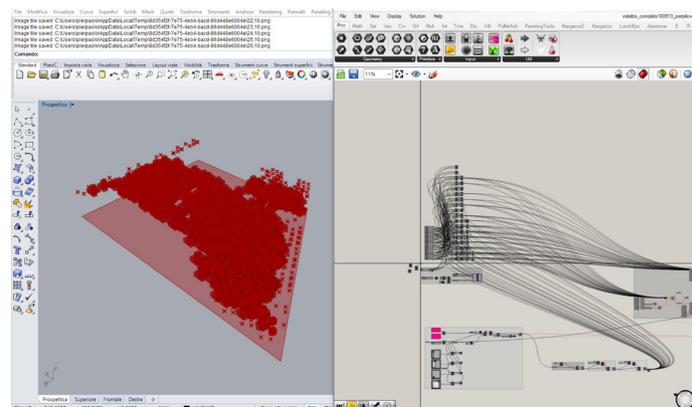
5.1 IL CONCORSO

Le metodologie proposte nel presente lavoro di tesi sono state applicate in un progetto architettonico. Si è fatto riferimento al Concorso Internazionale per studenti di Architettura indetto dall'UIA-HYP (Union International des Architectes) ospitato dalla Scuola di Architettura dell'Università di Tianjin e dall'Urban Environment Design Magazine (UED) insieme al contributo della Scuola di Architettura dell'università di Southeast [1].

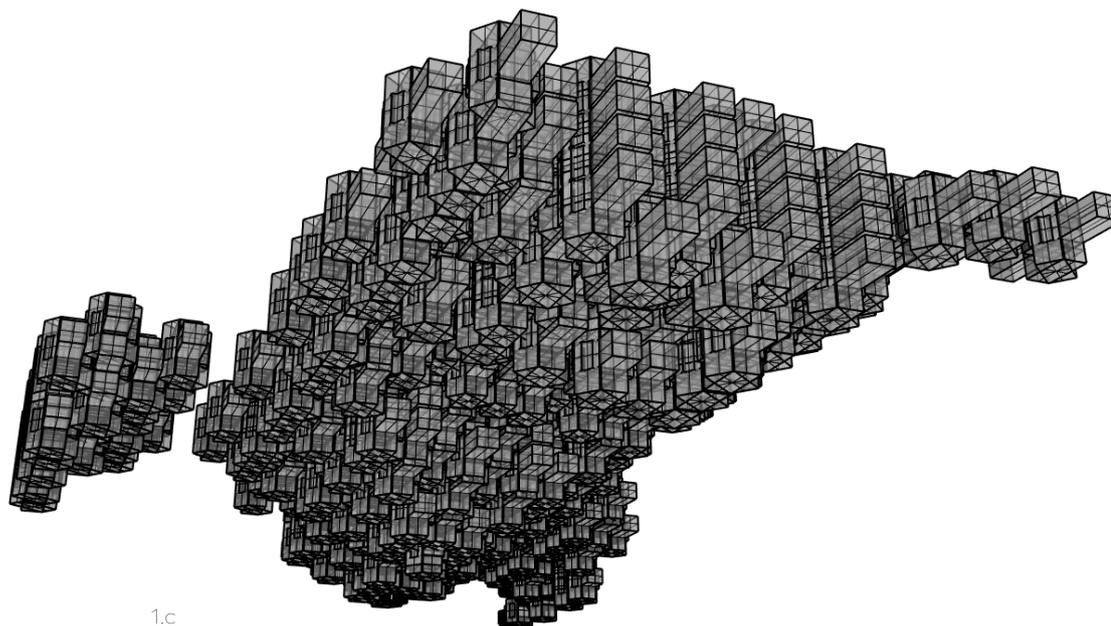
La design task prevedeva la creazione di 1000 piccole unità abitative, da 12 a 16 metri quadrati, condensate in cluster. Veniva espressamente richiesto di creare le unità con un sistema parametrico che permettesse delle eventuali implementazioni e di evitare la ripetizione seriale delle unità identiche tra loro. L'obiettivo era di trovare diverse soluzioni di aggregazione, tenendo conto anche degli spazi di relazione comune, incoraggiando la condivisione di spazi di socializzazione e servizi condivisi come cucina, zone relax, di co-working ecc. E' sembrato che questa competizione potesse essere il giusto banco di prova per la sperimentazione sugli automi cellulari i quali di per sé hanno il grande vantaggio di non ripetersi e creare una serie di spazi con elevato potenziale architettonico, obiettivo primario del concorso.



1.a

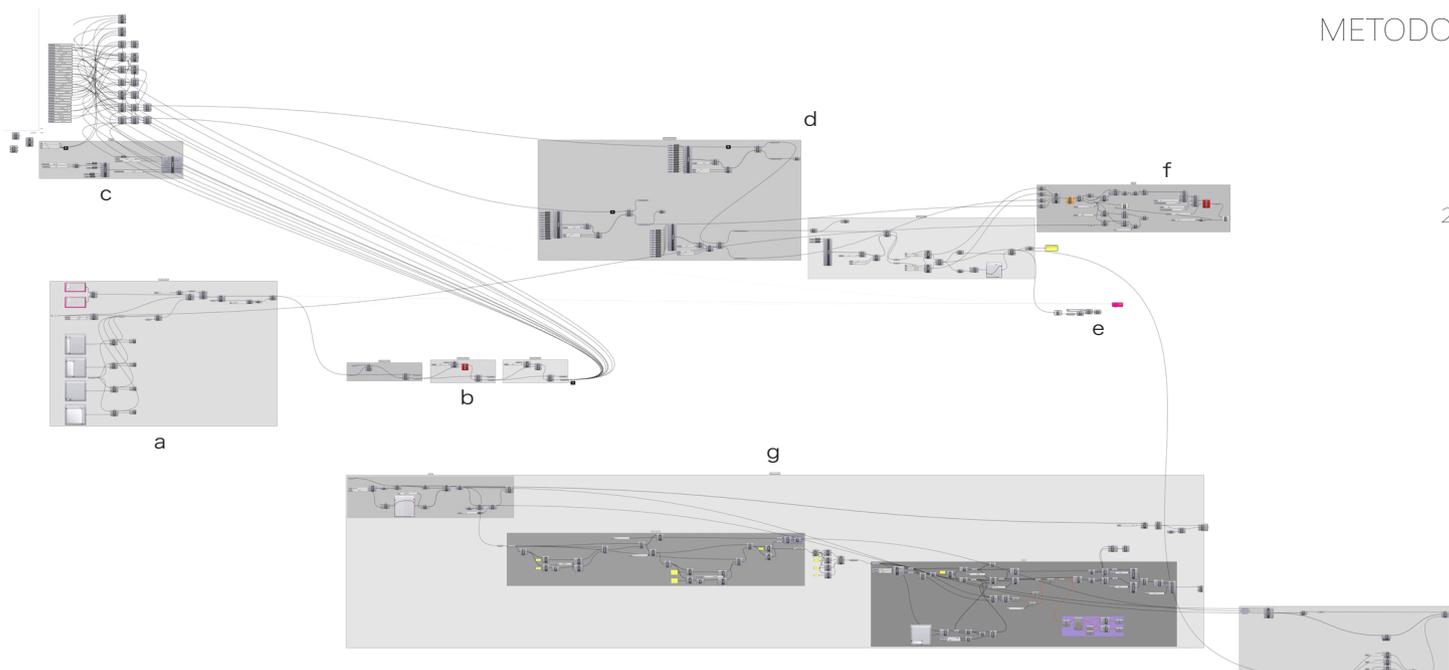


1.b

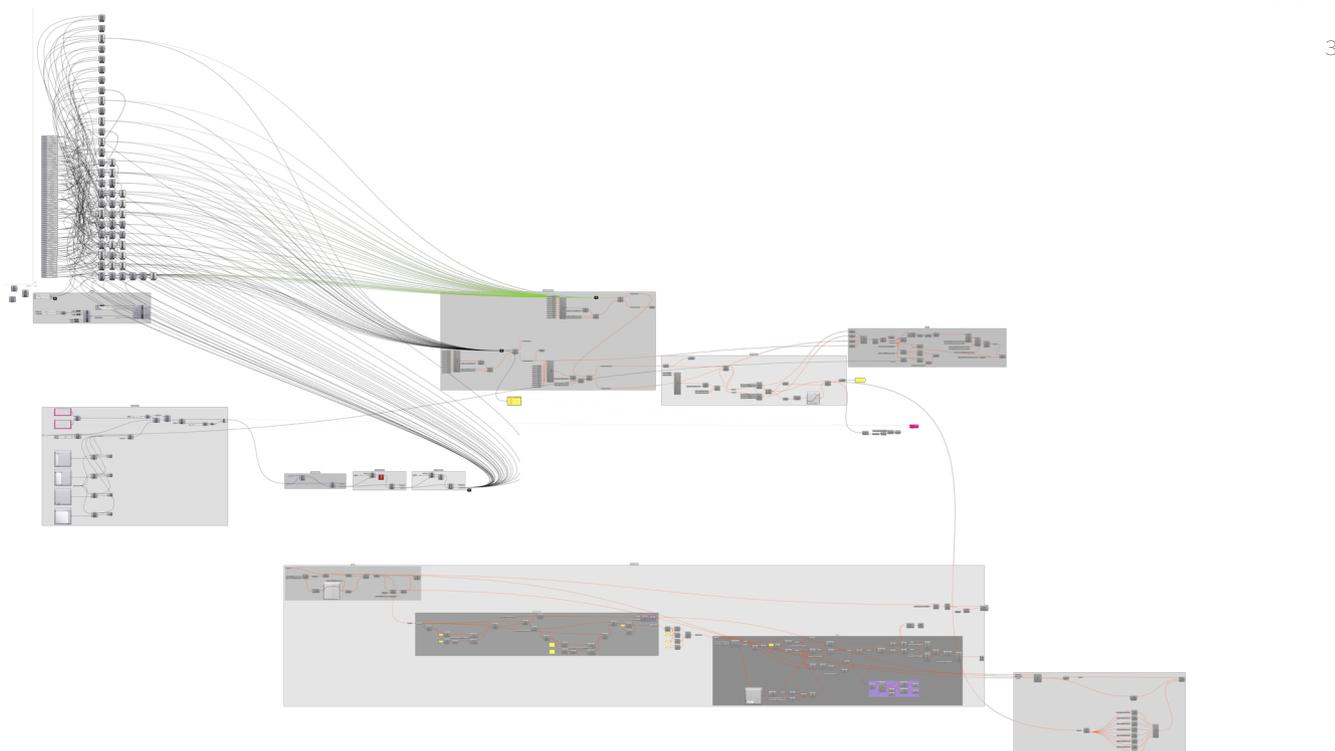


1.c

- 1.a. Generazione dell'algoritmo automatizzato con Embryo
 1b. al variare delle caratteristiche del genoma l'algoritmo prodotto si complessifica notevolmente, come anche l'output geometrico
 1c. Volumetrie generate in modo automatico da embryo a partire dai centroidi dell'automa cellulare
 2a. Automa Cellulare, 2b. selezione dei centroidi, 2c Embryo, 2d selezione degli spazi comuni
 2e. Galapagos che agisce sul genoma dell'automa e di embryo per raggiungere il target.
 2f. Ballatoi
 2g Geometria delle residenze
 3. Variazione del genoma di Embryo



2



3



5.2 SHOUGANG

L'area di progetto è situata in una porzione di Pechino la quale venne destinata a zona industriale. Nello specifico Shougang fa parte del distretto di Shijingshan, il quale dista quasi 20 km da piazza Tien an Men.

Il sito viene lambito ad ovest dal fiume Yongding, a est da Gucheng Street, a nord da Fushi Road e a sud da Shijingshan Road che costituisce un'estensione di W Chang'an Ave, facente parte dei quattro assi principali della città, spiccanti dalla città proibita.

Il polo industriale si estendeva per circa 8,5 km². con 2.000.000 m² di superficie edificata. Nel 1800 La forza lavoro ammontava a 200.000 unità impiegate nell'estrazione di materiale lapideo rosso con il quale veniva prodotto l'inchiostro. Le trasformazioni più grandi sono riconducibili a questo periodo, tra tutti la collina artificiale nella parte settentrionale la quale ospitava templi taoisti bombardati durante la seconda guerra mondiale. Alla funzione produttiva veniva affiancata quella residenziale destinata ad accogliere gli operai [2].

L'insediamento dell'acciaiera è datata 1919. Il sito era particolarmente adatto grazie alla conformazione e alla presenza del fiume per l'approvvigionamento dell'acqua.

Nel 1938 nasce la Shijingshan Iron a seguito della nazionalizzazione dell'industria.

Dal 1937 al 1944, a seguito dell'invasione e del controllo giapponese, il polo venne ampliato e reso il maggior produttore di acciaio in Cina.

Dal 1949 sotto il controllo di Mao Tse Tung viene attuata una politica di recupero ed ulteriore espansione. Venne inoltre rinominata Shougang Group, assumendo ruolo primario nella produzione dell'acciaio non solo nel panorama cinese ma anche in ambito internazionale.

Negli anni 90 si alzano le prime voci di critica riguardanti il posizionamento della fabbrica, di fatto interna alla città, e in tema di emissioni di sostanze nocive come il diossido di carbonio.

Così nel 2005 il governo intervenne definitivamente





sancendo il dislocamento di questa e altre industrie dal territorio urbano, soprattutto in vista delle Olimpiadi del 2008.

Il 'C40 Cities Climate Leadership Group' ha lodato l'intervento sostenendo fosse un primo passo fondamentale per limitare l'impatto ambientale e climatico [3].

Shougang è interessata da diversi piani di riqualificazione, inoltre è stata inserita in una lista di patrimonio architettonico avente particolare rilevanza per la città, la quale ne assicura un trattamento, seppur parziale, di salvaguardia. Nello specifico sono stati individuati degli interventi atti a convertire la destinazione d'uso di alcune parti.

Ad oggi l'unica proposta effettivamente realizzata riguarda la sede del comitato olimpico per le olim-

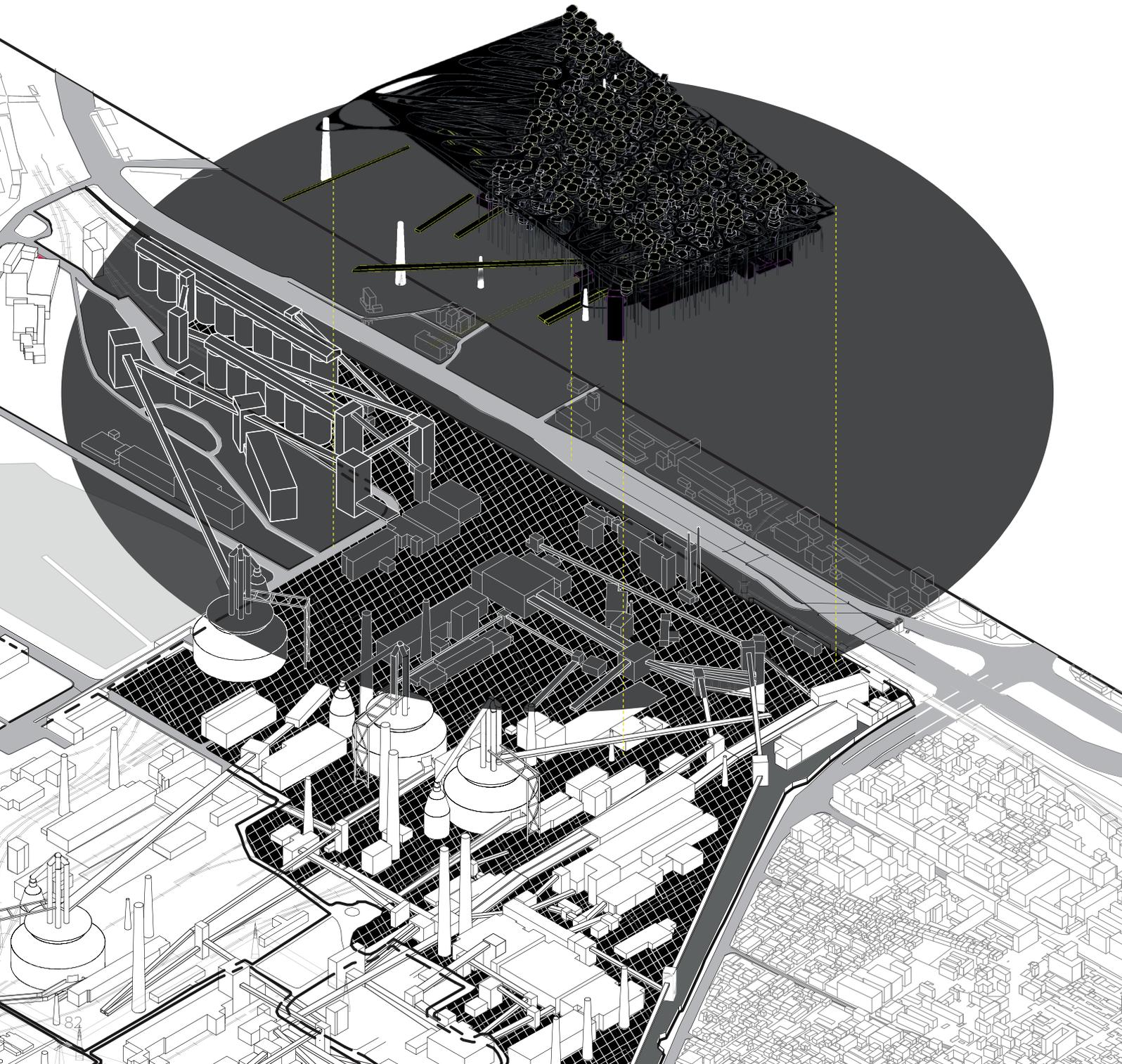
piadi del 2022 con sede a Pechino. In particolare è stata recuperata e inaugurata nel 2017 la zona nord occidentale del polo.

A questo si affiancano diversi altri progetti, tra cui l'estensione della linea metropolitana S1, con il sistema della levitazione magnetica, la quale rafforzerà il trasporto pubblico di superficie, collegando i quartieri di Shijingshan e Mentougou [4].

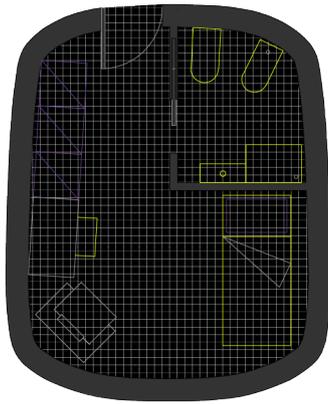
Un'area avrà inoltre vocazione direzionale e di business, aggiungendosi al centro della Financial Street e del Central Business District.

Non vengono interessati da intervento i binari ferroviari e i ponti aerei la cui struttura è ancora integra. Questi due elementi connotano particolarmente l'intera area.

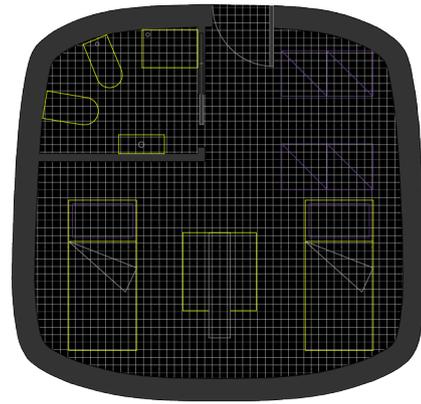




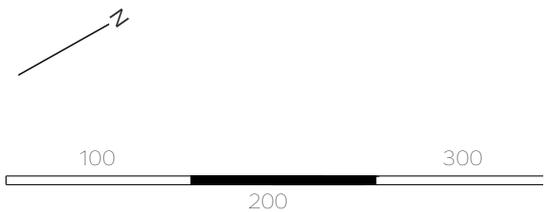
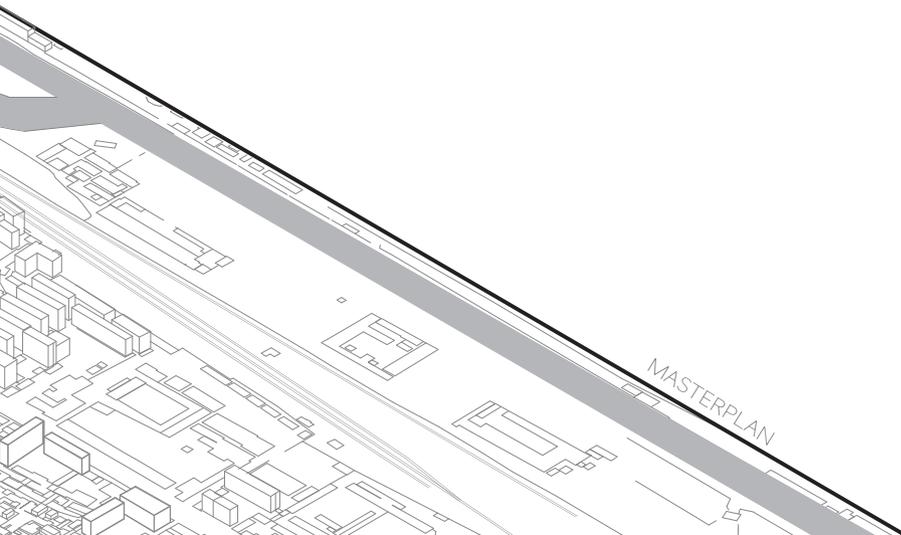
5.3 IL PROGETTO

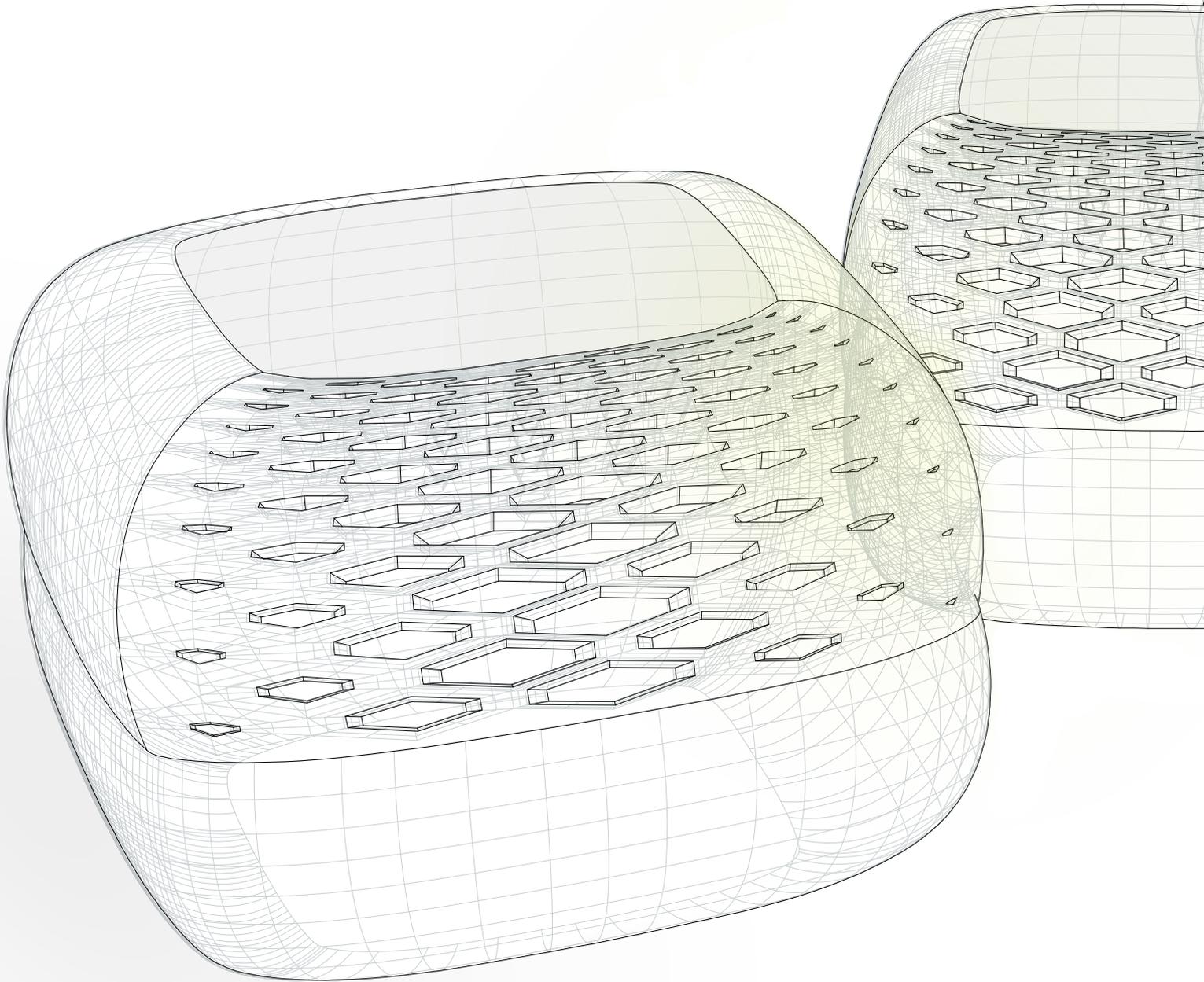


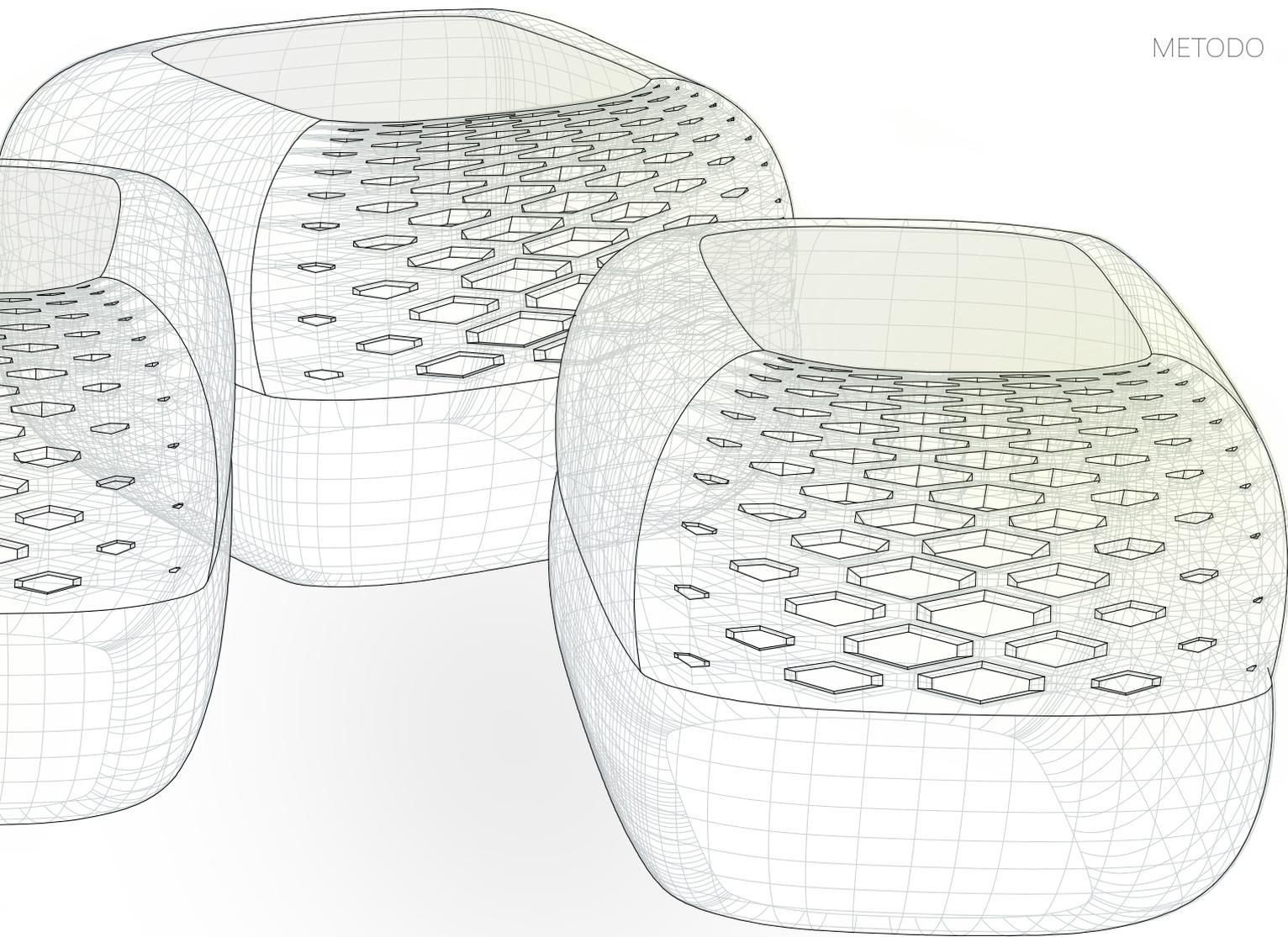
camera singola_12 m² 1:100

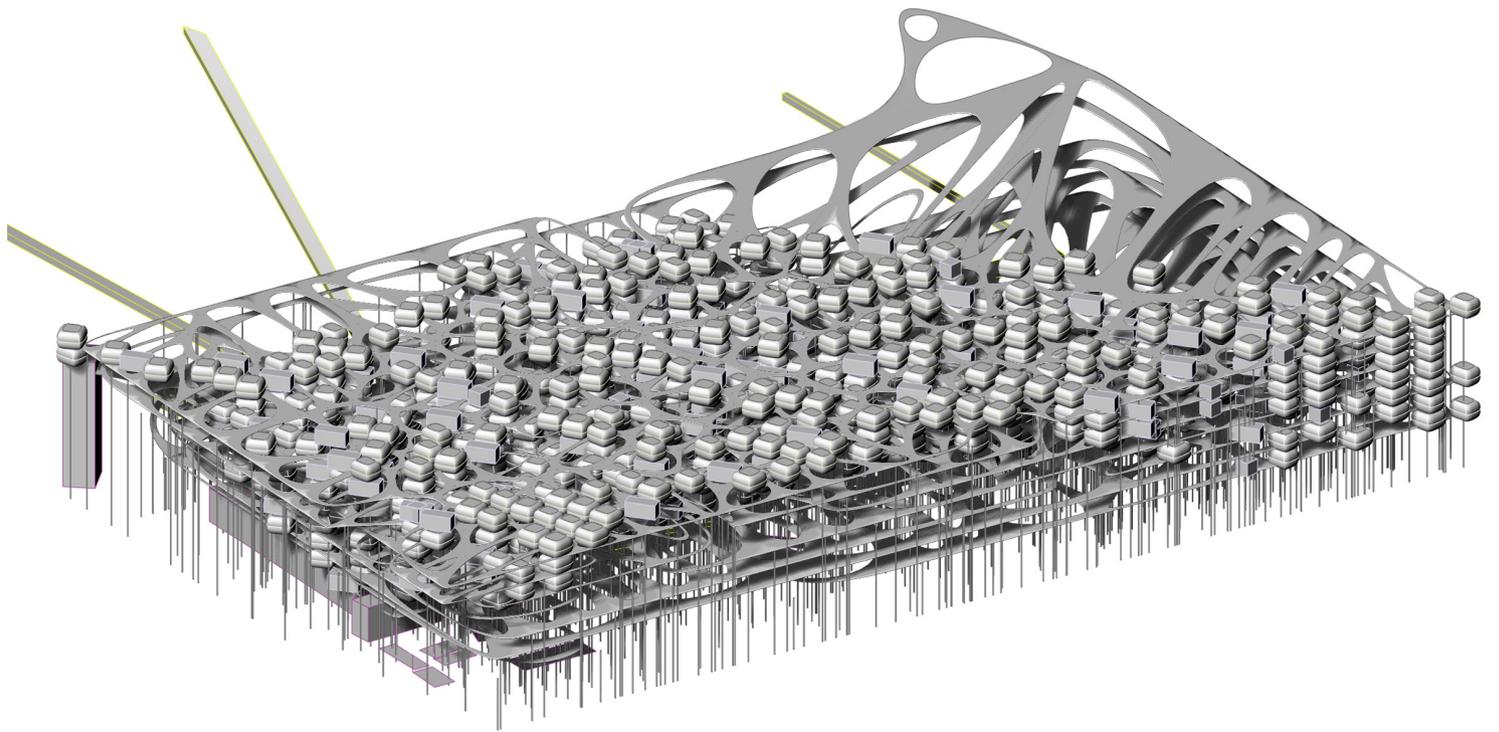


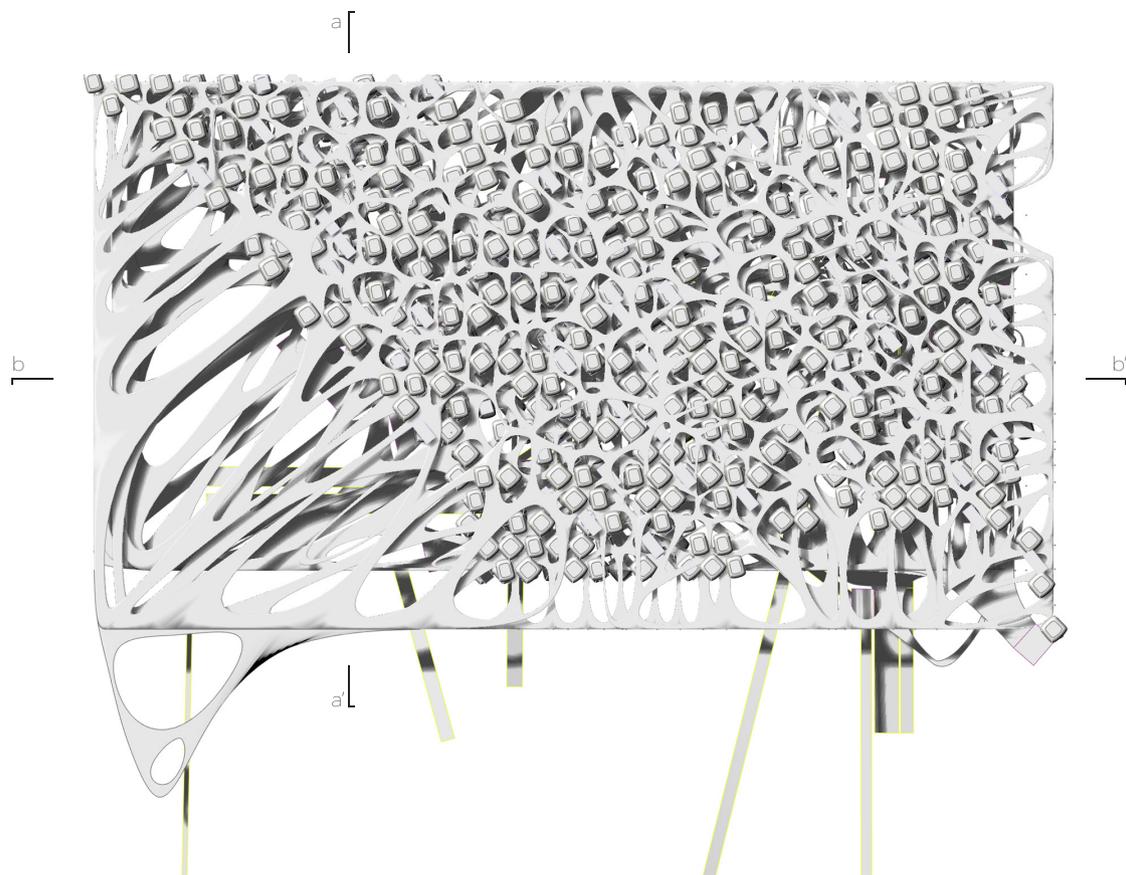
camera doppia_16 m² 1:100

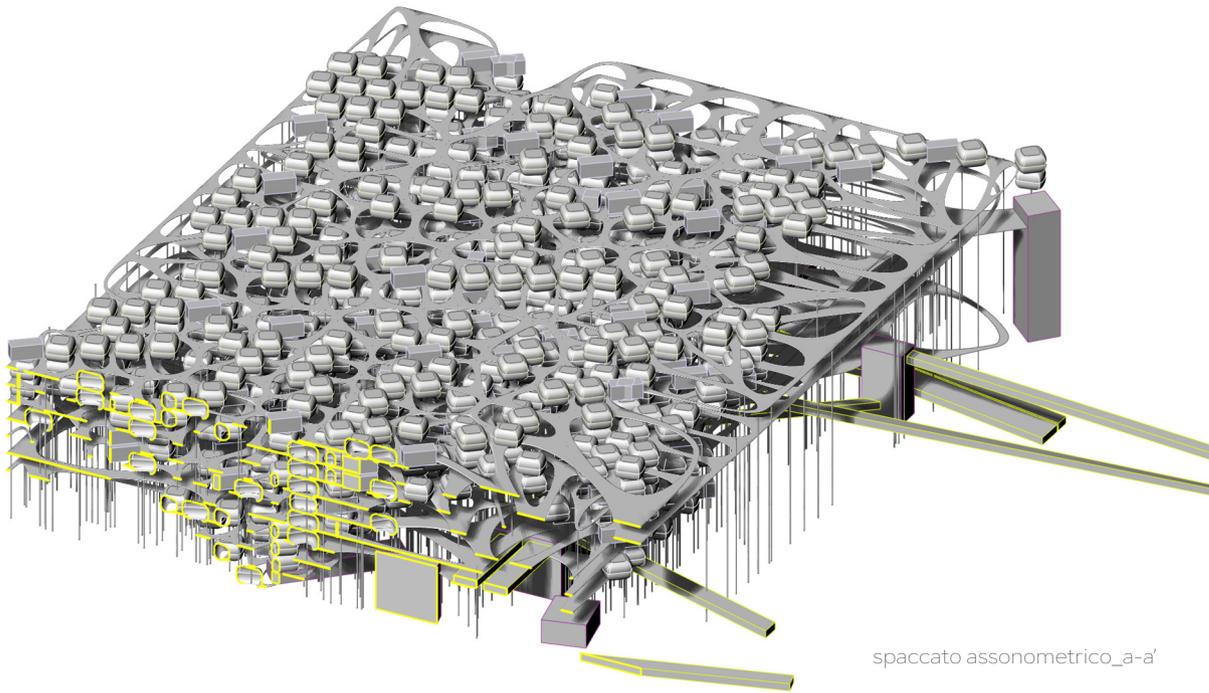






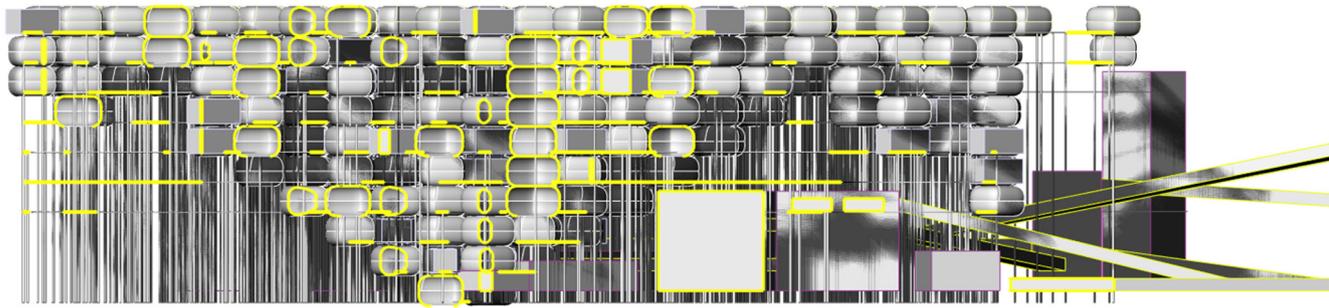






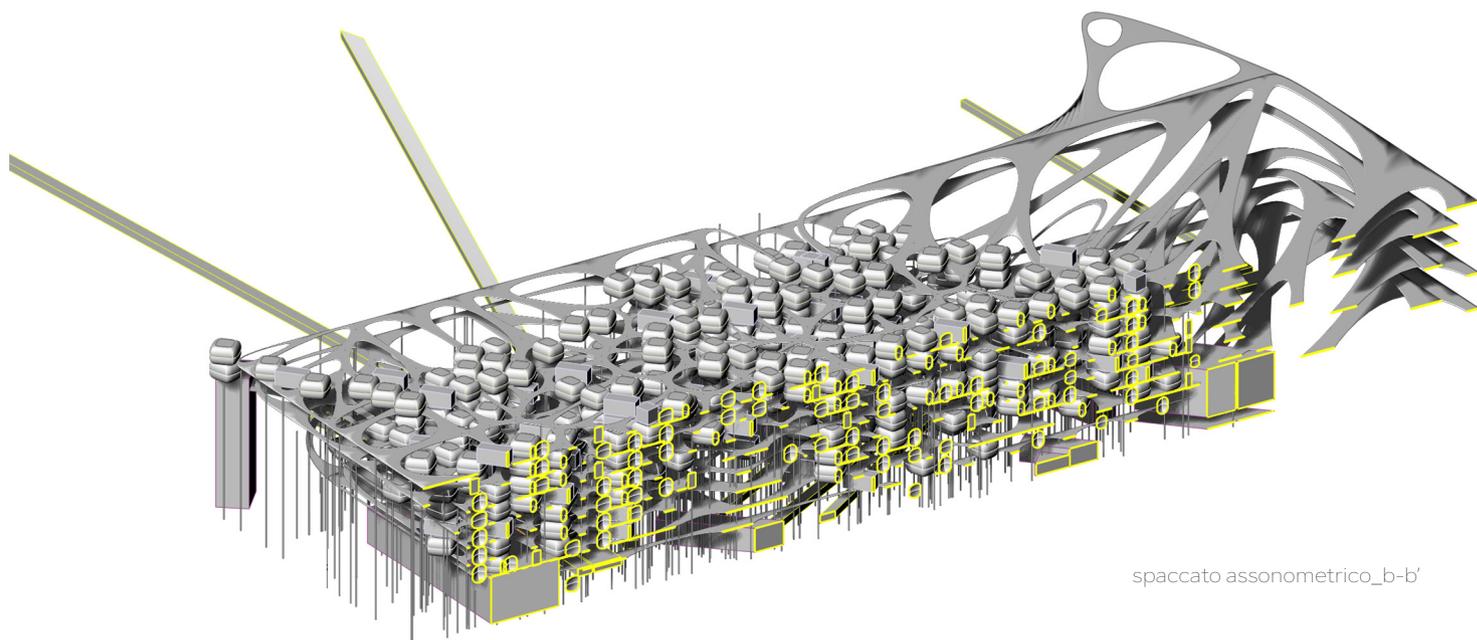
spaccato assonometrico_a-a'

sezione_a-a'



sezione_b-b'

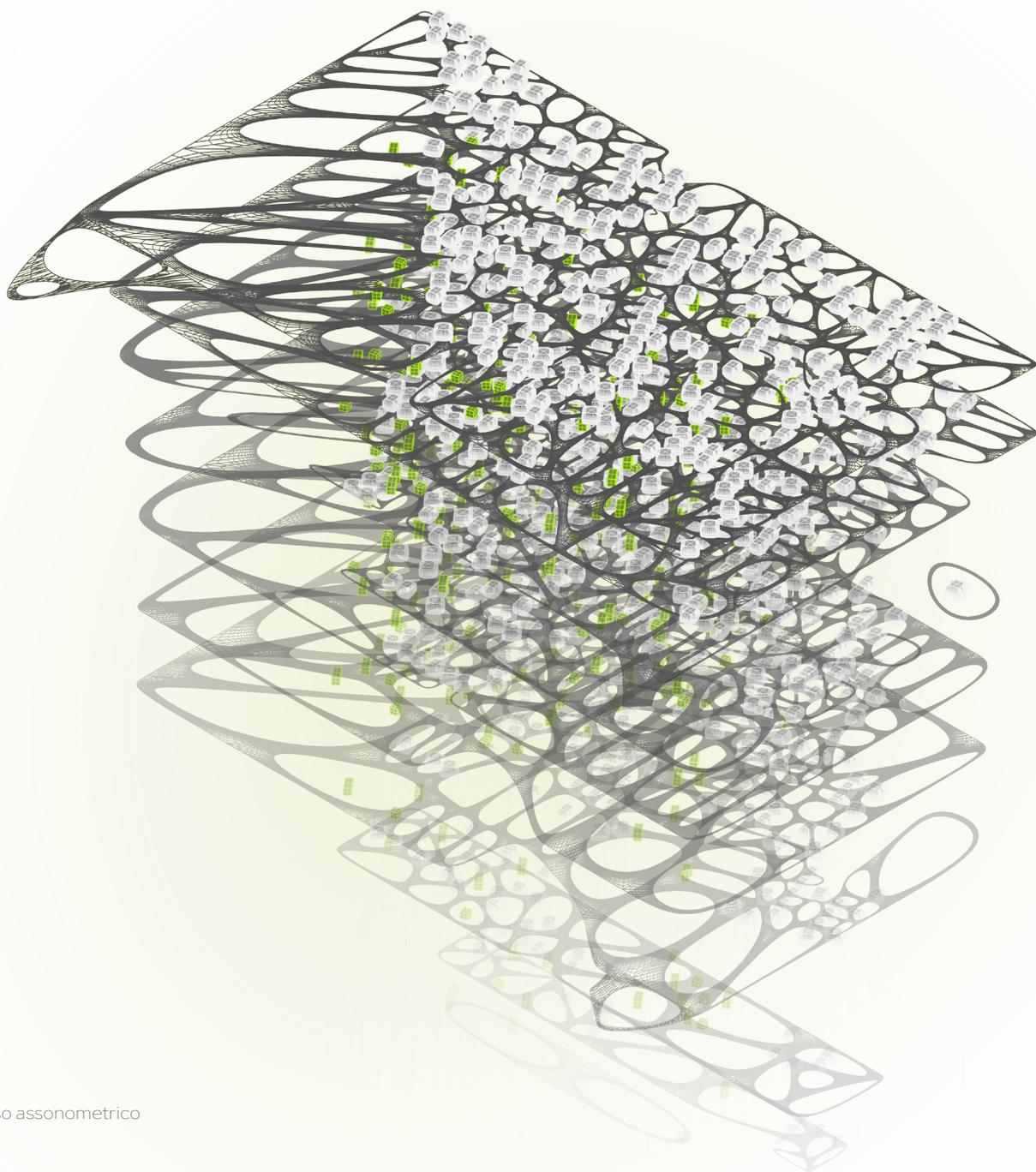




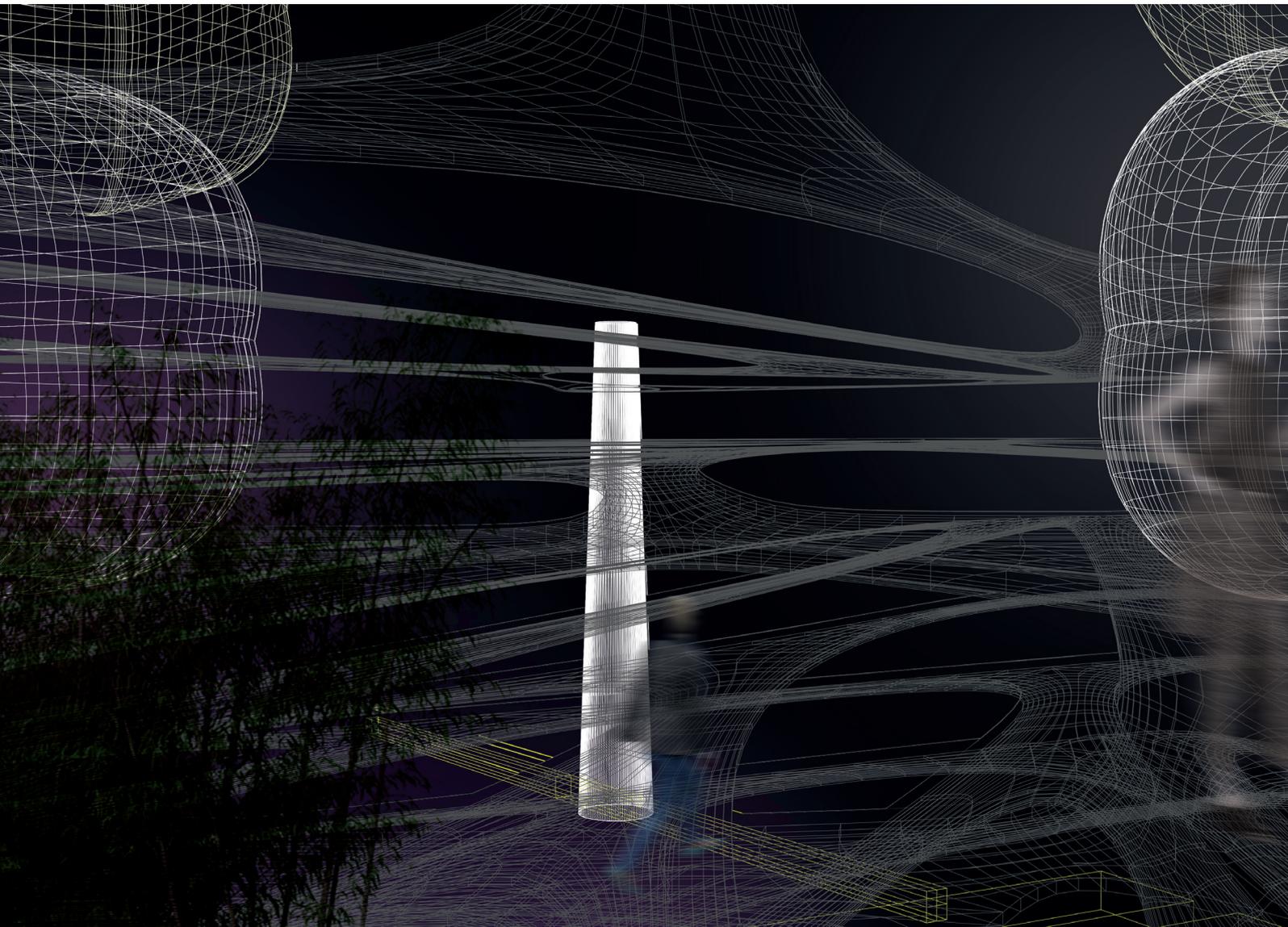
spaccato assonometrico_b-b'

concept_germogli di soia





esploso assonometrico



NOTE

[1] Cup International Student Competition in Architectural Design, uedmagazine, <<http://hypcup.uedmagazine.net/?r=info/content&en=1>> (consultato il 30 Agosto 2018)

[2] Hack, Gary: 'The Danwei and the City' in Bonino, Michele/De Pieri, Filippo: 'BEIJING DANWEI Industrial Heritage in the Contemporary City', JOVIS, Berlino 2015, p. 74

[3] Pengfei XIE , Relocating Industry to Address Air Pollution in Beijing; <https://www.thenatureofcities.com/2017/04/09/relocating-industry-address-air-pollution-beijing/>

[4] Sun Xiaochen , From heavy metal to gold medal aspirations; http://usa.chinadaily.com.cn/epaper/2016-05/27/content_25495359.htm

DISCUSSIONI+
CONCLUSIONI

DI SCUS SIO NI

L'applicazione delle metodologie qui presentate ha determinato l'emergenza di una serie di criticità incontrate lungo il processo, la risoluzione delle quali ha richiesto uno studio approfondito e la sperimentazione di diverse alternative al fine di poter giungere all'apprezzamento di un output soddisfacente o alla creazione dell'output stesso.

L'ambiente parametrico infatti ha tolleranza dell'errore scarsa se non inesistente -a meno di manipolazioni le quali richiedono competenze di alto livello- per cui la non rispondenza a determinati criteri di organizzazione della sequenza di immissioni delle istanze numeriche e geometriche e di azioni, le quali non rispondono ad una definizione matematica esatta può bloccare il flusso di lavoro e richiedere degli aggiustamenti al fine di pervenire all'output desiderato.

Inoltre vanno evidenziati alcuni limiti degli algoritmi i quali influiscono pesantemente sia sull'output ottenibile, sia sulla modalità di scrittura dell'algoritmo stesso.

Facendo riferimento alla sezione riguardante l'automata cellulare, ad esempio, va rilevato che il suo funzionamento presuppone l'esistenza di una superficie quadrangolare su cui impostare una griglia. Non essendo ammesse geometrie alternative si è reso necessario oviare al problema creando (in questo caso manualmente, in modo tradizionale) una superficie contenuta all'interno di un quadrilatero, la quale rappresenta il sedime desiderato. In seguito è stato creato un prisma utilizzando l'area compresa tra la prima e la seconda superficie. Impostando l'algoritmo in modo da escludere i punti dell'automata interni a questo prisma è stato possibile modellare

la nuvola dei punti tenendo conto dei limiti reali offerti dal contesto.

Allo stesso modo per far sì che l'automa reagisse nei confronti delle volumetrie delle preesistenze, sono stati esclusi tutti i punti interni alle passerelle e agli edifici compresi nella superficie su cui è stato impostato l'automa.

Le cellule in questo tipo di automa generato in Grasshopper, con l'utilizzo di Rabbit, non sono altro che punti i quali permettono il grande vantaggio di poter essere considerati come centroidi o piani di riferimento su cui impostare qualsiasi geometria e di poter esplorare così una grande varietà di soluzioni alternative rispetto ai classici automi con cellule cubiche.

L'utilizzo di Embryo ha contribuito a complessificare esponenzialmente il risultato ottenuto nelle fasi precedenti. Va rilevato in questa sede il fatto che il suo funzionamento è garantito per un range limitato di component e in generale di trasformazioni applicabili alla geometria. Se in infatti è apprezzabile il fatto di poter tener conto di dati immessi dall'area della modellazione parametrica manuale e di poter esercitare una forma di controllo al processo automatizzato, non è possibile esplorare combinazioni di component oltre un certo grado di complessità, i quali richiedono numerosi parametri di input (soprattutto non numerici) per il loro funzionamento. Per questo motivo, tra i vari tentativi, l'unico che potesse offrire un contributo utile ai fini del lavoro è stato quello di applicare un parallelepipedo avente come centroide i punti generati dall'automa al quale il plug in ha applicato una rotazione regolata da una serie di informazioni genetiche di partenza. L'output consisteva in una serie di parallelepiedi aventi me-

desimo centroide ma con differente rotazione rispetto agli assi considerati. Questo risultato è stato la base per poter distribuire all'interno dell'automa una serie di volumi ai quali è stata destinata una funzione pubblica. Soltanto attraverso azioni di scelta a cura dell'autore, volte a scremare i volumi ottenuti in base ad una percentuale sui punti totali, è stato possibile definire due tipologie di volumi (con rotazione differente) interpretati come spazi di aggregazione.

L'evoluzione dell'automa, fino al raggiungimento del valore di target imposto, ha avuto buon fine pur necessitando un modello semplificato. Infatti, il numero di operazioni di selezione della nuvola di punti e la loro quantità ha appesantito notevolmente il modello rendendo necessaria una mole notevole di calcoli. Questi, nel modello finale, hanno bloccato il software. Si ritiene che tale limite sia ascrivibile esclusivamente alle capacità limitate del processore e non alla correttezza dell'algoritmo che, come detto, ha avuto esito positivo in modelli semplificati.

CON

La teoria dei sistemi complessi, ibridata con la flessibilità e il grande potenziale che l'ambiente parametrico garantisce, è stata utilizzata per rispondere alle esigenze progettuali in modo da testarne le potenzialità morfogenetiche.

CLU

Il vantaggio è quello di poter pervenire ad una serie di alternative autoemergenti utilizzando definizioni di base semplici. Pur non potendo intervenire attivamente nella creazione dell'output, al progettista sono richieste la definizione delle condizioni al contorno, delle regole di sopravvivenza e morte delle cellule ma soprattutto la selezione delle diverse alternative prodotte dal modello parametrico. Quest'ultimo ha la peculiarità di avere una flessibilità tale da rendere possibile un'esplorazione dei fattori morfogenetici esponenzialmente più alta rispetto a quelli offerti dal metodo tradizionale.

SIO

L'avanzamento tecnologico ha reso possibile superare diversi vincoli i quali caratterizzavano le sperimentazioni precedenti, ma i temi di intervento e di ricerca sono numerosi e altrettanto fertili.

NI

Ad esempio si potrebbe immaginare di far sviluppare l'automa cellulare a partire da una superficie free form, venendo meno al vincolo della geometria quadrilatera.

Inoltre il sistema potrebbe essere ulteriormente implementato permettendogli di reagire sottoposto a stimoli esterni di natura dinamica quali ad esempio i fattori climatici, l'esposizione solare o ancora valutazioni di tipo economico. Questo potrebbe portare all'emergenza di comportamenti inediti o maggiormente assimilabili ai modelli reperibili in natura. Arricchire il modello con una quantità maggiore di input e rendere l'automa sensibile a tali stimoli non

farebbe altro che simulare con maggior fedeltà le condizioni reali per poter pervenire ad un risultato che potenzialmente potrebbe essere ottenuto anche in natura. Gli scenari sono molteplici e rivestono un interesse enorme se si pensasse di traslarli vantaggiosamente nel mondo dell'Architettura.

La spiccata reattività dei sistemi complessi e il fatto di poter giungere ad entità geometriche la cui complessità travalica le capacità umane non solo è affascinante ma potrebbe rivelarsi utile nella risoluzione di problematiche apparentemente insormontabili. E' infatti noto che problemi complessi richiedano soluzioni complesse. Nel nostro caso si potrebbe dire che la complessità della realtà potrebbe essere decodificata e scrutata sotto la lente dei sistemi complessi.

Embryo in questo senso, grazie alla sua funzione combinatoria e di creazione automatica di algoritmi, potrebbe essere il punto di partenza per investigare più profondamente i sistemi complessi da una parte e i benefici che i principi evolutivi applicati alla geometria potrebbero portare al campo dell'Architettura dall'altra, vista la possibilità di generare connessioni e combinazioni umanamente irraggiungibili. Implementare il plug-in rendendogli possibile di manipolare correttamente tutti i component, presenti in Grasshopper in modo autonomo, potrebbe portare a soluzioni ancor più complesse. Il potenziale in questo senso è enorme.

I benefici apportati dallo studio dei sistemi complessi accoppiati agli strumenti parametrici e alle teorie evolutive sono innumerevoli. L'interesse nel campo architettonico è grandioso se si conside-

ra che si prospetta la possibilità di poter giungere a forme e soluzioni inedite. L'insieme di queste teorie meriterebbero una più ampia attenzione e divulgazione per poter permettere la proliferazione di sperimentazioni volte ad accrescere la conoscenza sull'argomento.

In passato la forma è stata piegata e costretta all'ordine, le possibilità offerte dall'avanzamento tecnologico e dalla dinamicità delle variabili reali ci suggerisce che l'inedito vada ora cercato in un ignoto contenitore creativo, il caos.

BIBLIOGRAFIA

LIBRI

Alberto Gandolfi, Formicai, Imperi, Cervelli; introduzione alla scienza della complessità; Torino: Bollati Boringhieri, 2008

Arturo Tedeschi, AAD_Algorithms Aided Design; Brienza: Le Penseur Publisher, 2014

Hack, Gary, The Danwei and the City in Bonino, Michele/De Pieri, Filippo, BEIJING DANWEI Industrial Heritage in the Contemporary City, JOVIS: Berlino 2015, p. 74

Jeff Hardin, Gregory P. Bertoni, Lewis J. Kleinsmith, Il mondo della cellula; Napoli: EdiSES, 2002

John Frazer, An evolutionary architecture; London : Architectural Association, 1995

John H.Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems, USA (MI): The University of Michigan Press, 1975.

John von Neumann, A.W. Burks, The Theory of Self-Reproducing Automata; USA: Univ. of Illinois Press, 1966

Patrik Schumacher (a cura di), Parametricism 2.0; Wiley, 2016

Patrik Schumacher, Hadid Digitale; Paesaggi in movimento; Torino: testo&immagine, 2004

Petra Gruber, Biomimetics in architecture : architecture of life and buildings; Berlin : Springer, 2011

Siegfried Giedion, Spazio, tempo ed architettura, Hoepli, 1984

Stephen Wolfram, Cellular automata and complexity : collected papers; Addison-Wesley, 1994

ARTICOLI

Achim Menges, Simple Systems - Complex Capabilities. Integrative Processes of Computational Morphogenesis in Architecture, 2011

Andrews Gavin, Cellular automata and Applications

Antonino Saggio, Architettura e modernità. Dal Bauhaus alla rivoluzione informatica, 2007, p. 40

Carlos Gershenson, Introduction to Random Boolean Network, 2004

Camilla Forina, Giulia La Civita, The iron rice bowl factory. Strategie progettuali per un danwei in trasformazione, tesi di laurea magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2016-2017, relatori: Michele Bonino Walter Ceretto

Christiane M. Herr and Thomas Kvan, Using Cellular Automata to Generate High-Density Building Form, in B. Martens , A. Brown, Computer Aided Architectural Design Futures; Olanda: Springer, 2005, pp. 249-258

Christiane M. Herr, Ryan C. Ford, Cellular automata in architectural design: From generic systems to specific design tools; Elsevier, 2016

Christopher G. Langton, Self-reproduction in cellular automata; Amsterdam: Elsevier

Jarkko Kari, Cellular Automata, 2013

John E. Harding, Meta-Parametric Design, Elsevier, 2016

John McCall, Genetic algorithms for modelling and optimisation; in "International Journal of applied Mathematics and Informatics", 2011, pp. 205-222.

Leonard R. Bachman, Architecture and the four encounters with complexity, in Halim Boussabaine, Architectural Engineering and Design Management; London : Earthscan, 2008, pp. 15-30

Manuel DeLanda, Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture; 2002

Robert J.Krawczyk, Architectural Interpretation of Cellular Automata; 2002

Robert J.Krawczyk, Exploring the Massing of Growth in Cellular Automata; 2003

Stavric M., Marina O., Parametric Modeling for Advanced Architecture; in "International Journal of applied Mathematics and Informatics", n.5, 2011

Thomas Ciza, Prasad Rendhir R., Mathew Minu, Introduction to Complex Systems, Sustainability and

Innovation, 2016

Vishal Singh, Towards an integrated generative design framework; Elsevier, 2011

SITI INTERNET

Craig Reynolds, Boids, red3d, <<https://www.red3d.com/cwr/boids/>> (consultato il 21 Agosto 2018)

David Rutten, Evolutionary Principles applied to Problem Solving, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/> > (consultato il 10 Luglio 2018)

David Rutten, Evolutionary Solver: Coalescence, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/05/evolutionary-solver-coalescence-algorithms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)

David Rutten, Evolutionary Solver: Mutations, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/05/evolutionary-solver-mutations/>> (consultato il 10 Luglio 2018)

David Rutten, Evolutionary Solvers: Coupling, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/coupling-algorithms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)

David Rutten, Evolutionary Solvers: Fitness Functions, Wordpress, < <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/fitness-functions/> > (consultato il 10 Luglio 2018)

David Rutten, Evolutionary Solvers: Selection, Wor-

dpres, <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/selection-mechanisms/>> (consultato il 10 Luglio 2018)

Fernando Gómez, Alberto Quesada, Genetic algorithms for feature selection in Data Analytics, neuraldesigner, <https://www.neuraldesigner.com/blog/genetic_algorithms_for_feature_selection> (consultato il 11 Luglio 2018)

Giorgio Guariso, Gli Automi Cellulari, Polimi, <<http://home.deib.polimi.it/guariso/appunti/software/automi/contenuti/cap2.htm>> (consultato il 3 Luglio 2018)

Jain Shubham, Introduction to Genetic Algorithm & their application in data science, analyticsvidhya, <<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/07/introduction-to-genetic-algorithm/>> (consultato il 11 Luglio 2018)

Massimo Mariani, Architettura liquida e pensiero complesso, bta, < <http://www.bta.it/txt/a0/08/bta00819.html>> (consultato il 3 Luglio 2018)

CONFERENZE

Manfredo Nicolis di Robilant, Elemental permanence, or the indifference of modern Architecture. A research project on Authorship and contemporary Architecture; ciclo di conferenze, serie: Architecture: Conjectures and Refutations, Politecnico di Torino, 2018.

Per-Johan Dalh, 30 boards, rediscovering Libbeus

Wood's Exhibition in Oneonta; ciclo di conferenze, serie: Architecture: Conjectures and Refutations, Politecnico di Torino, 2018

Vorrei ringraziare :

Michele Bonino per aver accolto questo lavoro e avermi permesso di sviluppare le mie idee

Marianna Nigra per aver accettato di lavorare con me, per avermi offerto sostegno e consiglio quando necessario e per avermi concesso completa libertà di espressione

Silvia con la quale ho affrontato tutti i momenti più importanti, tristi e felici, di questo ultimo capitolo, per avermi aiutato, sostenuto e confortato lungo tutto il cammino con la tua presenza costante e soprattutto per la tua amicizia

Roberto B. per tutti i bei momenti condivisi insieme e per le discussioni sull'Architettura che hanno rafforzato l'intento di scrivere questa tesi e di ribadire con più forza le mie posizioni, so che apprezzerai

Fabiano la cui amicizia mi accompagna dai primissimi momenti dell'avventura torinese

Luca G. e Marco R. per il sostegno che ci siamo dati come colleghi e per la preziosa amicizia che è nata poi

Emanuele per aver fatto parte di questa avventura fin dall'inizio, per esserci stato dopo, per aver condiviso con me il calore della tua famiglia e per la tua amicizia

Simonetta e Gigi per avermi accolto con affetto nella loro casa in questi anni

Danila e Francesca per la gentilezza e l'affetto con i quali mi avete accolto rendendo il mio trasferimento meno duro

Gregory per la bontà e l'amicizia concessami, grazie alla quale ho potuto compiere i primi passi necessari per lo svolgimento di questa tesi

Luca d.P. per avermi sopportato ed essermi stato accanto in questi ultimi mesi

Miriam per l'amicizia che ci lega fin da bambini sulla quale so di poter contare sempre

Roberto D.M, Gianbattista, Marco B., Andrea, Antonio, Ilaria e Alessia, Luca M. e Simona per esserci stati nonostante le distanze e per la vostra preziosa amicizia

Soprattutto voglio ringraziare i miei genitori, Luciana Spiga e Giovanni Urru, per il sostegno incondizionato, per avermi incoraggiato a perseguire le mie ambizioni, per tutti i sacrifici di cui vi siete fatti carico senza la minima esitazione e per avermi offerto con la vostra intelligenza e il vostro affetto gli insegnamenti e i consigli che mi hanno reso la persona che sono e spero l'Architetto che sarò. Abbiamo compiuto questo cammino insieme e con voi devo dividerne i meriti, vi sarò sempre riconoscente.

