

L'architettura dei cambiamenti di stato.
Leggere e interpretare il progetto del movimento
in architettura



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



dipartimento di architettura
università degli studi di napoli
federico II



dottorato di ricerca in architettura

Università degli Studi di Napoli "Federico II"

DiARC - Dipartimento di Architettura

Dottorato di Ricerca in Architettura - XXXIV Ciclo

POR Campania FSE 2014/2020

Coordinatore: prof. arch. Fabio Mangone

Tutor: prof. arch. Ferruccio Izzo; prof. arch. Mara Capone / UNINA

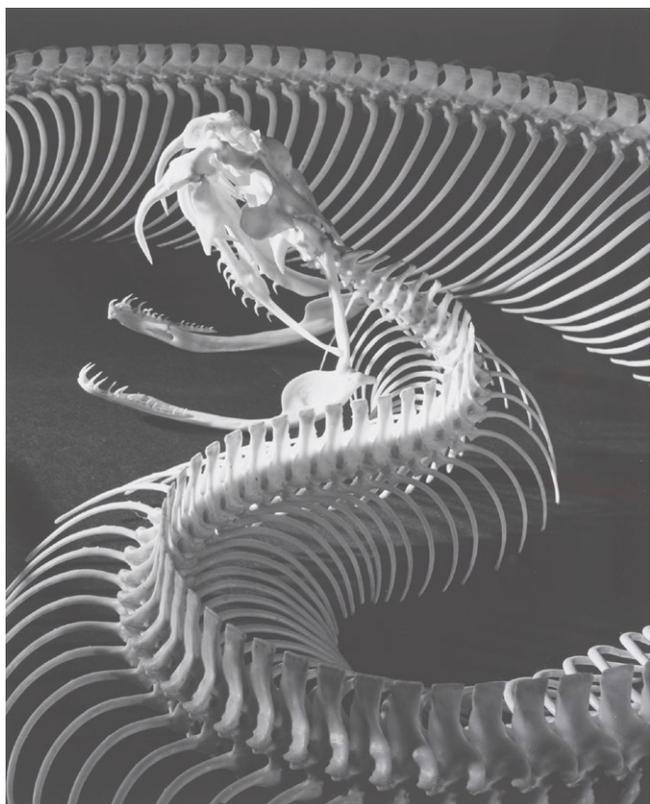
Co-tutor estero: prof. arch. Carlos L. Marcos / Universidad de Alicante

Tutor aziendale: Ing. Valeria Prete / TEKLA

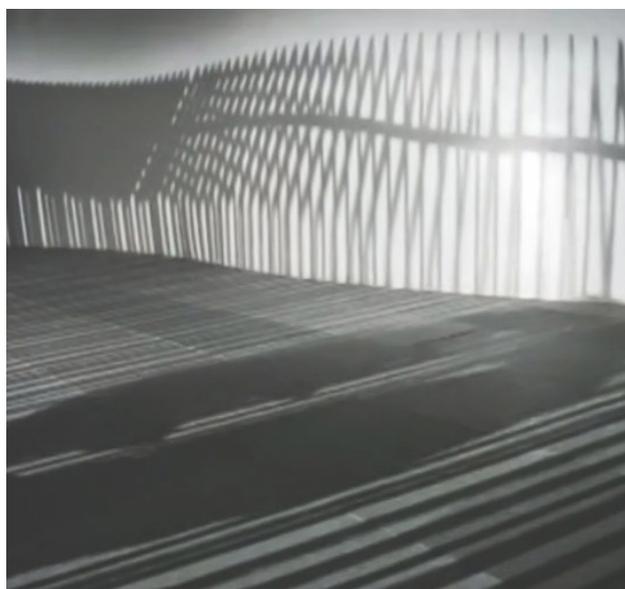
Area Tematica: Il progetto di architettura per la città, il paesaggio e l'ambiente

Indice

5	Introduzione	L'ambito di ricerca La domanda di ricerca Struttura e metodologia della ricerca
	<u>Parte I – Posizioni</u>	
10	I. Aspirare al movimento. La cinetica in architettura	Movimento tra tecnologia e arte 1970: “Kinetic Architecture” Le <i>digital turn(s)</i> . Verso lo spazio piegato
12		
30		
40		
49	II. Le possibilità della cinetica	Architettura interattiva Architettura responsiva Architettura performativa
50		
57		
63		
69	III. Geometria e movimento	Sistemi, strutture, geometrie Le superfici piegate Gli origami in architettura
72		
82		
91		
	<u>Parte II – Strumenti</u>	
104	IV. Leggere la cinetica	Tassonomie cinetiche Definire criteri. <i>Pressioni, forze, azioni</i>
105		
116		
124	V. Interpretare la cinetica	Azioni Fisiche Azioni Ambientali Azioni Compositive
125		
128		
132		
	<u>Parte III – Progetto</u>	
140	VI. Fare e pensare la cinetica	Mano e mente per la <i>digital culture</i> Note conclusive
141		
150		
154	Bibliografia	



sopra: Andreas Feininger, *The Skeleton of a Gaboon Viper*,
1952
a destra Cantoni-Crescenti, *Tunel*, 2010



Introduzione

«Architecture as a theory of construction is an incomplete art: the notion of mobility, of movement, is lacking in it»
Père Prosper Enfantin, 1832

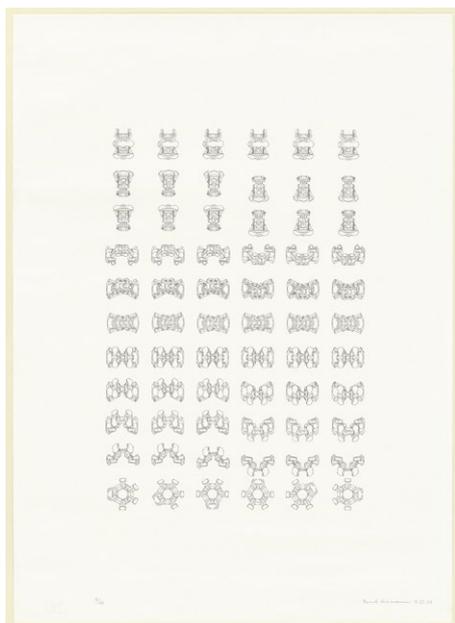
L'ambito di ricerca. I rapidi cambiamenti dei tempi che viviamo richiedono di porre l'attenzione su aspetti che spesso non sono affrontati dall'architettura per come intesa nella prassi quotidiana. I luoghi che abitiamo – il nostro *ambiente*¹ costruito, disegnato dalla sequenza definita e progettata di spazi concatenati che configurano la totalità della nostra esperienza situata nel mondo – fissi e statici nelle loro stratificazioni, devono costantemente confrontarsi con la loro adattabilità, trasformazione e modificazione verso fenomeni in mutamento che ne informano qualità e caratteri. Se da un lato la percezione delle cose che ci circondano è diluita da una serie di *interfacce*² che, come estensioni del nostro corpo nello spazio e nel tempo, ci permettono di essere *qui* e *altrove* nello stesso momento, dall'altro essa è invece aumentata e potenziata da una serie di *dispositivi*³ – termine inteso nella sua accezione più ampia – che accrescono (o sottomettono) il coinvolgimento dei nostri sensi nell'atto di conoscere ed esperire – in definitiva, di *vivere* – un determinato luogo. Un binomio in apparente equilibrio: i nostri comportamenti sono ormai modellati dall'abitudine a interagire con contesti sempre più carichi di informazioni visuali, interpretando i "segni" che ci circondano sempre più rapidamente, adattandoci a forme e atmosfere che si evolvono in una rinnovata *attualità*. La costante che è ancora in grado di intervenire in questa relazione, modificandolo, è l'architettura, che accoglie, abbattendo o amplificando, le istanze del contemporaneo trasferendole in forme che sono sempre rappresentazione del loro tempo.

Tra *interfacce* e *dispositivi*, è innegabile il ruolo che le tecnologie digitali hanno assunto in architettura assumendo l'una o l'altra natura, affiancando alle accezioni tradizionalmente attribuite al progetto la possibilità di variare e modificarsi nel tempo, adattandosi, e caratterizzandosi per l'impermanenza delle strutture una volta considerate come statiche e fisse. La diffusione del computer, l'utilizzo di algoritmi generativi, l'introduzione delle tecniche di stampa tridimensionale, le inedite tecniche di trattamento dei materiali e, in generale, l'attuale cambiamento nei modi di immaginare i processi produttivi, hanno dimostrato di avere effetti anche sul pensiero *progettante*, introducendo nuovi paradigmi estetici e stabilendo inedite prassi metodologiche sulla base delle molteplici possibilità realizzative in risposta a questioni di carattere estetico, culturale, ambientale e sociale.

1. Ernesto Nathan Rogers, *Esperienza dell'architettura*, Einaudi, Torino 1958.

2. Cfr. Antoine Picon, *Digital Culture in Architecture. An Introduction for the Design Professions*, Birkhäuser, Basilea 2010.

3. Cfr. Gilles Deleuze, *Che cos'è un dispositivo?*, Cronopio, Napoli 2007 (1ª ed. 1989).



Konrad Wachsmann, Joints in Motion, 1963

Tra queste, i concetti di *interattività* e *responsività* sono ormai diffusi per indirizzare le scelte progettuali a diverse scale del progetto⁴. Tali accezioni – intese come la capacità dell'architettura di potersi adattare a sollecitazioni che intervengono sulla sua struttura fisica in una serie di interazioni diverse e mutevoli nel corso del tempo – implicano un *cambiamento di stato*, ovvero la condizione di mutevolezza di un sistema architettonico, di uno spazio o di un'atmosfera da uno stato iniziale – tecnico-funzionale, atmosferico-ambientale, percettivo-sensoriale – ad un altro attraverso la trasformazione della sua costituzione materiale. La definizione del cambiamento implica un certo grado di *movimentazione cinetica*: dalla stasi al continuo mutamento, la modificazione delle componenti fisiche dell'architettura avviene concretamente attivando a diversi gradi – fisici e/o emozionali – il coinvolgimento dell'utente sulla base di input che generano il movimento e sulle tecniche per ottenerlo. L'architettura cinetica si configura così come un campo di studi privilegiato per lo studio dei cambiamenti di stato in architettura e le loro conseguenze spaziali, tecnologiche, ambientali e funzionali sul progetto. La cinetica in architettura possiede molteplici accezioni e genera plurime implicazioni sul progetto, coinvolgendo uno spettro di discipline che tracciano due principali vettori di ricerca: il primo, *dall'uomo all'architettura* che coinvolge vari aspetti emersi dall'esigenza di teorizzare e realizzare un ambiente responsivo⁵, e quindi lo sviluppo delle tecniche che abilitano il movimento⁶ e la sua ingegnerizzazione⁷, i modelli geometrico-matematici⁸ che lo sottendono, la teoria dell'autoregolazione cibernetica⁹ e l'applicazione di norme che derivano dalla biologia¹⁰. Il secondo, *dall'architettura all'uomo*, invece, comprende gli aspetti comunicativi della cinetica¹¹, la sua interpretazione alla luce delle neuroscienze¹² e delle teorie della percezione visiva¹³, le sue implicazioni artistiche¹⁴ fino alle interpretazioni filosofiche della mutevolezza della forma e della sua deformazione¹⁵ e del suo impatto sulla carica atmosferica ed emozionale di uno spazio¹⁶. Andando a ricostruire *ex post* queste implicazioni, si è inteso effettuare una serie di affondi in ambiti di studio interconnessi in un rapporto biunivoco, precisamente selezionati per poter fornire un quadro attuale – seppur parziale e senza pretese di esaustività – della cinetica in architettura intesa nella sua principale potenzialità di generatrice di cambiamenti di stato, proponendo una sua rilettura alla luce di una serie di categorie che riattualizzano un fenomeno in evoluzione.

4. Michael Fox, Miles Kemp, *Interactive Architecture*, Princeton Architectural Press, New York 2009.

5. Larry D. Busbea, *The Responsive Environment. Design, Aesthetics, and the Human in the 1970s*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2019.

6. Cfr. M. Schumacher, M. Vogt, L. Cordón Krumme, *New Move: Architecture in Motion, New Dynamic Components and Elements*, Birkhäuser, Basilea 2020.

7. Cfr. Alexander Tzonis, *Santiago Calatrava's Creative Process. Fundamentals*, Birkhäuser, Basilea 2010.

8. Cfr. Andrew Witt, *Formulations: Architecture, Mathematics, Culture*, MIT Press, Cambridge (MA), 2021.

9. Cfr. Gordon Pask, "The Architectural Relevance of Cybernetics", in *Architectural Design*, September, n. 7/6, 1969.

10. Cfr. M. Hensel, M. Weinstock, A. Menges, *Emergent Technologies and Design. Towards A Biological Paradigm for Architecture*, Routledge, Abingdon 2010.

11. Cfr. Jules Moloney, *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*, Routledge, Londra 2011.

12. Samir Zeki, M. Lamb, "The Neurology of Kinetic Art", in *Brain. A Journal of Neurology*, 1994.

13. Cfr. Arnheim, R., *Art and Visual Perception. A Psychology of the Creative Eye*, University of California Press, Berkeley 1954, tr. it. *Arte e percezione visiva*, Feltrinelli, Milano 1962;

Arnheim, R., *The Dynamics of Architectural Form*, University of California Press, Berkeley 1977, tr. it. *La dinamica della forma architettonica*, Feltrinelli, Milano 1981.

14. Cfr. Frank Popper, *L'arte cinetica. L'immagine del movimento nelle arti plastiche dopo il 1860*, Einaudi, Torino 1970.

15. Cfr. Gilles Deleuze, *Le Pli. Leibniz et le baroque*, Les Éditions de Minuit, Parigi 1988, tr. it. *La piega. Leibniz e il Barocco*, Einaudi, Torino 1990.

16. Cfr. Tonino Griffero, *Atmosferologia. Estetica degli spazi emozionali*, GLF editori Laterza, Roma 2010.

Greg Lynn, *An Advanced form of Movement*, in *Architectural Design 'Architecture After Geometry'*, 67, n. 5/6, maggio-giugno 1997

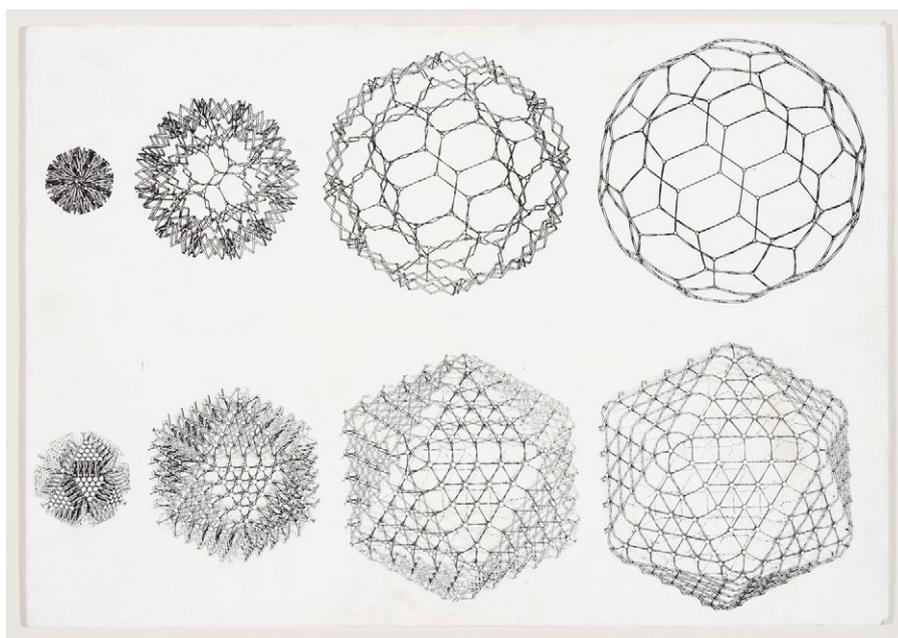
«There is an increasing, and implacable, inertia in architecture that takes the form of a reactionary lethargy in the face of dramatic changes to both material and immaterial structures emerging in society today. Architecture is perhaps the last discipline which not only uses Cartesianism for its expedient simplicity, but, more reprehensibly, holds on to a reactionary belief in the ethics of stasis. Architecture is the last refuge for members of the flat-earth club, whose simple ideas of a uniform gravity emanating from the earth translate without critical analysis into simple static models of verticality and orthogonal spaces. [...] both literally and intellectually, there is virtually no movement in architecture. This has always been the case as architecture is, perhaps by definition, the study and representation of statics. And it seems that even the architects would like to keep it that way».

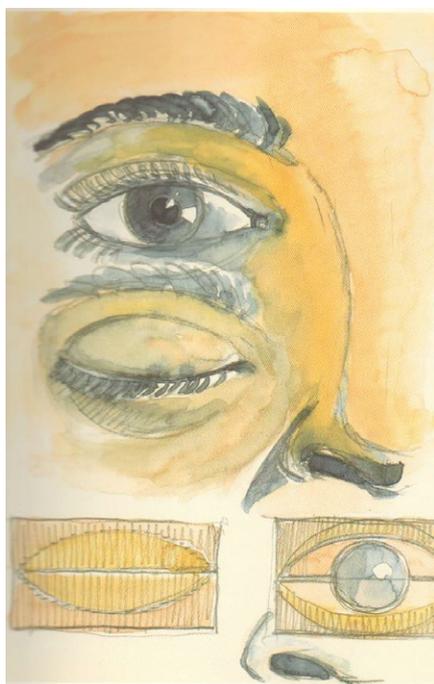
«C'è una crescente, e implacabile, inerzia nell'architettura che prende la forma di un letargo reazionario di fronte ai drammatici cambiamenti delle strutture sia materiali che immateriali che emergono nella società di oggi. L'architettura è forse l'ultima disciplina che non solo utilizza il Cartesiano per la sua semplicità, ma, cosa ancora più riprovevole, si aggrappa a una fede reazionaria nell'etica della stasi. L'architettura è l'ultimo rifugio per i membri del club terrapiattista, le cui banali idee di gravità uniforme emanata dalla terra si traducono senza alcuna analisi critica in modelli statici di verticalità e spazi ortogonali. [...] sia letteralmente che intellettualmente, non c'è praticamente nessun *movimento* in architettura. Questo è sempre stato il caso poiché l'architettura è, forse per definizione, lo studio e la rappresentazione della statica. E sembra che anche gli architetti vorrebbero che le cose restassero così».

La domanda di ricerca. L'utilizzo di specifiche geometrie, forme e materiali, unite a un certo livello di consapevolezza del funzionamento degli strumenti operativi necessari ad abilitare il movimento, consentono di realizzare sistemi cinetici responsivi. La storia dell'architettura e dell'arte sono ricche di esempi di opere, elementi, edifici o di parti di essi che, modificando le proprie condizioni iniziali riescono a produrre effetti spaziali variabili e dinamici, implicano stati diversi da quello di partenza. La domanda di ricerca si inserisce in quest'ambito, indagando possibili azioni e processi compositivi alla base dei sistemi cinetici in grado di modificare la propria configurazione geometrica e spaziale sulla base di sollecitazioni esterne.

Quali sono e come si sviluppano i processi geometrico-compositivi alla base delle architetture cinetico-responsive? Si intende approfondire gli aspetti legati alla cinetica del movimento, descrivendone e classificandone strategie progettuali e modalità d'insediamento in una serie di esempi costruiti e di progetti per poterne così comprendere ragioni e motivazioni che hanno informato la loro generazione spaziale, per proporre una possibile metodologia di lettura e comprensione di tale complesso fenomeno. Attraverso la costruzione di una nuova tassonomia si individueranno le caratteristiche generative di un campione di opere emblematiche, discretizzandone invarianti e differenze sulla base di criteri selezionati che lascino emergere una serie di azioni conformative che rivelino una loro possibile traduzione in strategie compositive applicabili al progetto della cinetica. Coniugando geometrie generative, tecnologie costruttive di varia natura, e specifiche proprietà dei materiali con l'aspirazione per il movimento, si analizzerà *come* le architetture cinetico-responsive riescano a generare cambiamenti di stato e al tempo stesso rispondere a stimoli esterni, producendo effetti spaziali di volta in volta diversi che impattano sull'esperienza dell'architettura da parte dell'uomo, rappresentando una tra le varie strade percorribili da perseguire per il progetto di architettura contemporaneo.

Chuck Hoberman, *Perspective views of an expanding sphere and an expanding icosahedral structure*, 1990





in alto a destra: Renzo Piano, *Montaggio della Fabbrica mobile per l'estrazione dello zolfo*, 1966
 sopra: Santiago Calatrava, *palpebra/portale*, anni '80

Struttura e metodologia della ricerca. La ricerca è strutturata in tre parti principali: *Posizioni, Strumenti, Progetto.*

La prima parte della ricerca, *Posizioni*, riguarderà una fase di orientamento e ricognizione dello stato dell'arte che proverà a definire l'ambito entro cui circoscrivere la ricerca. Attraverso l'approfondimento di alcuni precisi orientamenti teorici e con particolare riferimento a esperienze progettuali e di ricerca recenti, sono stati indagate le premesse alla base del concetto di cinetica per l'architettura. Il primo capitolo andrà dalle origini rintracciabili nella prima metà del XX secolo alle *digital turn(s)*, la cinetica in architettura ha coinvolto un campo di studi vasto e di intersezione disciplinare che ha essenzialmente riguardato una precisa modalità d'interazione tra l'uomo e l'architettura che abita. Tale aspetto verrà indagato nel secondo capitolo, che approfondisce nello specifico tre concetti identificabili con tre rispettive modalità di applicazione della cinetica – *interattività, responsività e performatività* – individuando attraverso una serie opere costruite un panorama di approcci progettuali e riflessioni teoriche che permettano di mettere a fuoco tematiche che verranno approfondite nelle parti successive. Il terzo capitolo riguarda il fondamentale rapporto di interdipendenza che sussiste tra le applicazioni della cinetica in architettura e le modalità della sua messa in opera concreta: ciò avviene attraverso lo studio della geometria intesa come strumento che possiede una sua euristica in grado di governare il processo di progetto, ma anche come categoria estetica e fonte di ispirazione formale. La superficie, luogo geometrico prediletto per l'applicazione del movimento, viene approfondita studiando le possibilità della sua *piegatura*, in particolare nelle superfici a pattern origami come campo di sperimentazione privilegiato per l'architettura cinetica.

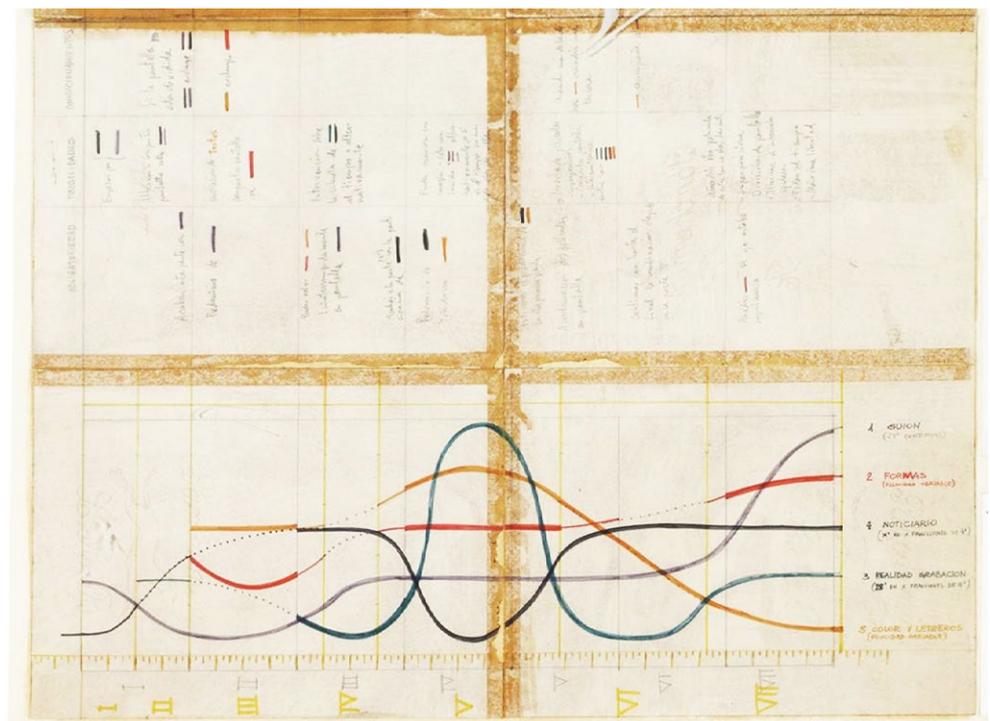
La seconda parte, *Strumenti*, riguarderà l'approfondimento di alcune specifiche metodologie operative e procedimenti utili alla costruzione di una nuova tassonomia della cinetica. In particolare, nel quarto capitolo

saranno individuate e confrontate una serie di tassonomie che hanno provato a definire e classificare la cinetica in architettura – dalla scala architettonica fino al singolo elemento – con l'obiettivo di estrarne una serie di criteri e categorie generalizzabili da poter riattualizzare alla luce della nuova tassonomia. Il quinto capitolo, dopo aver raccolto dati dal confronto di tassonomie, intende attuare una sintesi attraverso tre macrocategorie individuate sottoforma di tipi di azioni: *fisiche*, *ambientali* e *compositive*. Tre famiglie di "pressioni" che definiscono le architetture cinetico-responsive nelle plurime forme che queste possono assumere. Una campione di sessanta esempi particolarmente significativi, selezionati sulla base della loro capacità di generare movimento, verranno mappati ricostruendo *ex post* le logiche alla base del loro *cambiamento di stato* attraverso le tre azioni individuate. Queste disegneranno una nuova tassonomia attraverso cui individuare invarianti e differenze che rendono immediatamente disponibile alla pratica del progetto possibilità e modalità di intervento nei termini di un'architettura in grado di fare spazio attraverso la sua trasformazione.

in basso: José Luis Alexanco, *Por diversos motivos* (For Various Reasons), 1982

La terza parte, *Progetto*, riguarderà il passaggio tra proposizioni teoriche e strumenti operativi e la loro verifica progettuale, attraverso la sistematizzazione una serie di posizioni teoriche e riflessioni operative riguardanti l'evoluzione del rapporto tra i diversi nuovi strumenti entrati in campo per l'architettura e le modalità tradizionali del progetto, mettendo in luce l'attuale dibattito sulla *digital materiality*.

L'obiettivo della ricerca è quindi rintracciabile nella costruzione di una metodologia di lettura e interpretazione del progetto della cinetica attraverso la sua essenziale vocazione nel provocare cambiamenti di stato; una qualità, che, intersecando diversi campi, ritorna al punto in cui ha origine la necessità della trasformazione architettonica: poter progettare, costruire e abitare architettura che si adatti a noi e alle nostre mutevoli esigenze, accogliendo le sue nuove possibilità e appropriandocene.



Parte I – Posizioni

I. Aspirare al movimento. La cinetica per l'architettura

«Only a form which has been transformed and affected by the rhythm of life, is capable of motivating. It can only prompt the body into motion as a motor, as a vector, as a combination of power and direction [...] the action as such are installed so that they become a performance. In this way the actions are performed: intensified and made spectacular».

Lars Spuybroek

L'architettura convive da sempre con la necessità di modificarsi per adattarsi a condizioni soggette a cambiamento. L'uomo, ritagliato il suo spazio dalla natura per poterlo abitare, ha profuso nei millenni il suo impegno alla ricerca di modi e forme per poterlo rendere il miglior luogo dove non solo *stare*, ma dove poter *stare bene*¹. Ciò è lentamente avvenuto tramite l'integrazione tutta una serie di dispositivi – di controllo, tecnologici, climatici, decorativi, ornamentali – necessari per il funzionamento dell'organismo architettonico una volta assolti i compiti di riparo e protezione, funzionali a quell'«oggettivamente superfluo»² che rende l'esperienza dell'architettura ricca e differenziata nelle sue diverse declinazioni.

Per far ciò, le architetture hanno storicamente dovuto assumere un certo grado di mutevolezza. Intesa come generatrice di determinate trasformazioni dello spazio, la cinetica in architettura copre un ampio spettro di definizioni di movimento, tutte accomunate dalla produzione di un cambiamento di stato. L'architettura passa così da una sua naturale fase di stasi alla mutazione permanente: la modifica effettiva delle componenti fisiche della struttura cinetica comporta molteplici effetti spaziali e un coinvolgimento emotivo basato sugli input che generano il movimento. Da finestre e porte scorrevoli e semoventi ad architetture interamente ripiegabili e movibili, a complessi sistemi interagenti e responsivi, la cinetica in architettura ha assunto direzioni e obiettivi diversi nel tempo, trovando tuttavia maggiori possibilità di sviluppo a partire dai primi decenni del XX secolo. Il progresso industriale, l'influsso delle avanguardie artistiche, il fascino per l'estetica della macchina e la rivoluzione culturale avviata dal Movimento Moderno rappresentarono un terreno fertile di sperimentazione per misurarsi con i concetti di adattabilità, flessibilità e trasformazione. Introdotte nel dibattito per descrivere le nuove possibilità offerte dall'industria delle costruzioni per l'ottimizzazione delle unità abitative in virtù delle teorie funzionaliste³, tali definizioni trovarono applicazione negli anni del dopoguerra da un lato in una serie di esplorazioni artistiche sfociate nei movimenti dell'arte cinetica e programmata degli anni Sessanta, fino



Étienne-Jules Marey, Fotografia di studio sui movimenti del fumo, 1901

1. José Ortega y Gasset, J. *Meditazione sulla tecnica e altri saggi su scienza e filosofia*, a cura di L. Taddio, Mimesis, Milano 2011, p. 51.

2. *Ibid.*

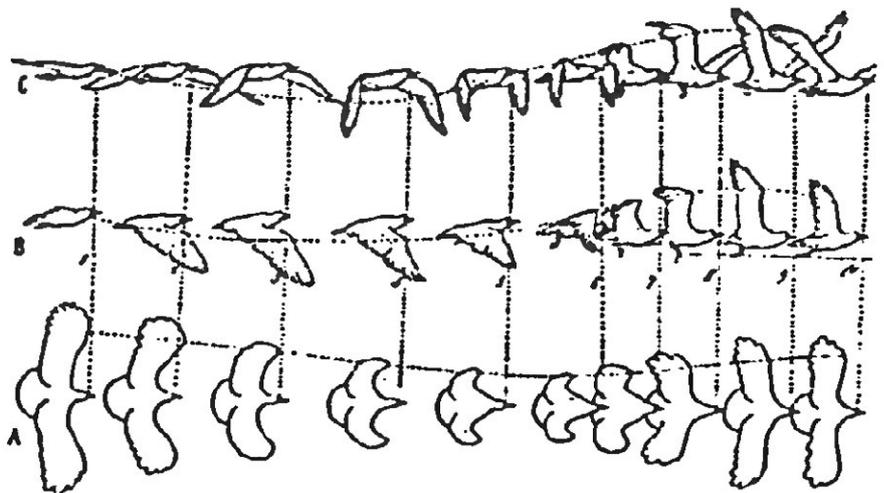
3. J. Till, T. Schneider, "Flexible Housing: The Means to the End", in *Architectural Research Quarterly*, 2005, p. 23.

all'inserimento in un lessico manifestatosi dall'avvento del computer come strumento di costruzione di un nuovo sapere condiviso: la cibernetica e la teoria dell'informazione⁴ che superarono l'era della *meccanizzazione*⁵.

La ricognizione di alcune specifiche posizioni, esperienze e momenti significativi che hanno caratterizzato tale fenomeno a partire dai primi decenni del XX secolo fino ad oggi – seppur parziale data la vastità del campo d'applicazione della cinetica – si è resa necessaria per mettere in evidenza una serie di aspetti della questione funzionali a circoscrivere l'ambito di ricerca. L'approfondimento della letteratura scientifica e di esempi costruiti ha permesso di restringere il campo d'indagine su alcune tra le più recenti accezioni con cui è stata intesa l'architettura interattiva, responsiva e la sua traduzione nell'accezione *performativa*, che incorporano il movimento esplicitandone l'aspirazione verso una percezione aumentata da parte dell'osservatore, considerando non solo i necessari aspetti funzionali e tecnologici, come la sempre più urgente attenzione alla sostenibilità ambientale e alle innovazioni costruttive sui materiali, ma integrandoli con la ricerca di forme e modalità esperienziali mutevoli.

Tale framework risulta necessario per la comprensione del rinnovato interesse per la cinetica in architettura, che proprio negli ultimi anni tende sempre più velocemente verso una concretizzazione fisica della sua natura apparentemente sfuggente e di difficile controllo, rendendo effettivo e realizzabile il cambiamento di stato di uno spazio che si adatti a condizioni diverse da quelle di partenza. Molti sono gli esempi e le pratiche messe in atto per raggiungere questo obiettivo e alcune di esse verranno presentate nelle pagine successive. Individuando successivamente tre ambiti principali che si intersecano e sovrappongono – la relazione tra movimento e arti, l'architettura interattiva, responsiva e performativa, e il rapporto tra geometria e movimento – si proveranno a definire degli argini all'ampio campo di studi che la cinetica in architettura individua, tenendo ben saldo, nell'atto della loro definizione, il fine ultimo «which is, as always, of an aesthetic nature»⁶.

Étienne-Jules Marey, *Le vol des oiseaux*, tre proiezioni del volo di un gabbiano, 1890



4. Renato De Fusco, *Trattato di Architettura*, GLF Editori Laterza, Roma-Bari 2001.

5. Sigfried Giedion, *L'era della meccanizzazione*, Feltrinelli, Milano 1967 (1^a ed. *Mechanization Takes Command: A Contribution to Anonymous History*, Oxford University Press, New York 1948).

6. Antonino Saggio, "Interactivity at the Centre of Architectural Research" in *Architectural Design*, 75(1), 2005.

Movimento tra tecnologia e arte

«Form does not follow function. Function follows vision. Vision follows reality».
Frederick Kiesler, 1949

«vision in motion

is simultaneous grasp. Simultaneous grasp is creative performance – seeing, feeling and thinking in relationship and not as a series of isolated phenomena. It instantaneously integrates and transmutes single elements into a coherent whole. This is valid for physical vision as well as for the abstract.

vision in motion

is a synonym for simultaneity and space-time: a means to comprehend the new dimension.

vision in motion

is seeing while moving.

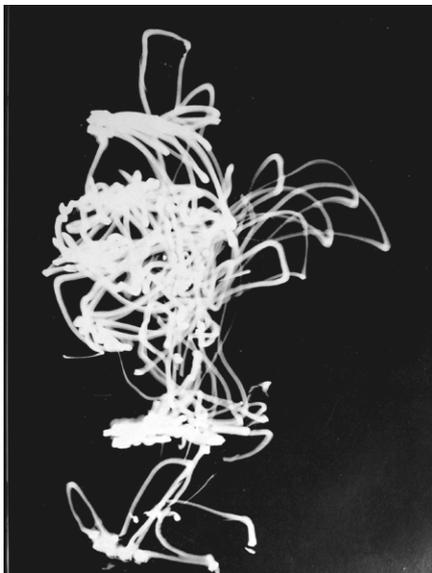
vision in motion

is seeing moving objects either in reality or in forms of visual representation as in cubism and futurism. In the latter case the spectator, stimulated by the specific means of rendering, recreates mentally and emotionally the original motion.

vision in motion

also signifies planning, the projective dynamics of our visionary faculties».

László Moholy-Nagy, foreword to *Vision in Motion*, 1947



Herbert Matter, *Man Dressing, side view*, 1944

«Motion study with lights fastened on the body of a man changing clothes. Such motion studies have been a new departure for industrial improvements by study and elimination of the superfluous».

«Studio di movimento con luci fissate sul corpo di un uomo che si cambia d'abito. Tale indagine ha rappresentato un nuovo punto di partenza per miglioramenti industriali attraverso lo studio e l'eliminazione del superfluo».

Non è possibile individuare un vero e proprio punto di partenza dell'architettura cinetica nella storia; la presenza di cinematismi ha contraddistinto molteplici esempi e assunto diverse nature legate sia alle loro caratteristiche fisiche, tecnologiche e materiali che a quelle propriamente estetiche, sottese dalla possibilità di generare tipi di forme e spazi in grado di accogliere plurime modalità d'uso, coinvolgendo l'intero organismo architettonico, parti di esso o agendo soltanto su alcuni degli elementi che lo compongono. Percorrendo a ritroso le vicende dell'architettura per giungere alle sue origini più remote, si può affermare che la cinetica, intesa inizialmente come espressione dei concetti di adattabilità e trasformabilità, ha caratterizzato l'attività insediativa dell'uomo fin dal momento in cui ha cominciato a costruirsi dei ripari per proteggersi dalle condizioni avverse dell'ambiente esterno⁷. Ripari, questi, originariamente caratterizzati dalla possibilità di essere ricollocati di volta in volta in luoghi più confortevoli, dove ritagliarsi un proprio spazio dal mondo, da abitare e di cui *prendersi cura* – un binomio inscindibile, secondo Heidegger⁸ – e arricchirsi nel tempo di tutta una serie di componenti che ne hanno consentito l'assorbimento e la gestione dell'apparato di necessità vitali a cui sono tenuti ad assolvere. Nell'evolversi in forme sempre più complesse, la capacità di adattamento dell'architettura – il suo *modificarsi* – ha assunto un ruolo preponderante nell'accogliere e condensare in forme fisiche le caratteristiche culturali e il progresso delle società in cui si è sviluppata: dalle remote architetture trasportabili dei popoli nomadi – *yurte, tipi* e tende beduine⁹ – al *velarium* romano per proteggere dalla luce del sole le arene che ospitavano i giochi

7. Cfr. Antonio Musacchio, *Architetture cinetiche: apparati meccanici ed elettronici nel progetto di architettura*. Santarcangelo di Romagna Maggioli, 2009.

8. Martin Heidegger, *Costruire abitare pensare*, in Id., *Saggi e discorsi*, a cura di G. Vattimo, Mursia, Milano 1991, p. 99 (1^a ed. *Bauen Wohnen Denken*, in Otto Bartning, ed., *Mensch und Raum: Darmstädter Gespräch*, Darmstadt 1951).

9. Robert Kronenburg, *Portable Architecture. Design and Technology*, Birkhäuser, Basilea 2008



Giancarlo De Carlo, *Una lezione di urbanistica*, cortometraggio proiettato alla X Triennale di Milano, 1954
 «L'uomo oggi vive in condizioni che attestano eloquentemente l'alto grado di razionalità raggiunto dalla civiltà contemporanea».
 «Man today lives in conditions that eloquently testify the high degree of rationality achieved by contemporary civilization».

circensi¹⁰, alle modalità di protezione dalle intrusioni e dagli agenti atmosferici, come schermature e infissi, alle sperimentazioni architettoniche e artistiche del Novecento e infine alle interfacce digitali delle più avanzate ricerche odierne. Tutte forme che in un modo o in un altro prevedono *cambiamenti di stato*, e che mirano al superamento della forma architettonica statica ammettendo la potenziale variabilità delle esigenze e dei bisogni di chi la esperisce o la abita.

Nel tempo, l'aspirazione verso un'architettura in grado di trasformarsi ha seguito di pari passo gli sviluppi della tecnologia e della tecnica. A partire dai primi decenni del XX secolo, la spinta pervasiva del progresso industriale e mutò radicalmente l'approccio al progetto di architettura. I rapidi avanzamenti nel campo delle tecniche di produzione e costruzione cominciarono ad avere effetti sulla composizione dell'involucro architettonico attraverso l'integrazione di un crescente numero di *macchine* negli edifici: dispositivi per fornire acqua e gas, apparati come montacarichi e ascensori, primi congegni per la ventilazione e il riscaldamento degli ambienti. L'architettura comincia a qualificarsi come organismo innervato da una serie di sistemi che la rendano "funzionante" e asservita all'esigenze dell'uomo e allo stesso tempo intelligibile nelle parti che la strutturano: una *macchina*¹¹ a tutti gli effetti. Fu Le Corbusier che preconizzò il carattere strumentale dell'architettura costruendo il termine *machine à habiter*: «La casa è una macchina per abitare. Bagni, sole, acqua calda, acqua fredda, temperatura a piacere, conservazione delle vivande, igiene, bellezza nelle proporzioni. [...] L'uomo si ferma perplesso davanti alla macchina e la ammira, appagato nella sua natura fisica e nella sua natura divina»¹². La sedia così si trasforma in una «macchina per sedersi»¹³ e il Partenone è assunto come esempio di «macchina per creare emozioni»¹⁴. Analogie che ribaltano il tradizionale punto di vista e destinano all'architettura non più la consueta aggettivazione di spazio della permanenza e della stazionarietà, bensì la capacità di coinvolgere persone e cose in un sistema che non è più inerte ma che, modificando sé stesso, influenza il comportamento e i movimenti di chi abita. Tali alterazioni del corpo dell'architettura come tradizionalmente inteso furono lentamente assorbite in una struttura complessa, descritta da sequenze cinematiche controllate, organizzate e prestabilite, in cui l'architettura funga da «strumento, come una *macchina*, per così dire, che non solo protegga l'uomo ma sia subordinata, per quanto possibile, ai suoi bisogni, supporti le sue attività e moltiplichi i frutti del suo lavoro [...] la fabbrica dove produciamo la miriade di atti della nostra vita privata»¹⁵.

Le rivoluzioni nell'ingegneria e nei materiali portarono alla ricerca di un'estetica della *macchina* che potesse corrispondere allo *Zeitgeist* di un'epoca in rapida trasformazione, rompendo con gli stili architettonici tradizionali a

10. Carolina Stevenson, "Morphological Principles: Current Kinetic Architectural Structures" in *Proceedings of the International Adaptive Architecture Conference*, 2011.

11. Moritz Gleich, Laurent Stalder (a cura di), *Gta Papers 1: Architecture / Machine. Programs, Processes, and Performances*, gta Verlag, Zurigo 2017.

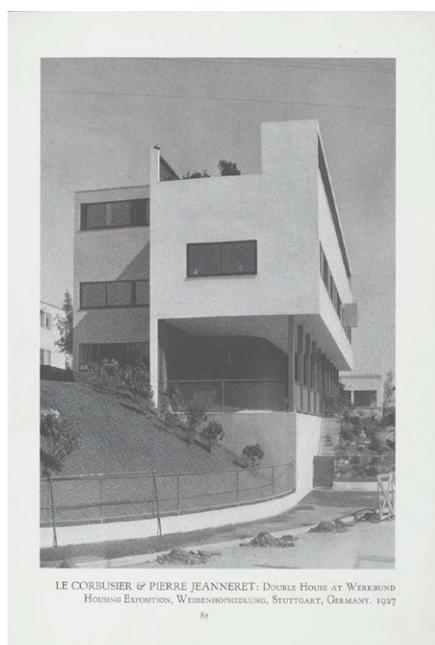
12. Le Corbusier, *Verso una architettura* (1923), a cura di P. Cerri e P. Nicolini, trad. it., Longanesi, Milano 1973, p. 73.

13. Ibid.

14. Ibid.

15. A. Lance, "Traité d'architecture par M. Léonce Reynaud", in *Encyclopédie d'architecture*, vol. VII, 1853, p. 68.

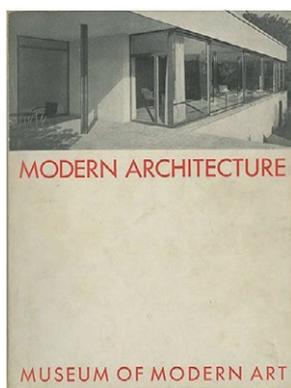
favore di un funzionalismo puro che rispecchi le mutate esigenze di una società nuova¹⁶. I nuovi criteri che l'architettura avrebbe dovuto perseguire – codificati e messi in opera nelle architetture di maestri come Le Corbusier, Ludwig Mies van der Rohe, Walter Gropius e Frank Lloyd Wright – vennero sintetizzati nella mostra tenutasi al Modern Museum of Modern Art di New York nel 1932 “*Modern Architecture: International Exhibition*”¹⁷, curata da Philip Johnson e Henry-Russell Hitchcock. L'esposizione introdusse al pubblico il nuovo paradigma estetico promosso da quella stagione di architetti attraverso una serie di progetti, fotografie, disegni e modelli, che evidenziassero i principi guida del nuovo approccio: progettare per volumi invece che per masse («[The modern architect] thinks in terms of volume— of space enclosed by planes or surfaces — as opposed to mass and solidity. This principle of volume leads him to make his walls seem thin flat surfaces by eliminating moldings and by making his windows and doors flush with the surface»¹⁸), la regolarità e la standardizzazione degli elementi, la deliberata assenza di ornamenti verso una radicale semplificazione della forma.



sopra: Casa al Weißenhofsiedlung, Le Corbusier e Pierre Jeanneret, Stoccarda 1927, pagina del catalogo della mostra “*Modern Architecture: International Exhibition*”, MoMA, 1932

al centro: Catalogo della mostra “*Modern Architecture: International Exhibition*”, MoMA, 1932

a destra: Allestimento della mostra, modello e fotografie di Ville Savoye di Le Corbusier, MoMA, 1932



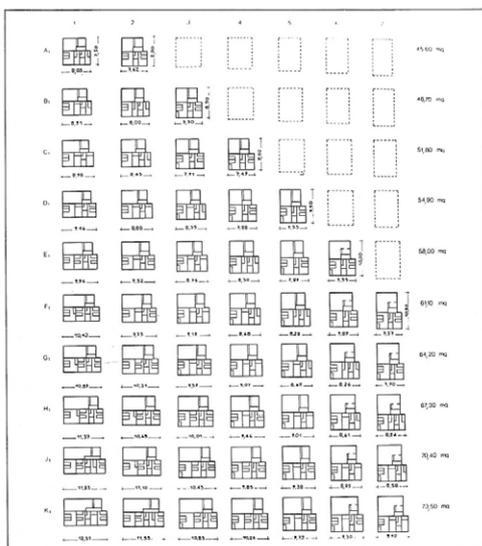
L'utilizzo del cemento armato e dell'acciaio, la ricercata trasparenza degli edifici, l'accettazione della produzione industriale di massa, un'estetica legata alla fascinazione per gli avanzamenti tecnologici e il conseguente approccio funzionalista – *form follows function* – consentirono agli architetti dell'*International Style* di strutturare un linguaggio architettonico che si riverberò nell'applicazione di elementi architettonici come finestre a nastro, tetti piani, pareti divisorie, partizioni non strutturali e mobili, alla ricerca di una *flessibilità* dello spazio che, perdendo la necessità della simmetria come regola compositiva di base, poteva liberarsi dalle costrizioni dell'architettura tradizionale e ricercare forme più adatte alle esigenze dei tempi *moderni*: «planning, liberated from the necessity for symmetry so frequently required by tradition is, in the new style, flexibly dependent upon convenience»¹⁹.

16. Kenneth Frampton, *Modern Architecture: A Critical History*, Thames and Hudson, Londra 1980; si veda anche *OASE 109 "Modernities"*, a cura di Tom Avermaete, Christoph Grafe, Veronique Patteeuw, Hans Teerds, 2022.

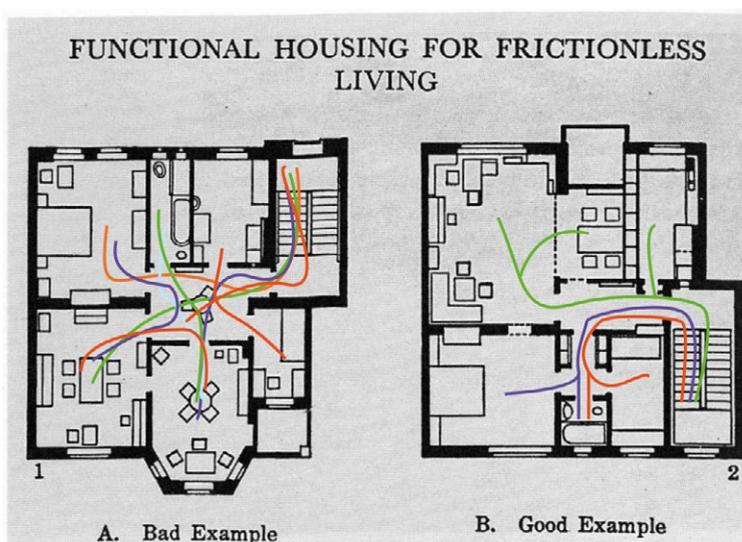
17. Cfr. Philip Johnson, Henry-Russell Hitchcock (a cura di), *Modern Architecture: International Exhibition, New York, Feb. 10 to March 23, 1932*, The Museum of Modern Art, New York 1932, catalogo accessibile al sito web: www.moma.org/calendar/exhibitions/2044 [10.10.2019].

18. Alferd Barr Jr., *Foreword*, in Ivi, p. 14.

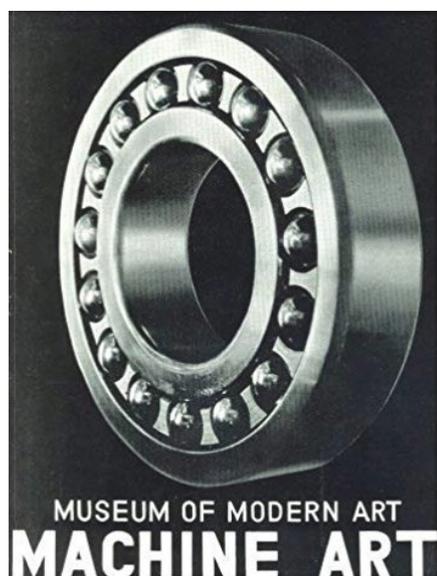
19. Ibid.



sopra: Alexander Klein, diagramma delle variazioni di un'unità abitativa, 1928
 a destra: Alexander Klein, Functional House for Frictionless Living, diagrammi per una casa funzionale, 1928
 sotto: Catalogo della mostra "Machine Art", MoMA, 1934



«Gli aspetti tecnici e utilitaristici» scrive Barr «[...] hanno avuto esito in un'architettura che è comparabile, per integrità e addirittura per bellezza, agli stili del passato. Ma proprio come l'architetto *moderno* ha dovuto adattarsi ai *moderni* problemi posti davanti al progetto, così il pubblico *moderno*, per riuscire ad apprezzare la opera dell'architetto, deve allo stesso tempo imparare ad apprezzare ciò che appare nuovo e strano»²⁰. Il mutato canone estetico mutò bidirezionalmente, sia dal lato di chi crea che dal lato di chi osserva ed esperisce, e fu diretta conseguenza dello sviluppo tecnologico. La fascinazione per la *macchina*, assurta a simbolo del progresso inarrestabile, contaminò i campi delle arti e dell'architettura, permeando così la cultura *moderna* di una società in rinnovamento; «una questione di sopravvivenza» per cui «se la civiltà industriale non riesce a trovare un mezzo per porre fine al divorzio tra l'industria e la sua *cultura*, rischia di perire»²¹. La cultura della civiltà industriale di cui scrive Jacks trovò un tentativo compiuto di diffusione in un'altra mostra curata da Johnson nel 1934 al MoMA, "*Machine Art*"²², organizzata su tre piani in cui furono esibiti oggetti d'uso prodotti industrialmente, esposti su piedistalli, a cui fu riservato lo stessa attenzione nell'allestimento normalmente praticata per sculture e opere d'arte. Per Johnson, "*Machine Art*" ebbe il compito di dimostrare al pubblico l'intrinseca bellezza degli oggetti prodotti industrialmente. I manufatti esposti sono prodotti da macchine dagli scopi più disparati: parti e componenti di meccanismi, molle in acciaio, pistoni e cuscinetti a sfera, strumenti scientifici e di misurazione, oggetti d'uso come servizi da tavola o da cucina. Il fascino che essi emanano deriva dal processo – matematico, meccanico e utilitaristico – attraverso cui vengono generati, che sottende una serie di analogie e rimandi in grado di elevarli al rango di opere d'arte. «Le macchine rappresentano» scrive Johnson «un'applicazione pratica della geometria.



20. Ibid.

21. L. P. Jacks, *Responsibility and Culture*, Yale University Press, New Haven 1924, p. 61.

22. Cfr. Philip Johnson, (a cura di), *Machine Art: March 6 to April 30, 1934*, The Museum of Modern Art, New York 1934, catalogo accessibile al sito web: <https://www.moma.org/calendar/exhibitions/1784> [11.10.2019].

in basso: Foto dell'allestimento della mostra "Machine Art", MoMA, 1934

al centro: Aluminium Company of America, *Outboard Propeller*, 1934

a destra: American Steel & Wire Co. Subsidiary United States Steel Corporation, *Bearing Spring*, 1934

«By beauty of shapes I do not mean, as most people would suppose, the beauty of living figures or of pictures, but, to make my point clear, I mean straight lines and circles, and shapes, plane or solid, made from them by lathe, ruler and square. These are not, like other things, beautiful relatively, but always and absolutely. Plato, *Philebus 51c*.

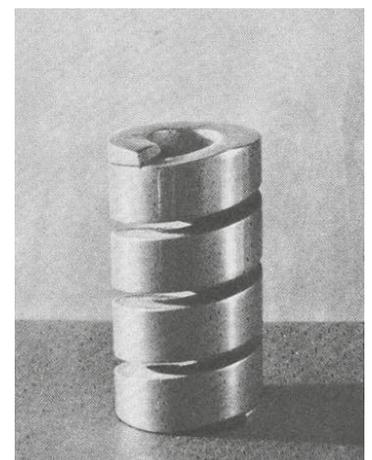
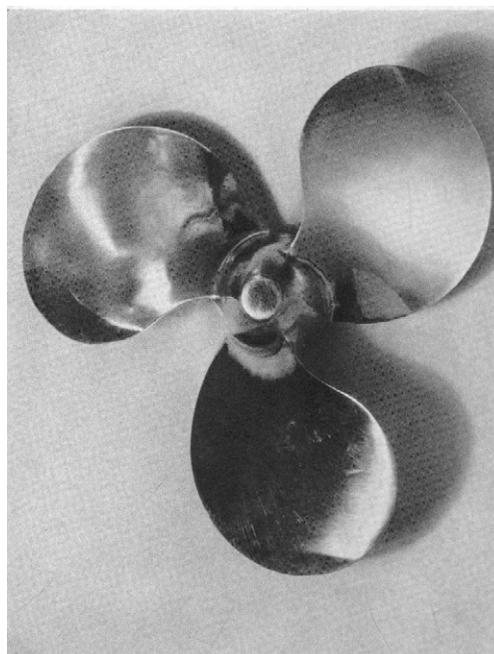
The beauty of machine art is in part the abstract beauty of «straight lines and circles» made into actual tangible «surfaces and solids» by means of tools, «lathes and rulers and squares». In Plato's day the tools were simple handworker's implements but today, as a result of the perfection of modern materials and the precision of modern instruments, the modern machine-made object approaches far more closely and more frequently those pure shapes the contemplation of which Plato calls the first of the «pure pleasures».

«Per bellezza delle forme non intendo, come la maggior parte delle persone supporrebbe, la bellezza delle figure viventi o delle immagini, ma, per chiarire il mio punto di vista, intendo linee rette e cerchi, e forme, piane o solide, fatte da esse con il tornio, il righello e la squadra. Queste non sono, come altre cose, belle relativamente, ma sempre e assolutamente. Platone, *Filebo 51c*.

La bellezza dell'arte meccanica è in parte la bellezza astratta di «linee rette e cerchi» trasformate in «superfici e solidi» effettivamente tangibili per mezzo di strumenti, «torni e righelli e squadre». Ai tempi di Platone gli strumenti erano semplici attrezzi manuali, ma oggi, grazie alla perfezione dei materiali moderni e alla precisione degli strumenti, l'oggetto moderno fatto a macchina si avvicina molto di più e più frequentemente a quelle forme pure la cui contemplazione Platone chiama il primo dei «piaceri puri».

Le forze che agiscono in linea retta subiscono cambi di direzione e spostamenti dell'angolo di applicazione ad opera di macchine che sono esse stesse formate da linee dritte o curve. La leva è geometricamente assimilabile a una linea retta che termina in un punto. La ruota e l'assale sono definite da cerchi concentrici e linee rette radianti. La molla degli orologi è una spirale [...] queste sono differenti, e variamente belle, applicazioni»²³. Ad accomunare queste applicazioni, oltre al fatto di essere prodotte industrialmente, la capacità di abilitare un cinematismo: «il movimento è una funzione essenziale di molte macchine in grado di aumentarne il potenziale estetico principalmente attraverso la giustapposizione di ritmi, fatti da movimenti e suoni. I pistoni di una locomotiva, o in salita e in discesa di un telaio meccanico illustrano questo dato. Mentre invece un'elica, un interruttore, una sega rotante, un cuscinetto a sfera sono oggetti più belli come oggetti quando sono fermi o, meglio ancora, quando si muovono molto lentamente»²⁴.

Come spesso accade, le sperimentazioni in campo artistico accolgono in anticipo questioni successivamente sviluppate e sostanziate in architettura. Il movimento è stato infatti assorbito come categoria estetica di riferimento di specifiche forme d'arte. I precedenti vanno ricercati nell'interesse verso la creazione di immagini non statiche, rese attraverso l'uso della fotografia, strumento capace di cristallizzare le fasi isolate del cinematismo. Note sono le sequenze fotografiche di corpi umani in movimento di Edward Muybridge²⁵, le composizioni quasi astratte e anticipatrici di un certo tipo di *optical art* di Étienne-Jules Marey²⁶ volte a discretizzare la sinuosità del movimento in momenti presi singolarmente, a cui seguirono le riproduzioni

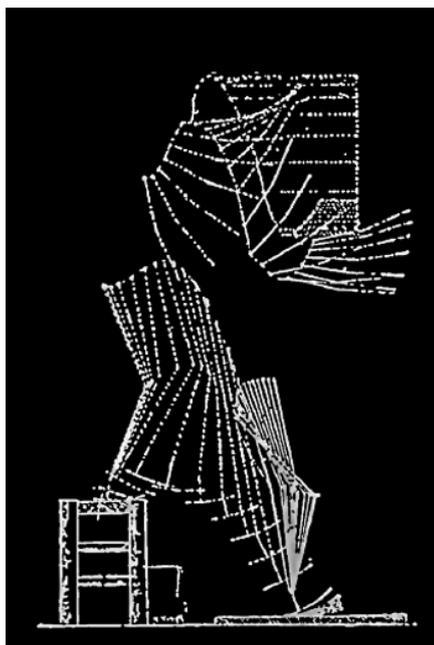


23. Ivi, p. 9.

24. Ivi, p. 18.

25. Edward Muybridge, *The Human Figure in Motion*, Chapman & Hall, Londra 1901.

26. Cfr. Siegfried Giedion, *Mechanization Takes Command: A Contribution to Anonymous History*, Oxford University Press, New York 1948, tr. it. *L'era della meccanizzazione*, Feltrinelli, Milano 1967.



sopra: Étienne-Jules Marey, Salto dall'alto a gambe tese, 1890

al centro: Marcel Duchamp, Nude Descending a Staircase (No. 2), 1912

a destra: Eliot Elisofon, Marcel Duchamp Descends Staircase, 1952



cinematografiche di Anton Giulio Bragaglia²⁷ e Andreas Feininger²⁸. Il movimento ha quindi rappresentato un tema privilegiato di sperimentazione da parte delle avanguardie, in particolare nelle arti figurative e nella scultura²⁹. Analizzare queste esperienze va al di là dello scopo di questa trattazione; risulta tuttavia utile approfondire alcune figure specifiche nel campo dell'arte cinetica che si sono occupate di costruire una poetica del movimento "in sé", nelle tre dimensioni – o meglio, quattro, considerando il *tempo* come intervallo in cui avviene il cinematismo.

Tra le prime figure generalmente riconosciute come iniziatori della ricerca artistica sulla cinetica come modalità di espressione artistica figura Naum Gabo. Legato al movimento costruttivista che si è evoluto in Russia negli anni che precedettero le rivoluzioni del 1917, Gabo fu entusiasmato come molti altri giovani artisti e intellettuali dal fermento che l'Unione Sovietica vide emergere in quel periodo di profonda mutazione sociale e culturale³⁰. Nel 1920 firmò con Antoine Pevsner il *Manifesto Realista* pubblicato in occasione di una mostra tenutasi a Mosca, in cui i due artisti aprirono la strada all'avvento dell'arte cinetica imponendo una serie di principi per una poetica del movimento che avrebbe dovuto materializzarsi nelle opere costruite attraverso uno stato di perenne cambiamento. Fondendo le aspirazioni artistiche dei giovani *realisti* con il fascino per le nuove applicazioni della ricerca scientifica, Gabo e Pevsner sostennero che la percezione del mondo doveva essere comunicata attraverso le categorie di *spazio* e *tempo*, elevando così i «ritmi cinetici» a espressione artistica delle «forme essenziali della nostra percezione del tempo reale»³¹.

27. Cfr. Mario Verdone, *Bianco e Nero. Rassegna di sudi cinematografici e televisivi. Anton Giulio Bragaglia*, Anno XXVI, maggio-giugno 1965.

28. Andreas Feininger, *Experimental Work*, American Photography Book Publishing, New York 1978.

29. Per un'analisi esaustiva delle origini e lo sviluppo dell'arte cinetica si rimanda ai testi di Frank Popper, *L'arte cinetica. L'immagine del movimento nelle arti plastiche dopo il 1860*, Einaudi, Torino 1970 e Guy Brett, *Kinetic Art. The Language of Movement*, Studio Vista, London 1968.

30. G. Jackson, S. Matson, A. Barlow (a cura di) *Naum Gabo: Constructions for Real Life*, Tate Publishing, London 2020.

31. Ivi, p. 34.

Naum Gabo, *Drawing for a kinetic sculpture*, 1915
Naum Gabo, *Kinetic Construction (Standing Wave)*, 1919

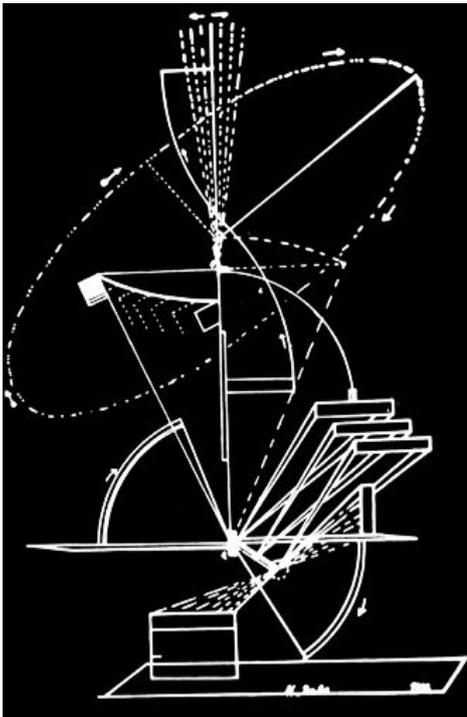
«We deny volume as an expression of space. [...] What can space be if not impenetrable depth? Depth is the unique form by which space can be expressed. We reject physical mass as an element of plasticity. Every engineer knows that the force of resistance and the inertia of an object do not depend on its mass. One example suffices: railroad tracks. We have freed ourselves from the age-old error of the Egyptians, according to whom the basic element of art could only be a static rhythm. We announce that the elements of art have their basis in a dynamic rhythm».

«Noi neghiamo il volume come espressione dello spazio. [...] Cosa può essere lo spazio se non una profondità impenetrabile? La profondità è l'unica forma con cui lo spazio può essere espresso. Noi rifiutiamo la massa fisica come elemento di plasticità. Ogni ingegnere sa che la forza di resistenza e l'inerzia di un oggetto non dipendono dalla sua massa. Basti un esempio: i binari della ferrovia.

Ci siamo liberati dell'errore secolare degli egiziani, secondo i quali l'elemento fondamentale dell'arte non poteva essere che un ritmo statico. Noi annunciamo che gli elementi dell'arte hanno la loro base in un ritmo dinamico».

A tal fine, nel *Manifesto Realista* vennero concentrati in cinque punti chiaramente definiti i dettami a cui la nuova pratica artistica avrebbe dovuto attenersi: rinuncia del colore, «accidentale e che non ha nulla a che vedere con il contenuto»³², in favore del *tono*, che ne rappresenta la «sostanza materiale in grado di assorbire la luce»³³; perdita del valore grafico della linea «illustrativa e decorativa»³⁴, che viene accettata soltanto come modalità rappresentativa delle «direzioni delle forze statiche che sono nascoste negli oggetti, e dei loro ritmi»³⁵; il volume non è più l'unico concetto spaziale, sostituito da una «continua *profondità* [...] unica forma pittorica e plastica dello spazio»³⁶; superamento del concetto di *massa* come qualità essenziale della scultura per approdare a costruzioni planari e a superfici che «liberino il volume dalla massa stessa»³⁷; infine, la rimozione della staticità come fine e quindi azione generatrice della forma plastica in favore di ritmi cinetici, così che l'arte possa «aiutare ovunque la vita occorre e agisce [...] affinché la fiamma della vita non venga mai spenta nell'uomo»³⁸.

In *Kinetic Construction (Standing Wave)* (1919-1920), Gabo dimostrò la specificità della cinetica nella sua capacità di rivelare nelle forme in movimento la dimensione *tempo*: una scultura meccanica costituita da una semplice asta di acciaio che emerge da una scatola di legno nero è azionata da un input elettrico, per il quale l'opera prende vita. Attraverso rapide oscillazioni provocate da un motore inserito nella base, l'asta vibra



32. Naum Gabo, Antoine Pevsner, *Realisticheskii Manifest (Manifesto Realista)*, Mosca 1920.

33. Ibid.

34. Ibid.

35. Ibid.

36. Ibid.

37. Ibid.

38. Ibid.

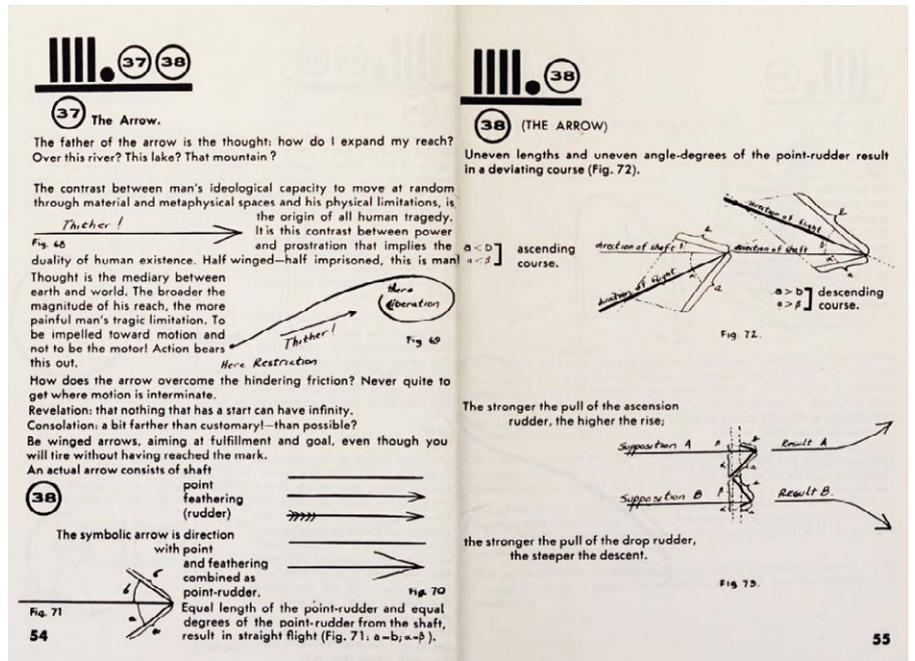
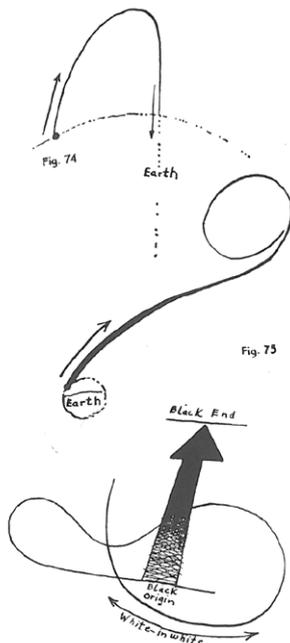


BOCCIONI. - Espansione spiraleica di muscoli in movimento (1913)
Expansion spiraleique de muscles en mouvement

in alto: Umberto Boccioni, *Espansione spiraleica di muscoli in movimento* (1913), pagina da *Pittura, scultura futuriste. (Dinamismo plastico)*, Milano 1914
in basso: Paul Klee, *genesi delle linee e delle frecce*, schizzi dal *Pädagogisches Skizzenbuch*, 1925
a destra: Paul Klee, *Pagine dal Pädagogisches Skizzenbuch*, 1925

generando l'illusione di una forma tridimensionale: un'onda stazionaria, finita, immobile ma mai stabile. L'opera sembra concretizzare i proclami dei futuristi italiani di qualche anno precedenti. Scrisse Umberto Boccioni: «l'azione che l'oggetto manifesta nel suo ambiente rappresenta il suo moto. Noi crediamo fermamente che solo attraverso il suo moto l'oggetto determini il suo *dramma* e detti la misura per essere creato»³⁹. Gabo, pur riconoscendo l'opera pionieristica del gruppo guidato da Boccioni, provvederà rapidamente a dissociarsi dai loro proclami: «chiedete a un qualsiasi futurista come immagina la velocità, e sulla scena apparirà un intero arsenale di automobili furiose, stazioni rumorose, cavi aggrovigliati, il *clang*, il *bang*, il rumore e lo squillare delle strade vorticosi [...] Tutto ciò non è provocato dalla velocità e dai suoi ritmi [...] un raggio di sole – la più quieta tra le forze silenziose – percorre trecentomila chilometri in un secondo. Il nostro cielo stellato – qualcuno è in grado di sentirlo?»⁴⁰.

Tradurre linee grafiche in vettori cinetici e linee di forza – intenzione centrale al manifesto di Gabo e Pevsner – ha rappresentato una modalità d'azione nonché uno dei fondamentali della didattica di Paul Klee alla Bauhaus. Nel *Pädagogisches Skizzenbuch*⁴¹ del 1925 – il cui progetto grafico fu curato da László Moholy-Nagy e tradotto e introdotto dalla storica Sibyl Moholy-Nagy – Klee sviluppò attraverso una serie di brevi testi e diagrammi i concetti di forze che creano sensazioni ottiche; forze che possono essere «cinetico-mobili o cromatico-caloriche»⁴². Se da un lato i grafici e gli schizzi tracciati da Klee confermano regole e possibilità del disegno come strumento evocativo del movimento, dall'altro aprono a



39. Umberto Boccioni, *Pittura, scultura futuriste. (Dinamismo plastico)*, Edizioni Futuriste di "Poesia", Milano 1914, p. 175.

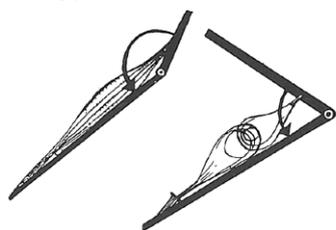
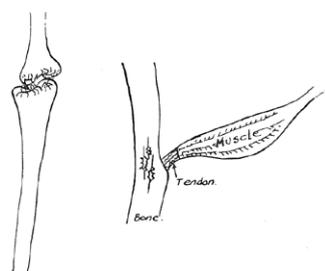
40. Gabo, Pevsner, *op. cit.*

41. Paul Klee, *Pädagogisches Skizzenbuch*, Albert Langen Verlag, Monaco 1925.

42. Sibyl Moholy Nagy, "Introduction" in Ivi, p. 11.

similitudini tra riferimenti tratti dal mondo naturale e possibili applicazioni in architettura; un esempio è la relazione tra muscoli e ossa negli organismi naturali nel rapporto tra «volontà cinetica ed esecuzione cinetica»⁴³.

Attraverso sintetiche descrizioni, Klee ispira e anticipa i principi che hanno guidato alcuni esempi di architetture cinetiche, costruendo per la prima volta un'associazione diretta fra i movimenti del corpo umano, gli organi e i sistemi che lo abilitano, e la loro trasposizione in segni intelligibili: «le ossa sono coordinate tra loro per formare uno scheletro. Anche a riposo, esse necessitano di un supporto mutuale. Questo è fornito dai legamenti. La loro funzione è secondaria; si potrebbe parlare di una gerarchia di funzioni. Il passo successivo nell'organizzazione del moto si sposta dall'osso al muscolo. Se si considera il regno degli organismi cinetici, risulta comprensibile come il tendine funga da intermediario tra i due. [...] Attraverso la sua abilità di contrarsi o accorciarsi, il muscolo è in grado di portare due ossa in una nuova relazione angolare [...] L'indipendenza della funzione muscolare è relativa [...] [infatti] il muscolo non è indipendente ma obbedisce agli ordini inviati dal cervello»⁴⁴. Al Bauhaus la cinetica come modalità di espressione trovò applicazione nell'approccio didattico e nei progetti di László Moholy-Nagy che a partire dal 1923 fu impegnato come docente del *Vorkurs*, e che fu incaricato da Gropius di dirigere il *New Bauhaus* a Chicago, dove la cinetica divenne parte integrante del nuovo *preliminary course*⁴⁵. Anche se critico dell'uso inumano e capitalistico della tecnologia a scapito della nuova società industriale di massa⁴⁶, Moholy-Nagy credeva che essa potesse essere sottomessa e gestita a beneficio dell'umanità e che proprio agli artisti spettasse il compito di tale impresa. Tra gli anni '20 e '30 Moholy-Nagy lavorò a una grande scultura cinetica, il *Light Prop for an Electric Stage (Light-Space Modulator)* (1930), che rappresenta nell'ambito della sua produzione il più concreto avvicinamento alla cinetica come mediatrice tra scienza e arte. Nel *Modulator*, l'artista ungherese immaginò un vero e proprio meccanismo funzionante per mezzo di dischi mobili forati, una spirale di vetro che ruota su stessa e una sfera scorrevole, che creano l'effetto di fotogrammi in movimento. Prodotto in collaborazione con l'AEG, e inizialmente concepito come dispositivo d'illuminazione per spazi teatrali, il *Light Prop*, una volta attivato è in grado di animarsi autonomamente, trasformando – o meglio *modulando* – lo spazio circostante attraverso proiezioni di luci in movimento, che di fatto disorientano l'osservatore trasportandolo in una dimensione percettiva alterata dal cinematismo delle fonti luminose. Il *Light Prop* fu anticipato dal progetto di Moholy-Nagy per un sistema cinetico, il *Dynamisch-Konstruktives Kraftssystem*⁴⁷, le cui prime elaborazioni sotto forma di diagramma risalgono al 1922, due anni dopo il *Manifesto Realista* di Gabo e Pevsner.



in alto: *Man as a kinetically controlled structure, actuated by interrelating muscle tendons*, William Zuk, Roger Clark, 1970

sopra: Paul Klee, relazione tra muscoli-tendini-ossa e la loro traduzione in organismo cinetico, schizzi dal *Pädagogisches Skizzenbuch*, 1925

43. Ivi, pp. 27-29.

44. Ibid.

45. A. Findeli, "Moholy-Nagy's Design Pedagogy in Chicago (1937-46)" in *Design Issues*, vol. 7, 1990, p. 7.

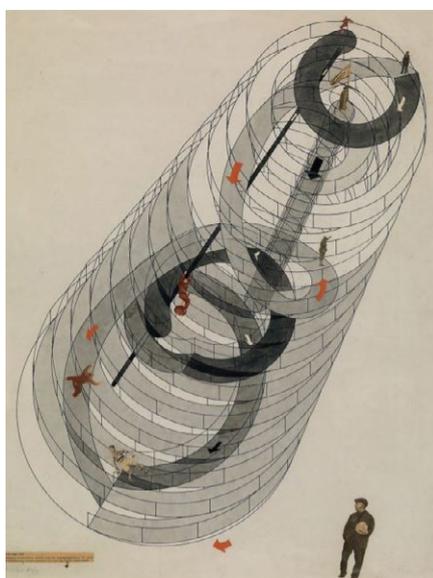
46. László Moholy-Nagy, *Vision in Motion*, Paul Theobald, Chicago 1947, p.11.

47. Juan Ignacio Prieto López, "Kinetic Reconstructive System: The Virtual Reconstruction of László Moholy-Nagy and Stefan Sebök's Utopian Project", in *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, v. 21, n. 27, Maggio 2016, pp. 114-121.

a destra: László Moholy-Nagy, *Dynamisch-Konstruktives Kraftssystem*, 1922

sotto: László Moholy-Nagy, *Dynamisch-Konstruktives Kraftssystem*, 1922

in basso: László Moholy-Nagy, *Kinetisches Konstruktives System: Bau Mit Bewegungsbahnen für Spiel und Beförderung*, 1928



Il progetto fu presentato nel dicembre dello stesso anno in un breve articolo-manifesto su *Der Sturm*: «dobbiamo sostituire i principi statici dell'arte classica con il principio dinamico della vita universale. In termini concreti, al posto di una costruzione materiale e formale statica, è necessario concepire una costruzione dinamica (o vitale) e la sua relazione con le energie presenti; in essa il materiale è utilizzato soltanto come portatore di queste energie»⁴⁸. Tali premesse evolveranno nel *Kinetisches Konstruktives System: Bau Mit Bewegungsbahnen für Spiel und Beförderung* (1928), che concretizza in una architettura utopica il “sistema di forze cinetiche” progettato da Moholy-Nagy sei anni prima. Immaginato come una struttura conica inclinata contenente tre rampe a spirale a differenti pendenze, in cui la prima viene utilizzata dagli spettatori per osservare performance teatrali, che giunti in cima attraverso un dispositivo meccanico, vengono trasportati indietro da un ascensore cilindrico fino alla piattaforma intermedia dove sono posizionati gli attori, che recitano sfruttando le superfici inclinate o altre piattaforme orizzontali⁴⁹. Complessità tecnologica e movimento degli spettatori concorrono alla creazione di campi di forze cinetiche che aspirano, essenzialmente, a un dialogo rinnovato tra uomo e architettura.

Il coinvolgimento concreto dell'osservatore come obiettivo della cinetica cominciò così a rappresentare un orizzonte raggiungibile da parte di artisti ed architetti. Nella galleria *The Art of This Century*, inaugurata da Peggy Guggenheim nel 1942 a New York, dove le sue attività si protrarranno fino al 1947, l'architetto austriaco Frederick Kiesler esplorò temi – che successivamente informeranno la sua ampia produzione e l'attività di docente – discendenti dal clima artistico e culturale che mirava al coinvolgimento dell'arte e dell'architettura nella vita dell'uomo, rinunciando alla tradizionale staticità del rapporto tra opera e osservatore a favore di un'interazione fisica ed emotiva⁵⁰. La galleria era caratterizzata da quattro sale espositive: *l'Abstract Gallery*, la *Surrealist Gallery*, la *Day-Light Gallery* e la *Kinetic Gallery*.

48. László Moholy-Nagy, "Dynamisch-Konstruktives Kraftssystem" in *Der Sturm: Monatsschrift für Kultur und die Künste*, dicembre 1922, p. 186.

49. László Moholy-Nagy, *Von Material zu Architektur*, Albert Langen Verlag, Monaco 1929, pp. 204-205.

50. Susan Davidson, Philip Rylands (a cura di) *Peggy Guggenheim & Frederick Kiesler: The Story of Art of This Century*, Hatje Cantz, Ostfildern-Ruit 2005.

Le sale erano caratterizzate da spazi in cui una serie di opere d'arte e oggetti disposti in maniera apparentemente casuale erano ospitati su piedistalli e supporti fissi e mobili. Dalle pareti della sezione *surrealista*, curvate verso l'osservatore a ricordare gli schizzi per i sistemi cinetici di Moholy-Nagy, emergevano una serie di protuberanze metalliche su cui montare tele che potevano essere inclinate dai visitatori, la sezione *astratta*, invece, era caratterizzata da un sistema di cavi tesi a cui agganciare dipinti senza cornice. Nella sezione *cinetica*, il pezzo principale è l'espositore mobile contenente *La Boîte-en-valise* di Marcel Duchamp, inserita in una controparete e il cui contenuto poteva essere osservato interagendo con una ruota a forma di spirale che rivelava lentamente il contenuto della valigia. Di fronte, una serie di dipinti di Klee era illuminata da un sistema meccanico che permetteva alle piccole opere di ruotare davanti all'osservatore⁵¹. L'architettura, in questo caso sotto forma di allestimento, comincia a configurarsi come un dispositivo interfaccia che abilita il contatto e diventa un'estensione dei gesti fisici dell'osservatore.



sopra: Frederick Kiesler, *The Art of This Century Gallery*, New York, 1942-1947

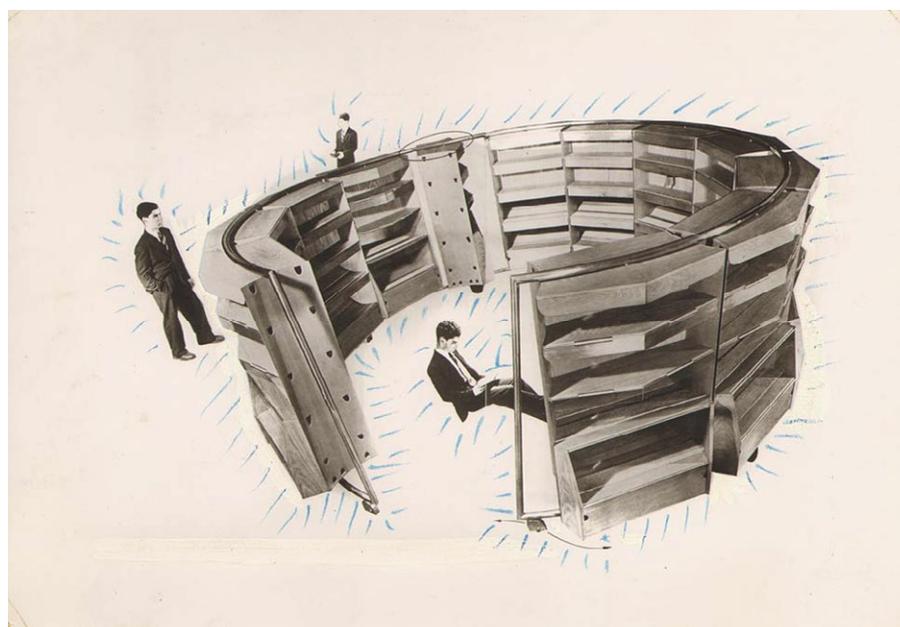
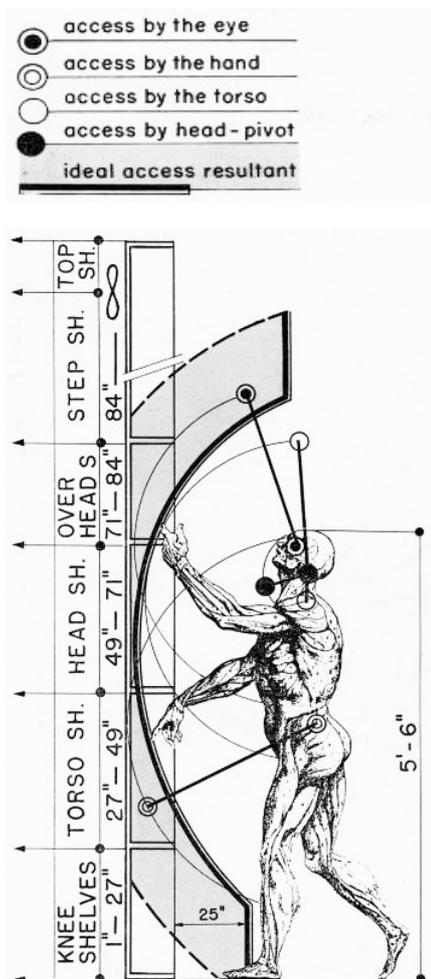
Kiesler – figura complessa e poliedrica – credeva fermamente nelle possibilità del progresso tecnologico che nell'integrazione tra corpi umani e macchine avrebbe raggiunto la sua massima realizzazione⁵². Uno dei primi progetti sviluppati col suo laboratorio di ricerca alla Columbia University fu la *Mobile-Home-Library*⁵³ (1938-1939), una stanza-biblioteca cinetica, mobile e adattabile a diversi utilizzi. Le dimensioni degli scaffali e la loro angolazione furono accuratamente progettati e rappresentati attraverso diagrammi fortemente caratterizzati. La scelta della rappresentazione non appare casuale: in essi sembra ricorrere il tratto di Klee nel *Quaderno di schizzi pedagogici*, a dimostrazione della relazione tra la didattica di

51. Elana Shapira, "Kiesler's Imaging Exile in Guggenheim's Art of this Century Gallery and the New York Avant-garde Scene in the early 1940s" in Burcu Dogramaci et al., *Migrating Artists and New Metropolitan Topographies in the 20th Century*, Leuven University Press, Leuven 2020.

52. S. Phillips, *Elastic architecture: Frederick Kiesler and Design Research in the First Age of Robotic Culture*, MIT Press, Cambridge (MA) 2017.

53. S. Phillips, "Toward a Research Practice: Frederick Kiesler's Design-Correlation Laboratory", in *Grey Room*, n. 38, Winter 2010, p. 104.

Kiesler e le esperienze pedagogiche precedenti della Bauhaus che nella seconda metà degli anni Trenta cominciarono a diffondersi in America a causa della migrazione di architetti e intellettuali in fuga dagli sconvolgimenti politici che si prospettavano in Europa⁵⁴. La biblioteca mobile rappresentò una delle prime sperimentazioni cinetiche costruite da Kiesler, adattabile e flessibile per supportare e facilitare molteplici modalità di sistematizzazione di testi e di gestione dello spazio da parte degli utenti: gli scaffali inclinati potevano accogliere dimensioni e tipi di libri diversi e le singole unità che componevano la *stanza* potevano ruotare su sé stesse, essere trasportate e movimentate per raggiungere nuove configurazioni. La *Mobile Library* rappresentò un pretesto per Kiesler per studiare e approfondire i temi del coinvolgimento dell'utente nell'interazione con uno spazio architettonico e nella modificazione delle sue componenti fondamentali: corpi in movimento e architettura-oggetti interagiscono per accogliere bisogni in evoluzione dovuti a una «società capitalista avanzata e in costante mutazione»⁵⁵.



sopra: Frederick Kiesler, *Biotechnical Motion Study*, 1939
 a destra: Frederick Kiesler, *Mobile-Home-Library*, 1939

Dal secondo dopoguerra la fascinazione per la macchina come riferimento per una nuova estetica andò sfumando a favore di un'integrazione più stretta tra le discipline diverse legate allo sviluppo tecnologico – le scienze naturali, la nascente informatica – e la vita dell'uomo. Gabo, Moholy-Nagy, Kiesler ebbero un notevole influsso sulla generazione di artisti e architetti che a partire dalla metà del XX secolo portarono avanti le ricerche sull'arte cinetica. Di un vero e proprio movimento che si basa su strumenti e congegni tecnici sempre più complessi si potrà parlare infatti solo dopo il 1950: la mostra alla Galerie Denise René di Parigi nel 1955 "*Le Mouvement*" – aperta dal motto «Siamo all'inizio di una nuova era. L'era che è appena cominciata in cui le

54. Shapira, *op. cit.*

55. Phillips, "Toward a Research Practice", *op. cit.*, p. 105.



Manifesto della mostra "Le Mouvement", Parigi 1955
 Manifesto della mostra "Bewogen Beweging", Amsterdam 1961

proiezioni scultoree su schermi a due o tre dimensioni sono possibili, sia di giorno che di notte»⁵⁶ – e del 1961 allo Stedelijk Museum di Amsterdam "Bewogen Beweging", introdussero a un più ampio pubblico internazionale la generazione di artisti che si occupavano di movimento come Alexander Calder, Marcel Duchamp, Jean Tinguely, e Victor Vasarely. Tra questi figura Len Lye, artista neozelandese che si interrogò sulla possibilità di genere delle "figure di movimento" (*figures of motion*) attraverso l'utilizzo di elementi costruttivi apparentemente statici. Il termine *figura* è inteso da Lye non tanto come forma definita e riconoscibile in sé, quanto come elemento in grado di emergere nella relazione con uno *sfondo*⁵⁷. La relazione si esplica attraverso la *durata*, in cui figura e sfondo arrivano a fondersi. Concetto caro a Bergson, la *durata* rappresenta il tempo della coscienza inteso come successione di stati in cui «ognuno annuncia quello che segue e contiene in sé quello che lo precede»⁵⁸ in cui non è possibile isolare nessun momento dall'altro: il mondo materiale «si fonde in un flusso continuo, una continuità di correnti, un *divenire* [...] lo stato precedente permea, si fonde o si dissolve in un altro, come le note in una melodia»⁵⁹. Le performance delle opere di Lye avevano una durata media di circa cinque minuti impegnando fisicamente l'osservatore per stimolare la «vecchia coscienza»⁶⁰ innescando una serie di "ricordi di movimento" stratificati nella memoria dell'osservatore da tutta quella serie di azioni inconscie, al tempo stesso necessarie per la vita e che coinvolgono mente e corpo⁶¹. L'esperienza emotiva viene amplificata dalla luce, dal caratteristico suono del metallo che si muove o piega e dalla durata prolungata del movimento cinetico che caratterizza l'opera. In controtendenza rispetto all'entusiasmo dimostrato dagli artisti cinetici a lui coevi, George Rickey, nel suo saggio *The Morphology of Movement* del 1963 sostenne fermamente la necessità dell'arte cinetica di liberarsi dall'utilizzo di macchinari meccanici: i ritmi ripetuti e battenti risultano addirittura più statici dell'assenza del movimento stesso. Per Rickey progettare la cinetica significa addomesticare «il movimento di una nave in mare (beccheggio, rollio, caduta, crescita, imbardata, slittamento)»⁶² incorporando la "casualità" del movimento tra i fattori generativi, così come viene prodotto in natura. L'obiettivo vero dell'arte cinetica è infatti raggiungere un poetica del "movimento in sé" per come preannunciato da Gabo, senza le «distrazioni di meccanismi, forme, rilievi, colori o associazioni figurative»⁶³. Il gruppo *Dvizhenie* (tradotto come "movimento") fece di tale ricerca la costante delle creazioni artistiche e architettoniche dei suoi membri. Fondato a Mosca nel 1962 da Lev Nussberg, gli artisti di *Dvizhenie* furono fortemente influenzati dalla stagione costruttivista e suprematista. Nei suoi progetti rimasti su carta e nelle sue opere costruite, Nussberg ha

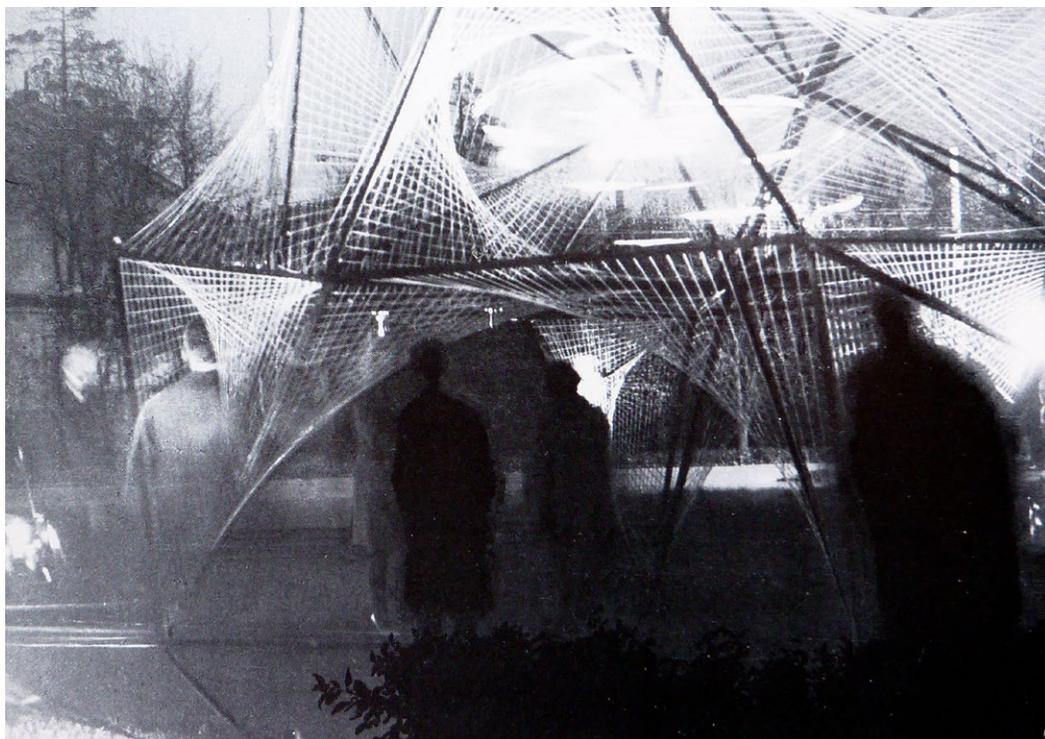
56. Victor Vasarely, "Notes pour un manifeste" in *Le Mouvement/The Movement*, catalogo della mostra a cura di V. Vasarely, Pontus Hultén, Galerie Denise René Parigi 1955.
 57. Cfr. Roger Horrocks, *Art That Moves. The Work of Len Lye*, Auckland University Press, Auckland 2009.
 58. Kari Jormakka, *Flying Dutchman. Motion in Architecture*, Birkhäuser, Basilea 2002 pp. 53-54.
 59. Ibid.
 60. Horrocks, *op. cit.*, p.44.
 61. Ibid.
 62. George Rickey, "The Morphology of Movement: A Study of Kinetic Art", in *Arts Journal*, vol. 22, 1963.
 63. Jules Moloney, *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*, Routledge, Londra 2011.



sopra: Len Lye, l'effetto volumetrico virtuale creato dalla scultura *Zebra*, 1965

sotto a destra: Lev Nussberg, *Galaxy*, 1962

approfondito la relazione tra l'apparente staticità degli elementi e il loro mutarsi in nuove forme complesse come espressione del tumulto sociale e culturale degli anni Sessanta. Le architetture di Nussberg hanno anticipato di anni quella caratteristica fatta propria dal lessico dell'architettura cinetica definita come *responsività*, propriamente intesa in senso fisico come il grado di intensità con cui un sistema reagisce a uno stimolo esterno, che può avere diversa origine o natura⁶⁴. Per la "Mostra delle opere scientifiche e creative"⁶⁵ della gioventù moscovita sovietica dell'ottobre 1967, Nussberg progetta e realizza l'installazione responsivo-cinetica *Galaxy*. La struttura, realizzata con tubolari metallici tenuti insieme da una serie di corde in materiale plastico, era attivata da componenti elettrici che ne modificavano l'inclinazione lasciando percepire un movimento libero che sfidasse la forza di gravità a passo di musica e illuminato da luci colorate⁶⁶. Tra i primi esempi di architettura responsiva, *Galaxy* richiama il lontano immaginario dell'esplorazione cosmica che avveniva in quegli anni, intrecciando la fascinazione per il mondo naturale con l'interesse per le astratte geometrie costruttiviste e teorizzate in quegli anni dall'arte cinetica, che per Nussberg doveva accogliere «la sintesi dei diversi mezzi tecnici e forme d'arte»⁶⁷. Di conseguenza, la modalità espressiva verso cui tendere naturalmente era l'architettura. «Lavoriamo su ciò che definiamo arte cinetica, ma bisogna aggiungere che questa è anche un'arte *sintetica*» scrive Nussberg nei suoi appunti «il movimento è il principio più importante. Con questa parola intendo cambiamento, trasferimento, penetrazione

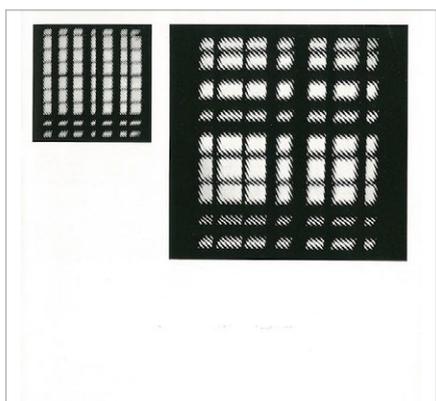
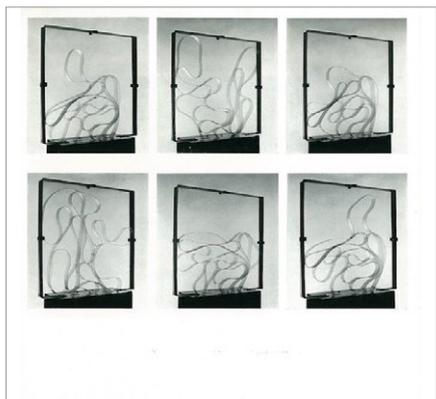
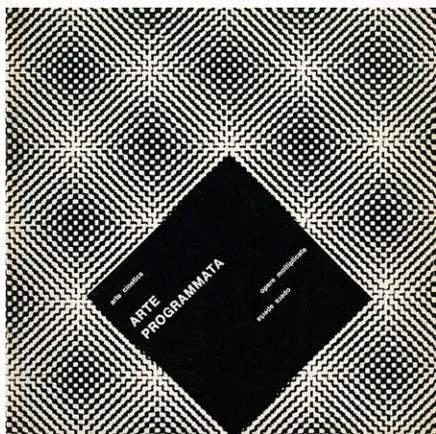


64. Dizionario delle Scienze Fisiche, 1996.

65. V. F. Koleychuk, "The Dvizheniye Group: Toward a Synthetic Kinetic Art", in *Leonardo*, vol. 27, no. 5, 1994, pp. 433-436.

66. Schumacher et.al, *op. cit.*

67. *Ibid.*



dall'alto: Umberto Eco, Bruno Munari, *Arte cinetica. Opere moltiplicate. Opera aperta*, copertina del catalogo della mostra, Milano 1962

Gianni Colombo, *Strutturazione Fluida*, pagina dal catalogo della mostra, Milano 1962

Grazia Varisco, *9x9xX*, pagina dal catalogo della mostra, Milano 1962

mutuale, progresso»⁶⁸. Produrre determinati effetti spaziali attraverso la movimentazione fisica dalla struttura di un'architettura ha rappresentato l'interesse principale di Nussberg, condensando in essa le possibilità di adattamento alle variabili di una società in cambiamento.

In Italia, il *Gruppo T*, milanese, composto da Giovanni Anceschi, Davide Boriani, Gianni Colombo, Gabriele Devecchi e Grazia Varisco e il *Gruppo N*, fondato a Padova nel 1959 da Alberto Biasi, Ennio Chiggio, Toni Costa, Edoardo Landi e Manfredo Massironi, furono i maggiori rappresentanti dell'*arte programmata*, definizione coniata da Bruno Munari per descrivere tutta l'arte progettata attraverso i primi calcolatori elettronici e che mutando di forma e colore e suggerendo la percezione di un movimento, potesse suscitare nell'osservatore un coinvolgimento emotivo particolarmente accentuato non riferibile alle esperienze statiche e contemplative dell'arte figurativa tradizionale⁶⁹. Nel maggio del 1962 alla Galleria Vittorio Emanuele di Milano fu ospitata la mostra *"Arte Cinetica. Opere moltiplicate. Opera aperta"* curata da Bruno Munari e Giorgio Soavi. Anche la mostra fu parte del progetto culturale della Olivetti⁷⁰ e risultò in critiche discordanti⁷¹. Gli oggetti in mostra esaltano «la temporalità accelerata del boom economico, facendosi al tempo stesso portatori dell'ansia di progresso e del desiderio di rinnovamento che accompagna e sommuove quegli anni»⁷² segnando una vera e propria collaborazione tra arte e industria, tra tecnologia e società. In particolare, il termine *arte programmata* figurò nell'indice dell'*Almanacco Letterario Bompiani* dedicato al tema fortemente evocativo de *"L'applicazione dei calcolatori elettronici alle scienze morali e alla letteratura"* e contenente una serie di saggi sulla diffusione delle scienze informatiche e della cibernetica e la loro possibile applicazione alle letterature e alla linguistica, presentando quegli aspetti «curiosi, a volte inquietanti, che sembrano annunciare qualche nuova direzione e dimensione nel futuro»⁷³. A chiusura del volume, il saggio di Umberto Eco *"La forma del disordine"* enuncerà i principi dell'arte programmata. Già nel titolo è dichiarata l'intenzione di un'arte che sia grado di raggiungere una riconoscibilità formale a partire da un insieme incontrollato di elementi che la compongono, che assorbono e rielaborano la casualità entropica del mondo rivelata dalle nuove scienze informatiche: «la scienza scopre il Caso? L'arte si butta a corpo morto sul Caso, e lo fa suo»⁷⁴. Ma proprio grazie alla scienza il caso passa da elemento incontrollabile ad attività tutta umana e quindi gestibile, ed è dunque possibile «prevederlo, programmarlo, non sceglierlo una volta accaduto, ma farlo accadere secondo le regole imprescindibili della

68. La citazione è tratta da una nota manoscritta dell'archivio personale di Lev Nussberg, in Koleychuk, *op. cit.*, p. 433.

69. Marco Meneguzzo, Enrico Morteo, Alberto Saibene (a cura di) *Programmazione l'arte. Olivetti e le neoavanguardie cinetiche*, Johan & Levi, Milano 2012.

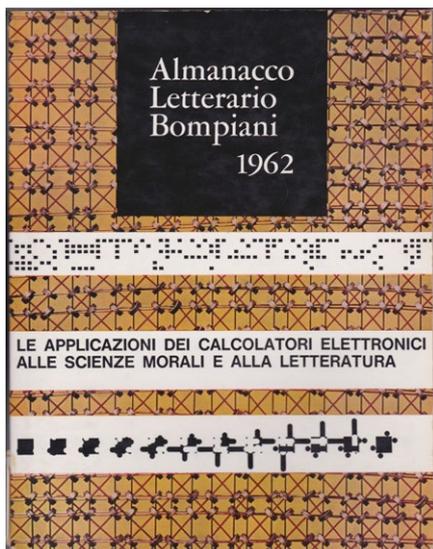
70. *La rivista di engramma. Olivetti. Comunità, conflitti, intelligenze, forme di vita*, a cura di Sara Agnoletto, Olivia Sara Carli, Roberto Masiero, n. 166, giugno 2019.

71. "Roma. Palle metalliche, palle motorizzate, palle a mano, palle aggrovigliate, palle elettriche, palle cangianti: Giorgio Soavi è là in mezzo che spiega, manovra, preme bottoncini, pulsanti e manovelle. E le palle si muovono, rimbalsano, saltano. Siamo alla mostra dell'Arte Programmata, aperta la settimana scorsa al Negozio Olivetti in via del Tritone", *Soavi alla Olivetti dimentica la figlia-cane*, "L'Espresso", 14 ottobre 1962, citato in Marianna Gelussi, "Marianna Gelussi, "Arte programmata, la chiamano. 1962. Olivetti e l'arte cinetica" in *La rivista di engramma. Olivetti. Comunità, conflitti, intelligenze, forme di vita*, a cura di Sara Agnoletto, Olivia Sara Carli, Roberto Masiero, n. 166, giugno 2019, pp. 227-241.

72. Ibid.

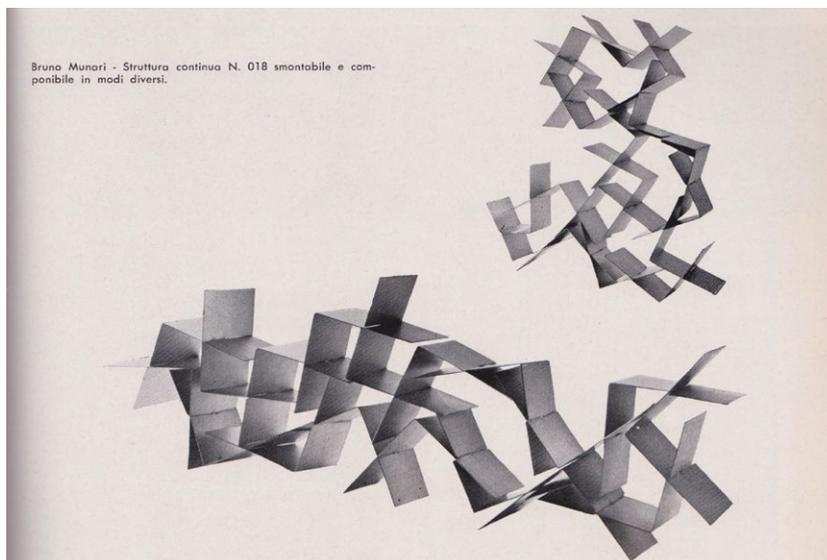
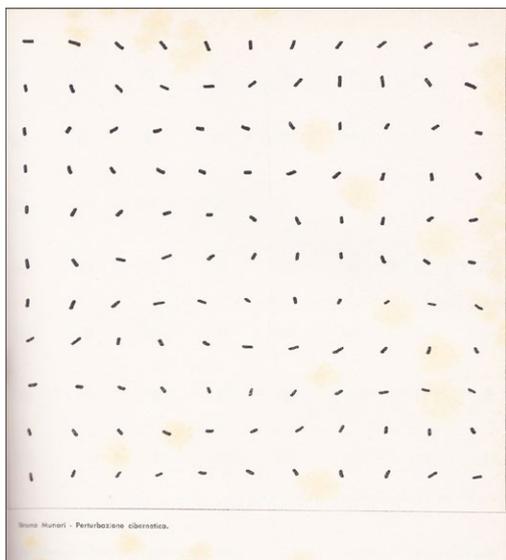
73. Sergio Morando (a cura di) *Almanacco Letterario Bompiani 1962*, Bompiani, Milano 1961.

74. Umberto Eco, "La forma del disordine", in Ivi, p. 175.



sopra: Copertina dell'Almanacco Letterario Bompiani 1962, Bompiani, Milano 1961
 in basso: Bruno Munari, *Perturbazione Cibernetica*, 1962
 a destra: Bruno Munari, *Struttura continua N. 018*, 1961-1967

probabilità statistica, in cui il massimo di casualità coincide col massimo di prevedibilità»⁷⁵. Per Eco, tuttavia, il punto di partenza per la creazione di un'opera necessita di estremo rigore, di «ordine e geometria»⁷⁶ per poi sfociare in un processo concatenato di azioni generative programmate che generano l'effetto cinetico. «Costoro» prosegue Eco «assumono dunque per lo più una conformazione geometrica di base e la sottopongono a rotazioni e permutazioni [...] programmandone tutte le variazioni necessarie e allineandole tutte senza discriminazione. Risultato: non una forma, ma la pellicola di una forma in movimento, o la scelta complementare tra varie forme»⁷⁷. Le parole di Eco sorprendono per la precisione con cui descrivono la relazione tra input e risposta del sistema elettronico che troverà piena applicazione soltanto tre decenni dopo quando la parametrizzazione delle variabili assunse un ruolo fondamentale nelle sperimentazioni progettuali nel campo dell'architettura: «fissato l'elemento di base e programmatene le permutazioni, l'opera non consiste nell'elemento meglio riuscito, scelto tra tutti gli altri, ma proprio nella compresenza di tutti gli elementi pensabili»⁷⁸. Commentando la *Perturbazione cibernetica* (1962) di Munari, Eco racconta dell'esperienza dell'osservatore al cospetto di queste opere come un lasciarsi trascinare in una «danza del provvisorio e del relativo»⁷⁹ dove non sarà più possibile rintracciare le «coordinate tranquillizzanti che vi indichino il sopra e il sotto, la destra e la sinistra»⁸⁰. L'arte cinetica e programmata della mostra del 1962 accoglie tale instabilità e ne propone una risoluzione formale attraverso una pratica puramente artistica, anche se «contaminata» dal calcolatore elettronico – ovvero dalla scienza – per fornire supporti «immaginativi onde concepire quel mondo che la ragione contemporanea ha costruito da tempo»⁸¹.



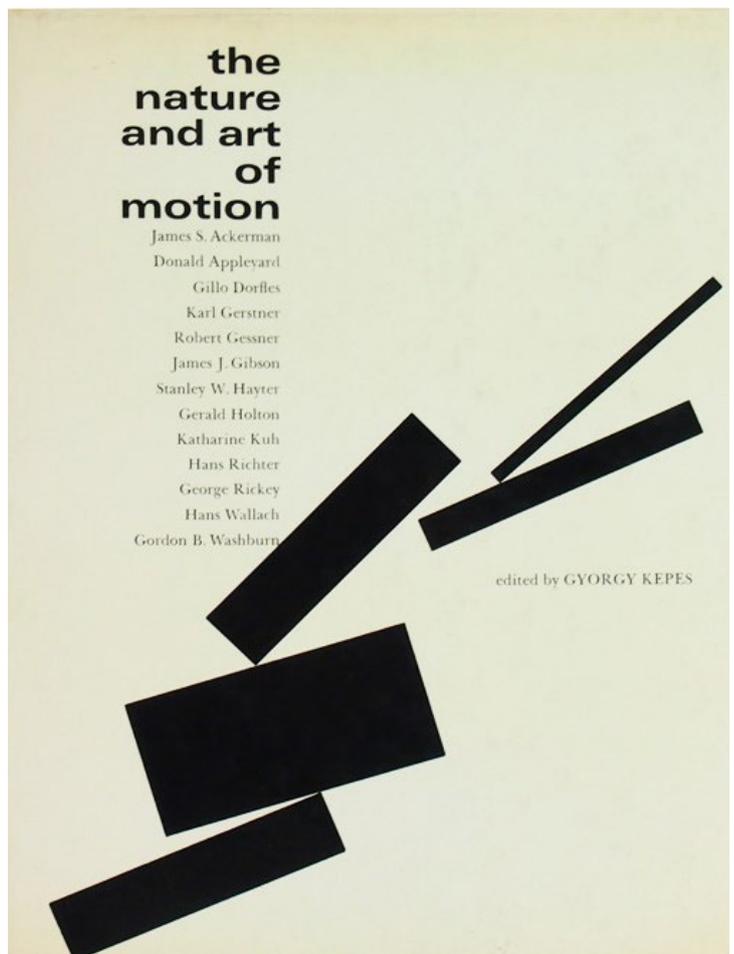
75. Ibid.
 76. Ibid.
 77. Ivi, p. 175.
 78. Ivi, p. 176.
 79. Ivi, p. 186.
 80. Ibid.
 81. Ivi, p. 176.

in basso: Man Ray, *Rayograph*, 1922

a destra: Copertina di *The Nature and Art of Motion*, George Braziller, New York 1965.

«Artistic sensibility and the imaginative act are key factors in human self-regulation of the interacting variables of our man-shaped inner and outer worlds. Artistic sensibility is seeking new images to give us our bearings. As nineteenth-century creative vision projected the images of health and fullness, light, space, and color, and the inner richness of fully lived life, so twentieth-century artistic sensibility is trying to read the signs between life and no life, between life as it is and life as it could be. It tries to create dynamic images of order that can domesticate the wildly spiraling forces of expansion».

«La sensibilità artistica e l'atto immaginativo sono fattori chiave nell'autogestione dell'uomo delle variabili di interrelazione dei nostri mondi interni ed esterni costruiti dall'uomo. La sensibilità artistica necessita di nuove immagini per orientarci. Come la visione creativa del diciannovesimo secolo proiettava immagini di salute e pienezza, luce, spazio e colore, e la ricchezza interiore di una vita pienamente vissuta, così la sensibilità artistica del ventesimo secolo sta cercando di interpretare i segni tra la vita e la non vita, tra la vita come è e la vita come potrebbe essere. Cerca di creare immagini di un ordine dinamico che possano addomesticare le forze di espansione che spiraleggiano selvaggie».



Dalla fisica all'arte, il movimento assunse un ruolo centrale della produzione artistica e culturale in un'epoca in si sentiva la necessita di offrire nuovi modelli interpretativi del mondo attraverso categorie estrapolate dagli avanzamenti e sviluppi della tecnica⁸². Figura fondamentale nell'ambito degli studi sul movimento, la cinetica e sui rapporti di reciprocità tra uomo e ambiente, Gyorgy Kepes pubblicò una serie di volumi tra cui "*The Language of Vision*"⁸³ (1944), "*The New Landscape in Art and Science*"⁸⁴ (1956) e "*Arts of the Environment*"⁸⁵ (1972) in cui tentò di discretizzare tutte le influenze e le forze che influiscono su tale relazione, individuandone origini artificiali e naturali e tracciandone prospettive attraverso contributi multidisciplinari di cui Kepes rappresentò uno snodo fondamentale, inter-connettendo specialisti di ambiti molto diversi quali la cibernetica, la biologia, la psicologia, l'etologia, l'antropologia, l'architettura, il design e l'arte⁸⁶. In "*The Nature and Art of Motion*"⁸⁷ del 1965, Kepes illustra come l'arte cinetica fosse parte di una tendenza più ampia che intendeva esplorare il potenziale del movimento come aspetto presente in plurime discipline e caratterizzante un nuovo modo attraverso cui interpretare l'ambiente in cui viviamo.

82. Gyorgy Kepes, *The Nature and Art of Motion*, George Braziller, New York 1965.

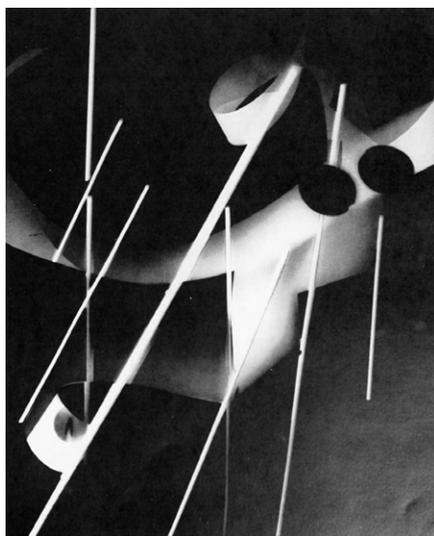
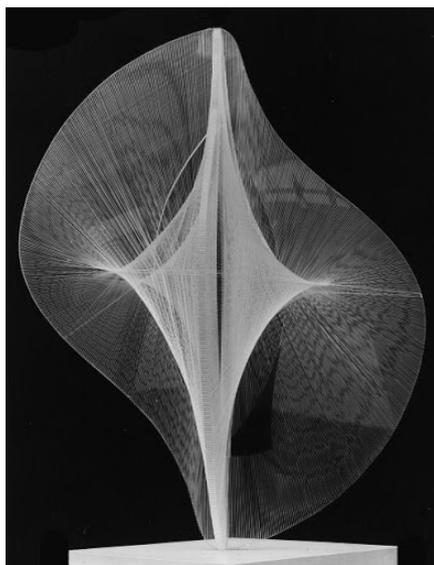
83. Gyorgy Kepes, *The Language of Vision*, Paul Theobald, Chicago 1944.

84. Gyorgy Kepes (a cura di), *The New Landscape in Art and Science*, Paul Theobald, Chicago 1956.

85. Gyorgy Kepes (a cura di), *Arts of the Environment*, George Braziller, New York 1972.

86. Larry D. Busbea, *The Responsive Environment. Design, Aesthetics, and the Human in the 1970s*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2019, pp. 103-110.

87. Gyorgy Kepes (a cura di), *The Nature and Art of Motion*, George Braziller, New York 1965.



sopra: László Moholy-Nagy, *Photogram*, 1939
 in alto: Naum Gabo, *Linear Construction in Space No.2*, 1949

«Il movimento, in senso strettamente fisico, è un cambiamento di posizione rispetto a un sistema di riferimento di coordinate spaziali. In senso più ampio, il movimento è un cambiamento in base a un sistema di valori umani di base. In questo momento, ci troviamo intrappolati in un enorme ingorgo emozionale e sociale»⁸⁸. Per Kepes, si era giunti impreparati al momento in cui le «macchine e le tecniche avrebbero eclissato gli umani»⁸⁹ senza realizzare che il problema «reale è la nostra mancanza di coordinazione, genuinamente contemporanea, e dinamica»⁹⁰. La collaborazione auspicata da Kepes è risolta attraverso il dialogo necessario tra le scienze dure e discipline artistiche; la struttura del libro sembra dichiarare tale intento raccogliendo contributi da entrambi gli ambiti. Il movimento «rappresenta uno dei problemi della scienza contemporanea»⁹¹ di difficile discernimento, le cose del mondo «crescono e si disintegrano; cambiano di forza, di taglia e posizione»⁹² e si rendono visibili ai nostri occhi: ciò che noi percepiamo come costante e stabile, è in realtà funzione dei «pattern mutevoli di ripetuti stimoli stazionari sulla retina che ci inducono l'esperienza del movimento. Sussiste quindi una relazione fondamentale tra *staticità* e *cambiamento*»⁹³. Gillo Dorfles, nel suo saggio contenuto nel volume, esplicita la relazione tra staticità e cambiamento descrivendo come la nuova idea del mondo sviluppatasi nella prima metà del XX secolo abbia modificato e influenzato la forma in ambito artistico, che nell'evolversi ha assunto la *dinamicità* come criterio formale principale. Il movimento è la manifestazione apparente della dinamica, ovvero «l'azione di una forza su un oggetto, su un organismo o su un evento»⁹⁴ ed è interpretato come «l'elemento responsabile per la profonda metamorfosi nel nostro modo di visualizzare il mondo esterno – e anche quello a noi interno»⁹⁵. Centrale nell'argomento di Dorfles è infatti la possibilità del movimento di generare risposte empatiche nell'osservatore: «il movimento favorisce e intensifica la componente empatica [...] perché attraverso la trasmissione di ritmi specifici è capace di "mettere in moto" le strutture più profonde della coscienza umana»⁹⁶. È compito quindi dell'architettura e dell'arte di instaurare connessioni tra uomo e ambiente provvedendo non solo al suo benessere – responsività e cinematismi intesi come strumenti per il miglioramento delle condizioni fisiche – ma alla costruzione di una nuova percezione del mondo potenziata dalle possibilità della cinetica.

88. Ivi, p. I.

89. Ivi, p. II.

90. Ibid.

91. Ibid.

92. Ibid.

93. Ivi, p. III.

94. Gillo Dorfles, "The Role of Motion in our Visual Habits and Artistic Creation", in Ivi, p. 41.

95. Ibid.

96. Ivi, p. 45.

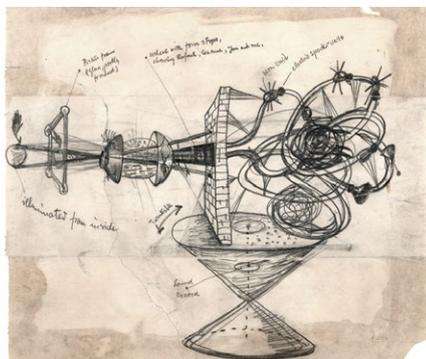
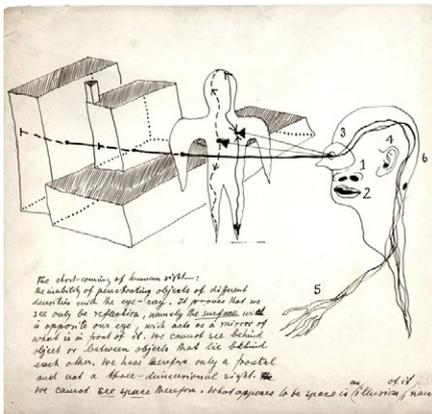
1970: “Kinetic Architecture”

«L'architettura cinetica possiede la capacità di adattarsi al cambiamento attraverso un cinematismo. Essa è la risposta formale ad un set di “pressioni” fisiche e non-fisiche, interconnesse, mutevoli e sostituibili.»
William Zuk, Roger Clark, *Kinetic Architecture*, 1970

in basso: Frederick Kiesler, schizzi concettuali per la *Vision Machine*, 1937

«The shortcoming of human sight: the inability of penetrating objects of different densities with the eye-ray. It proves that we see only by reflection, namely the surface which is opposite to our eye, which acts as a mirror of what is in front of it. We cannot see behind object or between objects that lie behind each other. We have therefore only a frontal and not a three-dimensional sight. We cannot see space therefore, what appears to be space is an illusion of it, namely a succession».

«Il difetto della vista umana: l'incapacità di penetrare oggetti di diversa densità con il raggio oculare. Questo dimostra che vediamo solo per riflesso, ovvero la superficie che si trova di fronte al nostro occhio, che fa da specchio a ciò che gli sta davanti. Non possiamo vedere dietro gli oggetti o tra gli oggetti posizionati uno dietro l'altro. Abbiamo una vista solo frontale e non tridimensionale. Non possiamo quindi vedere lo spazio, ciò che appare come spazio è un'illusione di esso, o meglio una successione».



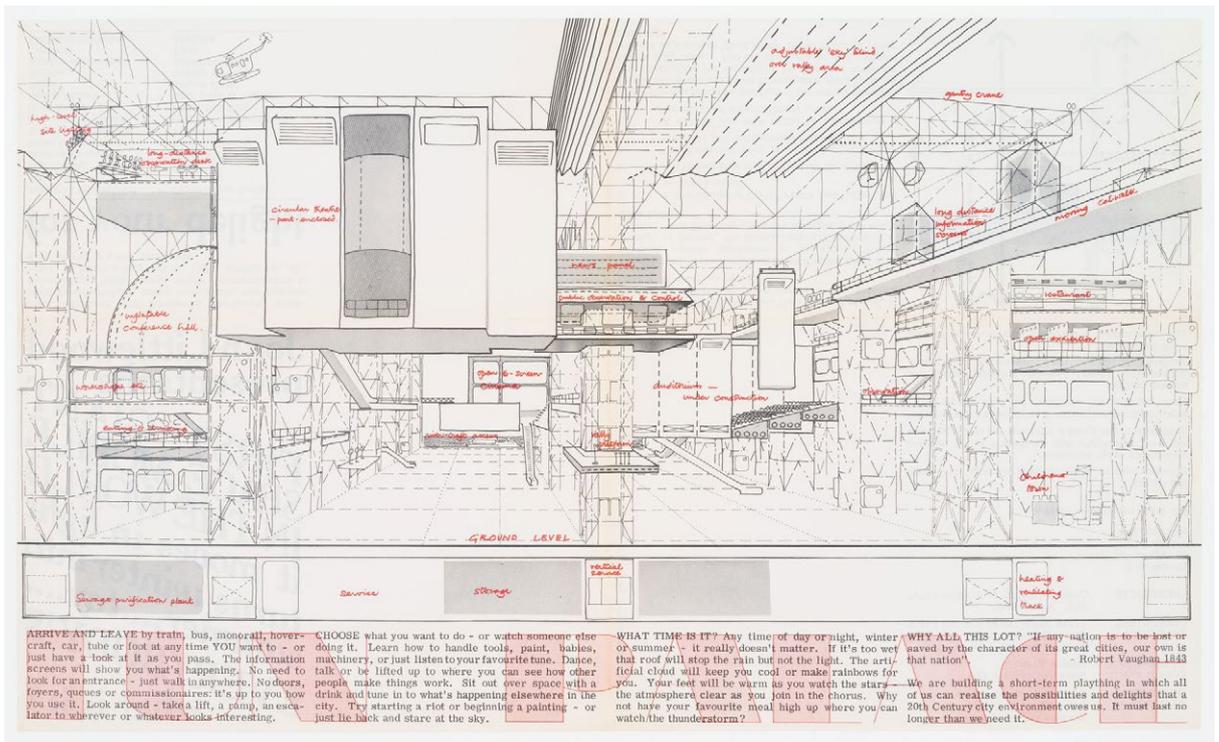
Il concetto di cinematismo nelle arti possiede radici profonde, ed è stato esplorato da molti scienziati, progettisti, e teorici in tempi, luoghi e modi diversi, evidenziandone procedimenti, strumenti e metodologie operative, allo stesso tempo aprendo a una serie di speculazioni teoriche e di visioni del mondo che hanno influenzato l'immaginario artistico e architettonico e che soltanto recentemente sono state riscoperte come ambiti da approfondire⁹⁷.

Figure come Frederick Kiesler, Richard Buckminster Fuller, Gordon Pask, il gruppo Archigram, Christopher Alexander e William Zuk e Roger H. Clark svilupparono riflessioni teoriche supportate da sperimentazioni pratiche che contribuirono a definire l'architettura cinetica come un ambito di studio separato ma ibrido, aperto alla commistione con altre discipline e alimentato da suggestioni tradotte in nei progetti per le architetture utopiche dei movimenti d'avanguardia radicale negli anni Sessanta e Settanta che aprirono alle possibilità di un mondo nuovo e dinamico, in perenne mutazione, spingendo l'immaginario architettonico in avanti verso ambiti sempre più complessi e influenzati da forze che agiscono dall'esterno dello specifico disciplinare del progetto di architettura per come inteso fino a quel momento. È così che l'architetto «attraverso la saggezza programmatica delle scienze esatte, si scopre abitatore inquieto di un *expanding universe*»⁹⁸. L'universo in espansione prospettato da Kiesler rappresentò un orizzonte verso cui tendere da parte della scienza e della tecnica. A partire dal secondo dopoguerra, le discipline del progetto si trovarono al centro di un più ampio movimento che intendeva trasformare la vita dell'uomo – socialmente, economicamente, politicamente – e costituire una più stretta correlazione tra uomo e ambiente⁹⁹. Negli anni Cinquanta e Sessanta l'architettura, come altre discipline artistiche, fu fortemente influenzata dalla scienza cibernetica, che affascinò architetti come Cedric Price nel progetto per il *Fun Palace* (1961–1974), Yona Friedman con la *Flatwriter* (1967) e Nicholas Negroponte, nelle ricerche all'*Architecture Machine Group* (1967–1985) dell'MIT, che preludono a tutta una stagione di sperimentazioni che riguarderanno principalmente la possibilità di un'architettura dinamica in grado di trasformarsi/adattarsi/riconfigurarsi a seconda di una serie di stimoli/input. Una prima definizione di cibernetica è rintracciabile nel sottotitolo del testo di Norber Wiener – considerato il fondatore della materia – intitolato *Cybernetics*, ovvero la

97. Busbea, *op. cit.*, p. XVI.

98. Eco, *op. cit.*, p. 187.

99. Cfr. Busbea, *op. cit.*



sopra: Cedric Price, prospettiva del Fun Palace, 1964
in alto a destra: Cedric Price, sezione del Fun Palace, 1964

«We are building a short-term plaything in which all of us can realise the possibilities and delights that a 20th century city environment owes us. It must last not longer than we need it».

«Stiamo costruendo un giocattolo a breve termine nel quale tutti noi possiamo realizzare le possibilità e i piaceri che un ambiente urbano del XX secolo ci deve. Non deve durare più a lungo di quanto ne abbiamo bisogno».

disciplina che si occupa del «controllo e comunicazione negli animali e nelle macchine»¹⁰⁰ introducendo i concetti di *feedback* informativo e di autoregolazione come basi per la comprensione dei processi biologici, tecnologici e sociali; nel successivo *"The Human Use of Human Beings"*¹⁰¹ individua la possibilità di trasporre le proprietà dinamiche dei sistemi naturali in quelli artificiali, realizzando così una più stretta collaborazione tra uomo e ambiente. La disciplina della cibernetica si occupa dell'ambito generale dei sistemi (concetto trasversale a molte altre scienze) basati sul controllo, la regolazione, l'aggiustamento e lo scopo gestiti da un processo di *feedback* o retroazione. La cibernetica, proprio in virtù del suo ampio campo di applicazione, permea l'ingegneria, la biologia, la sociologia, l'economia; campi che in diversi modi hanno influenzato la cultura architettonica come «forze» o «pressioni» in grado di impattare sugli esiti formali del progetto. La cibernetica non intendeva simulare gli organismi viventi ma attuare nuove modalità che potessero trascendere l'opposizione tra natura e artificio assumendo che «la complessità della vita non viene attribuita ad una forza segreta [...] né è ridotta un processo deterministico, lineare e meccanico»¹⁰². Entrambe le entità – sistemi naturali e macchine artificiali – sono caratterizzate da processi di autoregolazione, in grado di controllare l'entropia attraverso il *feedback*, resistendo alla naturale tendenza del sistema verso il disordine. Tale proprietà è nota come *omeostasi*¹⁰³. Nel modello *autopoietico*, invece, gli stimoli ambientali innescano la riorganizzazione interna del sistema e dei suoi componenti. Questa operazione preserva l'identità del sistema, che è determinata da tale organizzazione.

100. Norber Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Hermann & C., Parigi 1948.

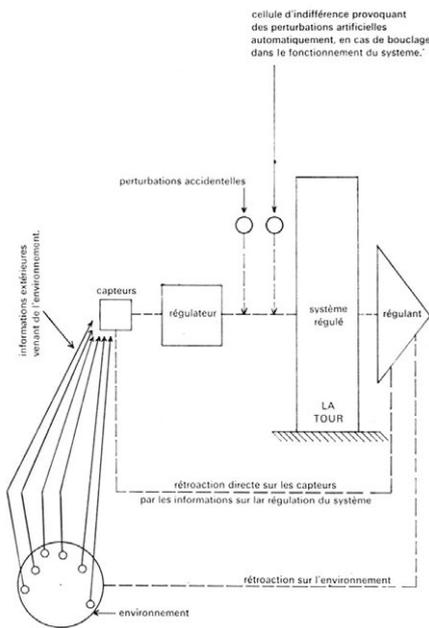
101. Norber Wiener, *The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society*, Eyre and Spottiswoode, Londra 1950.

102. Socrates Yiannoudes, *Architecture and Adaptation. From Cybernetics to Tangible Computing*, Routledge, New York-London 2016, p 11.

103. Charles Eastman, «Adaptive-Conditional Architecture,» in *Design Participation: Proceedings of the Design Research Society's Conference*, Academy Editions, Londra 1972, p. 51-57.

in basso: Nicolas Schoffer, schema di funzionamento e prospettiva della *Tour Lumiere Cybernetique/Cybernetic Light Tower*, dal catalogo della mostra "*Cybernetic Serendipity*", 1968

TOUR LUMIERE CYBERNETIQUE



Se i sistemi *omeostatici* utilizzano informazioni per mantenere un ordine prestabilito interagendo con l'ambiente, «i sistemi *autopoietici* sono autonomi e chiusi, si riproducono costantemente rigenerando le parti che li costituiscono»¹⁰⁴. A partire da queste definizioni vennero enfatizzati i punti di contatto con l'architettura e con le arti, che assunsero gli strumenti e il lessico delle nuove scienze per ricomporli in una nuova unità attraverso opere costruite e speculazioni rimaste su carta. Nel 1968, "*Cybernetic Serendipity*"¹⁰⁵ rappresentò la prima mostra a raccogliere un insieme sistematico di artisti diversi – musicisti, pittori, scultori – e ad approfondire il rapporto tra creatività e utilizzo dei computer come strumenti di controllo cibernetico dei sistemi formali. «Sono due i punti principali che rendono questa mostra e l'annesso catalogo diversi dai soliti contesti [...] Il primo è che nessun visitatore della mostra, a meno che non abbia precedentemente letto le note relative a tutte le opere, saprà se sta osservando qualcosa realizzato da un artista, un ingegnere, un matematico o un architetto. [...] L'altro punto è più significativo. I nuovi *media*, [...] alterano inevitabilmente le forme dell'arte [...] Ciò è accaduto con l'avvento del computer. [...] Persone che non avrebbero mai messo matita su carta, né pennello su tela, hanno iniziato a realizzare immagini, sia statiche che animate, che si avvicinano e spesso appaiono identiche a ciò che chiamiamo "arte", che vediamo esposta in gallerie pubbliche»¹⁰⁶. Per Frederick Kiesler, il ruolo dell'artista è fondamentale per la costruzione di un mondo in divenire che si liberi dal mero valore materiale delle cose alla ricerca di un nuovo fine: «il nostro mondo è stato sommerso da masse di oggetti. Quello di cui abbiamo veramente bisogno non sono oggetti su oggetti, ma un obiettivo. [...] Prima di addentrarci in nuove produzioni, bisogna cristallizzare un nuovo obiettivo da una consapevolezza del mondo che concerne noi tutti, non un particolare strato sociale. [...] L'artista non lavorerà più per la propria gloria nei musei o nelle gallerie, ma per dare solidità al significato delle proprie creazioni [...] prenderà parte attiva nella formazione di una nuova immagine del mondo. [...] Il poeta, l'artista, l'architetto e lo scienziato sono i quattro pilastri di questo nuovo edificio in costruzione»¹⁰⁷. Comune ai quattro "pilastri" di Kiesler è l'appropriarsi delle nuove tecnologie. Il computer diventa così uno strumento che supera i tradizionali mezzi della produzione artistica introducendone di nuovi: una rivoluzione culturale dalle implicazioni concrete e volta alla diffusione democratica dei vantaggi del progresso tecnologico, industriale e scientifico.

In architettura, l'articolo del 1969 "*The Architectural Relevance of Cybernetics*"¹⁰⁸ di Gordon Pask fu la prima elaborazione dei principi della cibernetica intesa come studio matematico dei sistemi complessi organizzati e dei relativi processi di autocontrollo e comunicazione applicato al progetto. Il paradigma introdotto dalla cibernetica riguarda una modalità

104. Yiannoudes, *op. cit.*, p. 14.

105. Jasia Reichardt (a cura di), *Cybernetic Serendipity. The Computer and the Arts*, Studio International, Londra 1968.

106. Ivi, p. 5.

107. Frederick Kiesler, "Promemoria a me stesso. Una nuova era delle arti plastiche è cominciata", in *Zodiac 19. A Review of Contemporary Architecture*, p. 234.

108. Gordon Pask, "The Architectural Relevance of Cybernetics", in *Architectural Design*, September, n. 7/6, 1969.

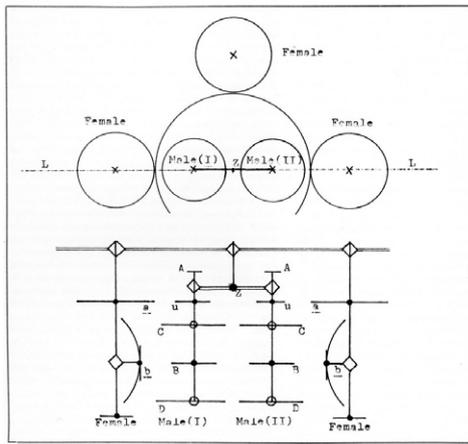
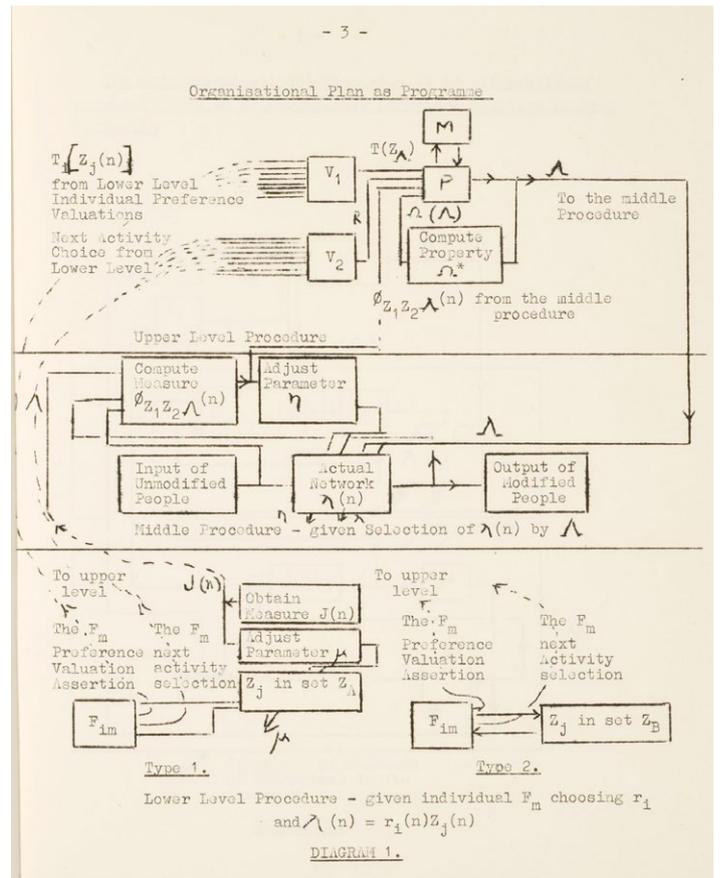


Fig. 34 A rough sketch of powered mobiles.
 a Horizontal plan
 b Vertical section taken through line L in horizontal plan.
 d = drive state displays for male
 B = main body of male, bearing 'energetic' light projectors O and P
 C = upper 'energetic' receptors
 D = lower 'energetic' receptors
 U = non-'energetic', intermittent signal lamp
 a = female receptor for intermittent positional signal
 b = vertically movable reflector of female
 Z = bar linkage bearing male I and male II
 Drive motor
 Free coupling
 Fixed coupling
 Bar linkage



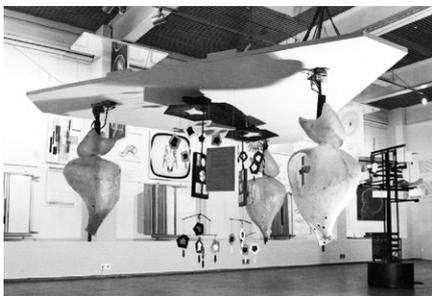
in alto a destra: Gordon Pask, *Organisational Plan as Programme*, 1965

sopra: Gordon Pask, organizzazione del *Colloquy of Mobiles*, opera esposta alla mostra "Cybernetic Serendipity", 1968

sotto: sopra: Gordon Pask, *Colloquy of Mobiles*, opera esposta alla mostra "Cybernetic Serendipity", 1968

«It is a group of objects, the individual mobiles, that engage in discourse, that compete, co-operate and learn about one another. Their discourse evolves at several levels in a hierarchy of control and a hierarchy of abstraction. [...] It is a crude demonstration of an idea that could be developed indefinitely».

«È un gruppo di oggetti, fatto da singoli *mobiles*, che si impegnano in un discorso, competono, cooperano e imparano gli uni dagli altri. Il loro discorso si evolve a diversi livelli in una gerarchia di controllo e una gerarchia di astrazione. [...] È una dimostrazione chiara di un'idea che potrebbe essere sviluppata all'infinito».



del pensiero che enfatizza «l'interrelazione tra input, output, adattamento e auto-organizzazione»¹⁰⁹, interpretando l'architettura come una struttura complessa che si regge su una serie di sistemi attivi; un approccio in contrasto con la percezione dell'edificio come un oggetto puramente statico, ma più affine alla possibilità di un'architettura che sia responsiva e interagente con l'uomo e con l'ambiente. Teoria generale che manovra discipline diverse, la cibernetica è applicata da Pask all'architettura funge da filtro attraverso cui leggere e interpretare il mondo naturale e quello artificiale, leggerne i *pattern*, ed estrarne regole compositive che producano in maniera più efficace ed efficiente un'architettura quanto più "performante" verso il suo contesto di riferimento e in merito a un set di obiettivi prestabiliti. Oltre a rappresentare la base per i concetti di interattività e responsività (e quindi per l'applicazione della cinetica), i principi introdotti da Pask contribuirono allo sviluppo del *computational thinking*¹¹⁰, fornendo una logica di interpretazione dell'architettura come dispositivo multisistemico, che, come scrive Kiesler, sposti «l'attenzione dall'oggetto all'*environment*»¹¹¹. A Kiesler fu dedicata una sezione del numero 19 della rivista *Zodiac* del 1969, curato da Maria Bottero e dedicato ad alcune avanzate ricerche dell'epoca tra cui quelle di Buckminster Fuller, Alfred Neumann, Anne Tyng, e ai progetti di Kiesler, Zvi Hecker e Moshe Safdie¹¹².

109. Achim Menges, Sean Alquist, (a cura di), *Computational Design Thinking*, Wiley, Chichester 2001, p. 68.

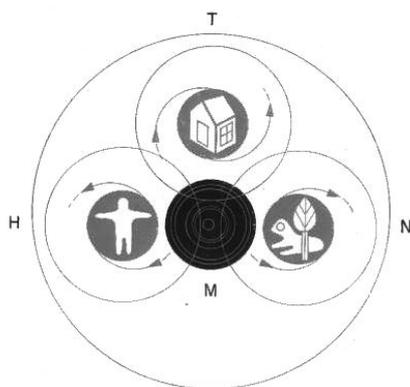
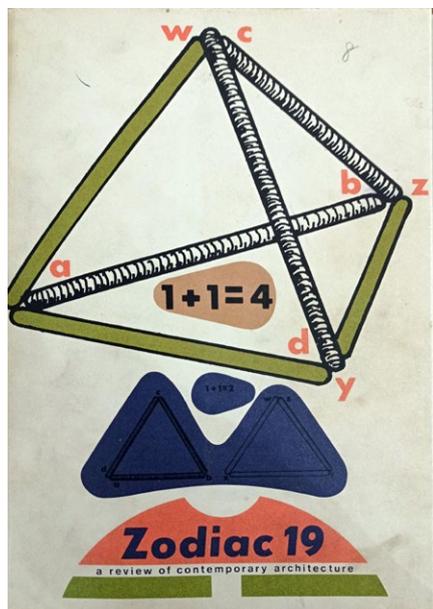
110. Peter J. Denning, Matti Tedre, *Computational Thinking*, MIT Press, Cambridge (MA) 2019.

111. Kiesler, *op. cit.*, p. 234.

112. *Zodiac 19. A Review of Contemporary Architecture*, 1969.

Nel numero vengono messe a confronto una serie di ricerche sull'opera e il pensiero di alcuni architetti che lavoravano con la geometria come modalità attraverso cui trasferire una serie di leggi distillate dai sistemi naturali all'interno del progetto, risultanti in uno «strutturalismo geometrico»¹¹³ che per Bottero rappresentava «niente di più apparentemente eterogeneo» dalla «fluidità senza fine»¹¹⁴ di Kiesler, accomunate tuttavia dalla «rottura dello spazio cubico tradizionale»¹¹⁵. È evidente il richiamo alla scomposizione della massa in piani proposta nel manifesto di Gabo e Pevsner. Proprio il concetto di *endlessness* proposto da Kiesler sembra riferirsi a quella *profondità continua* descritta nel *Manifesto Realista*, da opporre alla *Box Architecture* dell'imperante International Style. La *endlessness* (traducibile con "infinitezza", "interminabilità") di cui parla Kiesler non è solo definita dall'effettiva continuità fisica tra oggetti e spazi, ma anche in un più complesso sistema di rimandi e relazioni tra l'uomo e l'ambiente «con conseguente spostamento del fuoco di attenzione dalla casistica del funzionalismo corrente al sistema uomo-universo»¹¹⁶. A tal fine conio il termine *correalism* – termine utilizzato già da Buckminster Fuller nella forma *correlation*, ovvero l'applicazione pratica della forma strutturale a una funzione corporea in cui un aggregato "intero" è costruito in relazione alle parti discrete che lo compongono¹¹⁷ – per fornire agli architetti una base scientifica con cui progettare architetture tecnologicamente avanzate ma realizzabili che tengano al centro forze naturali, corpi, e ambiente costruito. La forma emerge proprio da questa responsività reciproca: «ciò che definiamo "forme", naturali o artificiali che siano, sono soltanto la parte visibile di forze che si integrano e disintegrano [...] La realtà consiste di queste due categorie di forze che interagiscono costantemente in configurazioni visibili e invisibili. Questo scambio di forze interagenti è ciò che chiamo *co-realtà*, e la scienza di queste relazioni, *correalismo*. [...] che esprime la dinamica della continua interazione tra l'uomo e il suo ambiente naturale e tecnologico»¹¹⁸.

Il progetto più noto di Kiesler è appunto la *Endless House* (1958) dove l'architetto austriaco applicò le sue teorie del progetto della relazione tra uomo e ambienti che si espleta attraverso il movimento. La casa, di ispirazione biomorfica, non possedeva angoli, in aperto contrasto al funzionalismo standardizzante che imperava in quegli anni; solo così la struttura avrebbe corrisposto alle esigenze dei suoi occupanti. Nel 1958 Arthur Drexler, al tempo curatore del MoMA di New York, invitò Kiesler a partecipare alla mostra "*Visionary Architecture*", insieme, tra gli altri, a Louis Kahn, Frank Lloyd Wright, Buckminster Fuller, El Lissitzky e Le Corbusier. Definita nel comunicato stampa come una «mostra di architetture del XX secolo troppo rivoluzionarie per essere realizzate»¹¹⁹, per Drexler l'architettura non costruita possedeva comunque una grande capacità di



sopra: Frederick Kiesler, *Man= Heredity+environment*, (H = Human environment; N = Natural environment; T = Technological environment; M = Man), diagramma della relazione dell'uomo col suo ambiente, 1939
 in alto: Copertina di *Zodiac 19. A Review of Contemporary Architecture*, 1969.

113. Maria Bottero, "Questo Numero", in *Zodiac 19. A Review of Contemporary Architecture*, p. 5.

114. Ibid.

115. Ibid.

116. Ibid.

117. Phillips, "Toward a Research Practice," *op. cit.*, p. 99.

118. Frederick Kiesler, "On Correalism and Biotechnique: A Definition and Test of a New Approach to Building Design", *Architectural Record*, 86, n.3, settembre 1939, pp. 60-75.

119. *Visionary Architecture*, comunicato stampa della mostra, The Museum of Modern Art, New York 29 settembre – 4 dicembre 1960.

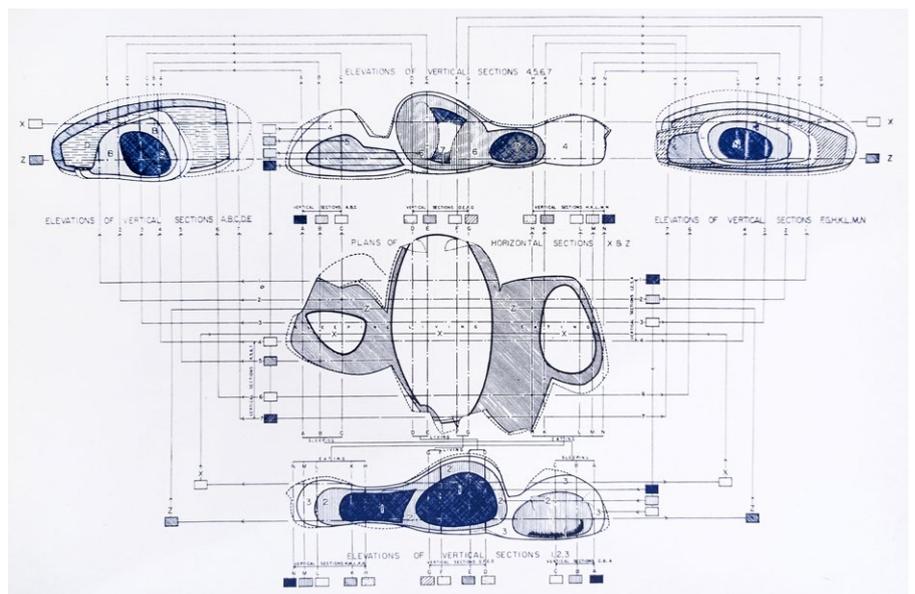
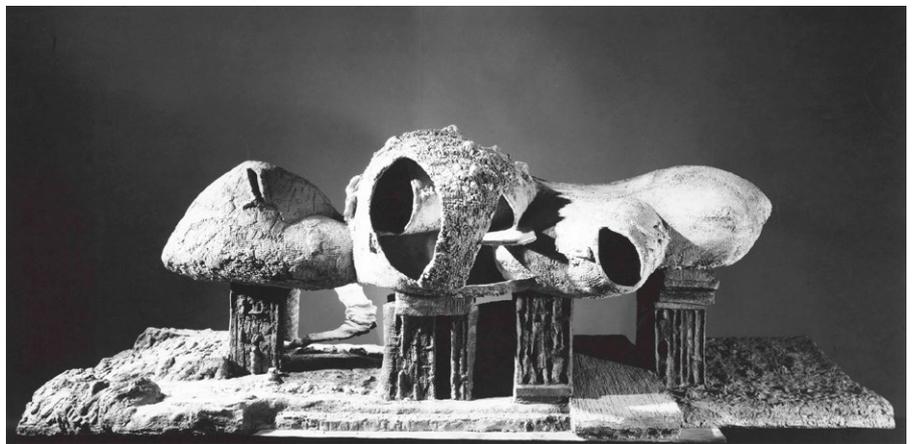
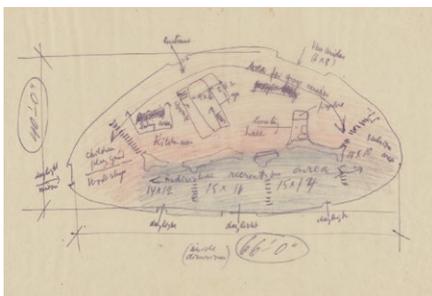
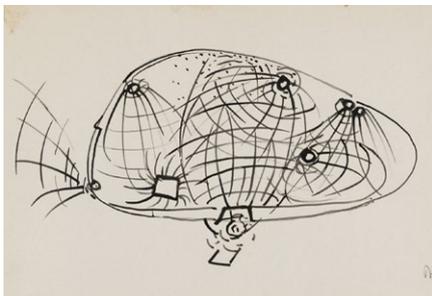
Frederick Kiesler, *Endless House*, modello esposto al MoMA, 1958

in basso: Frederick Kiesler, Sistema di relazioni tra le varie sezioni della *Endless House*, 1959

«The designs I tried to propose [...] are the first to break the cube-prison tradition, to liberate space into galaxies of disclosed spaces for living, to invent a special construction system, the shell in continuous tension, to eliminate the sharp division between floor, wall and ceiling of the box, and to inject into the whole concept of a dwelling the psychological and emotional impact of the unexpected heights and widths of all living areas with a singular dwelling. The floor plan and the sections are [...] the expression of a flow of life force. [...] Nature creates bodies, but art creates life».

«I progetti che ho cercato di proporre [...] sono stati tra i primi a rompere la tradizione della prigione-cubo, a liberare lo spazio in galassie di spazi abitativi disvelati, a inventare un sistema costruttivo speciale, un guscio in tensione continua, a eliminare la divisione netta tra pavimento, parete e soffitto della scatola, e a iniettare nell'intero concetto domestico l'impatto psicologico ed emotivo delle altezze e delle larghezze inaspettate di tutte le zone della casa all'interno di una singola abitazione. La pianta e le sezioni sono [...] l'espressione di un flusso di forza vitale. [...] La natura crea i corpi, ma l'arte crea la vita».

influenzare la realtà e spingere in avanti l'immaginario verso possibili concrete applicazioni: «oggi, niente che un architetto possa pensare è virtualmente impossibile da realizzare. Le usanze della società [...] determinano cos'è visionario e cosa non lo è. [...] Se potessimo imparare cosa [il visionario] ha da insegnare, allora potremmo evitare le mediocri razionalizzazioni in luogo di standard più critici e utili. Il visionario e il reale potrebbero allora coincidere»¹²⁰. Il prototipo della *Endless House* avrebbe dovuto essere realizzato in scala 1:1 nel giardino del MoMA; tuttavia, il progetto non fu mai realizzato e Kiesler si limitò a costruire un grande modello da esporre. Progettata nel corso di tre decenni (la prima elaborazione del progetto risale al 1924), la *Endless House* è caratterizzata da spazi che possano rispondere alle esigenze degli abitanti attraverso una sua peculiare conformazione geometrica. La *Endless House* avrebbe liberato l'uomo dalla «tradizione della prigione cubica»¹²¹ di natura funzionalista per «iniettare nel concetto di abitazione l'impatto psicologico ed emozionale di altezze e larghezze inaspettate» derivate da una genesi del progetto che parte da «flussi di forze vitali»¹²². Un'architettura dinamica e “proto-



120. Arthur Drexler in *Ibid.*

121. Frederick Kiesler, "Notes on Architecture as Sculpture" in *Art in America*, Maggio 1966, cit. in Bottero, op. cit., p. 37-41.

122. *Ibid.*

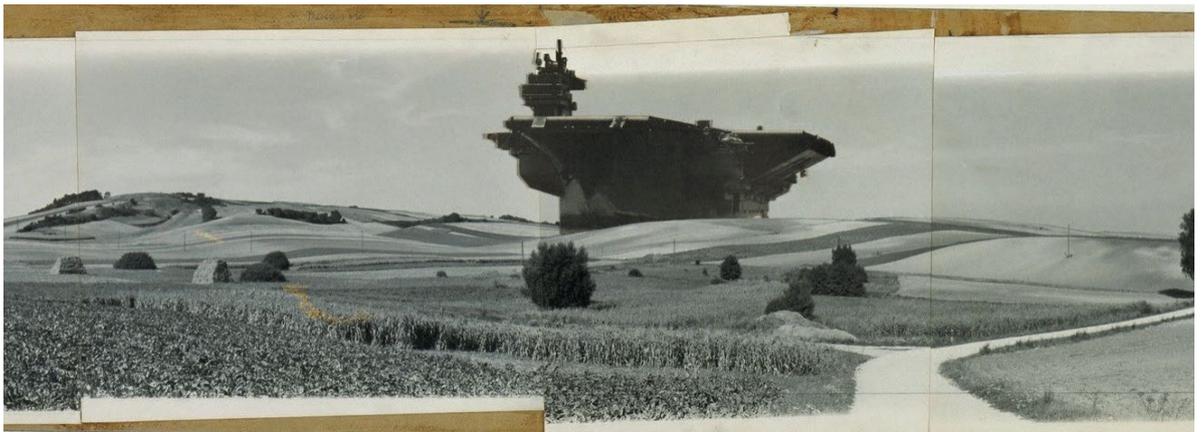
sotto: Hans Hollein, *Highrise Building, Sparkplug*, 1964
in basso: Hans Hollein, *Aircraft Carrier City in Landscape*, 1964

«Form does not follow function. Form doesn't originate by itself. It is the great decision of man to make a building into a cube, a pyramid or a sphere. Today for the first time in the history of mankind, at this moment when immensely developed science and perfected technology offer the means, we are building what we want, making an architecture that is not determined by technique, but that uses technique – pure, absolute architecture. Today, man is master over infinite space».

«La forma non segue la funzione. La forma non nasce da sola. È una grande decisione dell'uomo di fare di un edificio un cubo, una piramide o una sfera. Per la prima volta nella storia dell'umanità, in questo momento in cui una scienza immensamente sviluppata e una tecnologia perfezionata offrono i mezzi, stiamo costruendo ciò che vogliamo, facendo un'architettura che non è determinata dalla tecnica, ma che usa la tecnica – un'architettura pura, assoluta. Oggi l'uomo è padrone dello spazio infinito».



responsiva”. Dall'essere una macchina, estranea e indifferente all'uomo, l'architettura ne diventa un'estensione instaurando una relazione con il più ampio *environment*: «la *Endless House* non è sottomessa alle tecniche di produzione; le utilizza dove necessario, ma non è schiava della dittatura dell'industria. [...] La casa non è una macchina per abitare. È un organismo vivente con un sistema nervoso molto sensibile. Questo resta ancora da realizzare»¹²³. A partire dagli anni Sessanta entrarono in gioco nuovi fattori politici e sociali. Hans Hollein descrisse il nuovo approccio modificato dall'influenza della tecnologia avanzate e dell'informatica in architettura in poche frasi: «Architecture. We make out of oranges or old automobiles because architecture is the art of building»¹²⁴. Hollein creò una serie di fotomontaggi e collage tra il 1963 e il 1968 intitolata "*Transformations*"¹²⁵. Nella serie, paesaggi agricoli o urbani, spesso desertici e svuotati da una presenza antropica, fanno da sfondo alla presenza di oggetti monumentali progettati come enormi oggetti tecnologici – candele d'accensione, carri merci, portaerei. «Un'opera architettonica non deve mostrare il proprio modo d'uso. Non è espressione strutturale o costruttiva, non è un involucro, né un riparo. Un'opera architettonica è sé stessa»¹²⁶. La macchina è architettura in quanto ascrivibile a un processo di costruzione concettuale; essa, è «pura e assoluta»¹²⁷ e non riferibile a nessuno stile architettonico. Ridotta al suo nucleo essenziale, l'architettura può così essere rintracciata ovunque vi sia un atto creativo e compositivo, più che nella risoluzione di problemi funzionali e contingenti. L'aspirazione per un'architettura che potesse mutare, trasformarsi per rispondere al progresso di una società sempre più complessa e sfaccettata continuò a rappresentare l'orizzonte verso cui tendere ma stavolta portato a conseguenze radicali attraverso un distacco ancora maggiore tra progetto e realizzazione. Molti dei progetti sperimentali rimasero su carta, tranne in alcuni casi (si veda l'*Inter-Action Centre* del 1970-1972, un edificio in grado di accogliere usi diversi e di riconfigurarsi in base alle necessità¹²⁸, progettato da Cedric Price,



123. Ibid.

124. Hans Hollein, *The Art of Building*, 1961.

125. Hans Hollein, *Transformations*, serie di collage, 1963-1968.

126. Hans Hollein, Walter Pichler, "Forms and Designs" in *arts & architecture*, Agosto 1963, pp. 14-15.

127. Ibid.

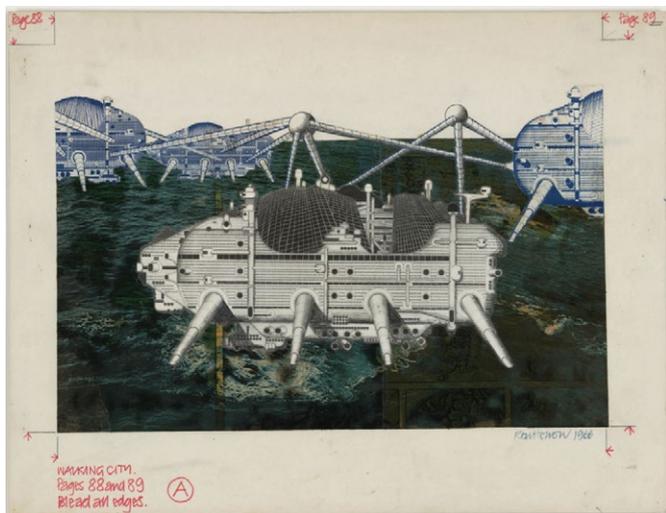
128. Cedric Price, "Inter-Action Centre a Londra" in *Domus*, n.581, 1978.

sotto: Ron Herron, *Walking City*, 1966

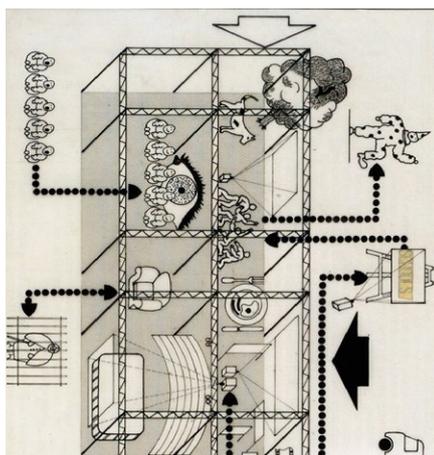
a destra: Peter Cook, *Instant City*, 1968

in basso: Cedric Price, stralcio dell'assonometria dell'*Inter-Action Centre*, 1970

una figura chiave che influenzò attraverso i suoi scritti e il suo insegnamento all'Architectural Association di Londra molti architetti di quella generazione), l'orizzonte di futuro a cui si riferivano non era immaginabile per le possibilità tecniche offerte fino a quel momento. Si immaginarono *utopie*, futuri radicali basati su concezioni di una nuova società, in un periodo di caratterizzato da una fase politica intensa¹²⁹.



Cedric Price: «There is the possibility of expanding the building in the unfinished areas and towards its length. What I like most of this building is not the image of a potential future but the current demand to be manipulated». «C'è la possibilità di espandere la struttura nelle zone non finite e nel senso della sua lunghezza. Quello che mi piace di più di questo edificio non è l'immagine che da di un futuro potenziale, ma la richiesta di essere manipolato nel presente».



Uno dei gruppi di architetti che si occuparono di questi temi fu Archigram, fondato a Londra da Peter Cook, Warren Chalk, Ron Herron, Dennis Crompton, Michael Webb and David Greene, studenti all'Architectural Association. Sebbene gli Archigram rifuggissero da un posizionamento politico diretto e orientato¹³⁰, la loro visione per un'architettura dinamica e mobile rifletteva l'ambiente culturale di rinnovamento da cui provenivano. La *Walking City* (1964) propone un futuro in cui i confini fisici e politici vengono abbandonati a favore di uno stile di vita nomade che coinvolga gruppi di persone da ogni parte del mondo¹³¹. Ispirati dalle esplorazioni spaziali della NASA, dalle rampe di lancio, e dall'estetica *googie*¹³² delle modalità di rappresentazione grafica ispirata al mondo dei fumetti di *science fiction*, la città itinerante immaginata da Archigram anticipò i ritmi accelerati di una società tecnologicamente avanzata in cui i concetti di permanenza e stabilità venivano accantonati in favore di una continua mobilità e fluidità, e di una ormai assorbita relazione reciproca instauratasi tra uomo e tecnologia. Si comincia così a prospettare l'idea di architettura come *interfaccia* che attraverso l'attivazione di cinematismi è in grado di trasformarsi e "rispondere" agli stimoli esterni. Le strutture della *Walking City* erano concepite per connettersi a sistemi infrastrutturali e a network di informazioni in luoghi differenti così da supportare le necessità dei propri

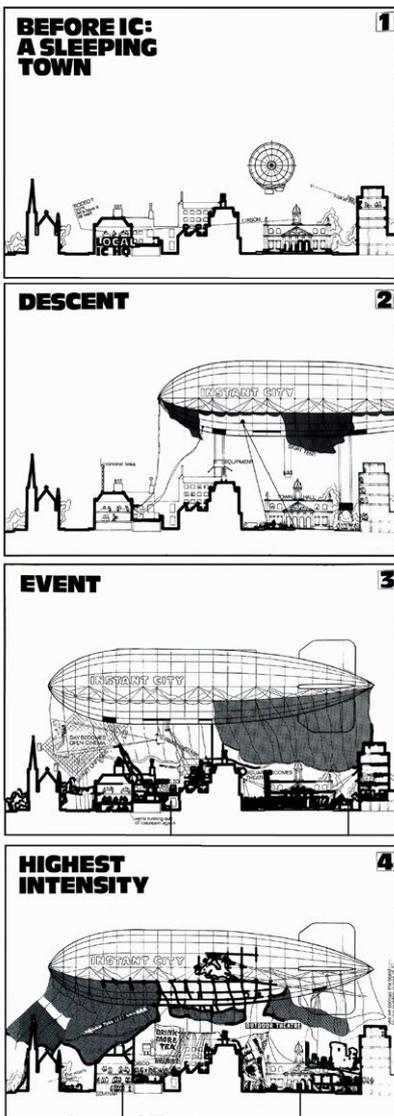
a b i t a n t i .

129. Cfr. Pier Vittorio Aureli, *Il progetto dell'autonomia. Politica e architettura dentro e contro il capitalismo*, Quodlibet, Macerata 2016.

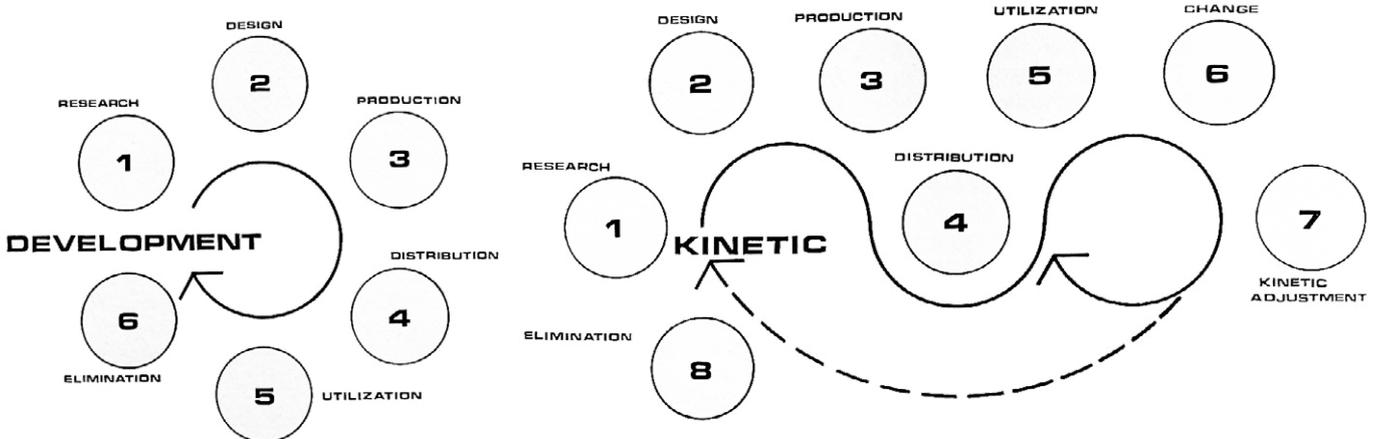
130. Èrica Soler Casanovas, "The Long 1960s: Cartographies of Hope" in *Designabilities. Design Research Journal*, 10, 2020.

131. Simon Sadler, *Archigram. Architecture Without Architecture*, MIT Press, Cambridge (MA) 2005.

132. Cfr. Alan Hess, *Googie Redux: Ultramodern Roadside Architecture*, Chronicle Books, San Francisco 2004.



in alto: Peter Cook, Instant City, 1968
 sotto: William Zuk, Roger H. Clark, diagrammi a confronto del processo di progetto e sviluppo di un'architettura comune e di una cinetica, 1970

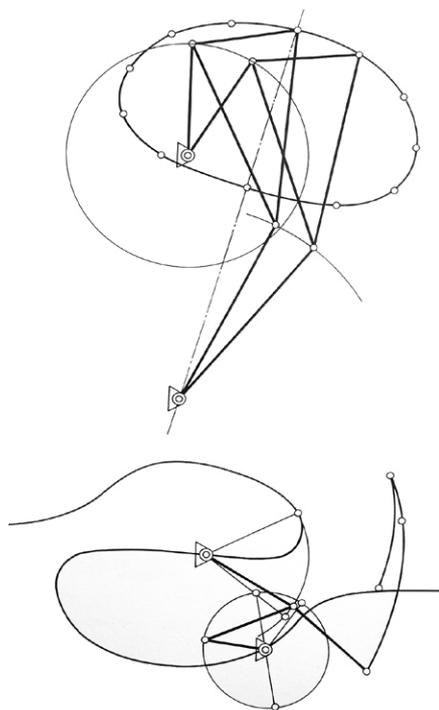


133. Sadler, *op. cit.*
 134. Stevenson, *op. cit.*
 135. Cfr. William Zuk, Roger Clark. *Kinetic Architecture*, Van Nostrand Reinhold, New York 1970.
 136. *Ivi*, p. 18.

William Zuk, Roger H. Clark, esempi di movimenti cinetici in *Kinetic Architecture*, 1970

«Life itself is motion, from the single cell to the most complex organism, man. When motion ceases, life ceases. [...] It is these attributes of motion, of mobility, of change, of adaptation that place living things on a higher plateau of evolution than static forms. Indeed, survival of these living species depends on their kinetic abilities [...] to adapt to changing needs and environments, and in the case of man to be materially and spiritually productive. In the context of architectural need, the attribute of being able to adapt to changing needs and environments is paramount in contemporary society».

«La vita stessa è movimento, dalla singola cellula all'organismo più complesso, l'uomo. Quando cessa il movimento, cessa la vita. [...] Sono questi attributi di movimento, di mobilità, di cambiamento, di adattamento che collocano gli esseri viventi su un piano più alto dell'evoluzione rispetto alle forme statiche. Infatti, la sopravvivenza di queste specie viventi dipende dalle loro capacità cinetiche [...] di adattarsi ai bisogni e agli ambienti mutevoli, e nel caso dell'uomo di essere materialmente e spiritualmente produttivi. Nel contesto delle necessità architettoniche, la capacità di essere in grado di adattarsi ai bisogni e agli ambienti mutevoli è fondamentale nella società contemporanea».



presente»¹³⁷, per gli autori l'architettura può essere descritta come la «risposta formale nelle tre dimensioni a un set di *pressioni* date», fisiche e non¹³⁸. Influenzati dalle teorie di Edward T. Hall¹³⁹ e Christopher Alexander sul concetto di *pattern*¹⁴⁰ intesi come le strutture soggiacenti relazioni, organizzazioni e interazioni di una serie di variabili (*forze*) che costituiscono l'ambiente costruito, le *pressioni* sono interconnesse tra loro e possono mutare nel tempo. Di conseguenza la relazione tra la forma dell'architettura e le *pressioni* a cui è soggetta corrisponde ad un equilibrio precario in cui alla variazione di una delle singole *pressioni* consegue una modificazione direttamente proporzionale della forma. Il filtro che abilita tale relazione è la tecnologia. L'architettura cinetica, nella sua capacità di adattarsi a pressioni esterne in evoluzione favorendo il passaggio da uno stato ad un altro, si qualifica quindi come la più adatta a soddisfare tali premesse. Zuk e Clark identificano così il potenziale di una nuova architettura basata sul movimento, su cui ricadono implicazioni non soltanto tecnologiche e funzionali, ma anzitutto estetiche. Precludendo a ciò che solo successivamente verrà codificato negli esperimenti dell'architettura parametrica, Zuk e Clark sottolineano la *non-fissità* della forma prefigurando un nuovo ruolo per il progettista: quello di non immaginare l'architettura come *conclusa*, bensì come uno dei molteplici istanti che essa è in grado di assumere in un determinato periodo di tempo. Il fattore *tempo* che mette in atto la cinetica del cambiamento diventa un importante elemento nella genesi del progetto. Considerata come un *continuum*, la nuova architettura incorporerà senza prefigurarsi il cambiamento della forma e come essa cambierà¹⁴¹. L'apparente casualità del movimento è dove trova origine la fascinazione di Zuk e Clark per l'estetica cinetica. È il «movimento in sé» ad avere un pari forza visuale di «colori, le texture e i pattern»¹⁴². Ritorna così il concetto di opera *aperta*, che non implica affatto «indefinitezza» della comunicazione, «infinite possibilità della forma, libertà della fruizione; si ha soltanto una rosa di esiti fruitivi rigidamente prefissati e condizionati, in modo che la reazione interpretativa del lettore – in questo caso di chi esperisce lo spazio architettonico – non sfugga mai al controllo dell'autore»¹⁴³.

137. Ibid.

138. Cfr. Alexander, C. "From a Set of Forces to a Form" in *The Man-Made Object*, a cura di Gyorgy Kepes, George Braziller, New York 1966.

139. Edward T. Hall, *The Hidden Dimension*, Anchor Books, New York 1966.

140. Per una trattazione specifica sul tema si veda Christopher Alexander et al, *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*, Oxford University Press, New York 1977 e Busbea, "Pattern Watchers", in Id., *op. cit.*, pp. 45-87.

141. Zuk, Clark, *op. cit.*, p. 154.

142. Ibid.

143. Umberto Eco, *Opera aperta*, Bompiani, Milano 1962, p. 37. L'autore continua: «Il fenomeno dell'opera in movimento, nella presente situazione culturale, non è affatto limitato all'ambito musicale, ma trova delle interessanti manifestazioni nel campo delle arti plastiche, dove troviamo oggi degli oggetti artistici che in sé stessi hanno come una mobilità, una capacità di riproporsi caleidoscopicamente agli occhi del fruitore come perennemente nuovi. [...] possiamo ricordare i *mobiles* di Calder o di altri autori, strutture elementari che posseggono appunto la capacità di muoversi nell'aria assumendo disposizioni spaziali diverse, creando continuamente il proprio spazio e le proprie dimensioni.»

Le *digital turn(s)*. Verso lo spazio piegato

L'evoluzione negli ultimi anni della cinetica in architettura è strettamente legata all'emergere delle tecnologie digitali necessarie per progettare e produrla. Il momento di maggior sperimentazione per l'architettura cinetica è coinciso con l'introduzione del calcolo computazionale, di nuovi strumenti di controllo dei processi formali attraverso algoritmi, di nuovi sistemi di notazione e codificazione del linguaggio architettonico¹⁴⁴ e di materiali innovativi in architettura e del mutato paradigma estetico che ne è conseguito¹⁴⁵. Il progetto di elementi architettonici responsivi, in grado di materializzare attraverso un cambiamento di stato la relazione tra stimoli esterni e risposta interna, tra input e output, ha rappresentato uno dei primi ambiti di ricerca a cui sono stati applicati gli strumenti digitali di supporto al progetto, reificando l'aspirazione verso un movimento concreto e tangibile e non soltanto evocato per mezzo forme dinamiche¹⁴⁶.

La relazione tra il computer, la sua capacità di calcolo computazionale e l'architettura ha rappresentato per tutta la seconda metà del XX secolo una base fertile per lo sviluppo di approcci, teorie e sperimentazioni progettuali che sono andate oltre il semplice innovarsi degli strumenti di *produzione* materiale del progetto. Software per la notazione e la rappresentazione grafica, per il disegno, la modellazione, la fabbricazione o per le tecniche di visualizzazione¹⁴⁷. Lo strumento in questo caso ha assunto un ruolo chiave nell'avviare nuovi modi di *fare architettura* – ovvero la prassi consolidata dell'immaginare, attuare e gestire tutti i diversi momenti del processo dall'idea alla realizzazione – che ha visto come campo privilegiato sperimentale l'esplorazione di nuove forme estranee al «limitato vocabolario dell'architettura moderna»¹⁴⁸. Il linguaggio formale si arricchisce di *complessità* – termine ripreso dal fondamentale testo di Robert Venturi del 1966¹⁴⁹ – evolvendo da una fase propriamente *postmoderna*, ad un'altra influenzata dalla filosofia post-strutturalista della *decostruzione*, in cui la forma architettonica tesse verso l'espressione di logiche conflittuali ed eterogenee. Sintetizzando le due posizioni, assorbendole e superandole nel formare un proprio linguaggio specifico, le forme tipiche dell'architettura digitale che si sono stratificate nell'immaginario collettivo ancora oggi associate a una serie di realizzazioni che si concentrano in particolar modo su grandi edifici “iconici” – emergono come reazione contro la decostruzione che ebbe inizio all'inizio degli anni Novanta¹⁵⁰.



Zaha Hadid, *The Peak*, Hong Kong 1982/1983

Carpo: «Electronic technologies in the early 1990s were changing [...] society, economy, culture and almost every aspect of daily life. So much was changing and so fast that some architects started to think that design should change too. [...] the first design experiments, in the spirit of the time, assumed that virtual reality [...] would represent a radical alternative to the physical space of phenomena, existence and building. Some also concluded that [...] the design of new electronic venues in bits and bytes would soon replace the design of traditional buildings in bricks and mortar».

144. Cfr. Mario Carpo, *The Alphabet and the Algorithm*, MIT Press, Cambridge (MA) 2011.

145. M. Pawley, “High-Tech Architecture: History Vs. The Parasites”, in *AA Files*, no. 21, 1991.

146. Antoine Picon, *Digital Culture in Architecture. An Introduction for the Design Professions*, Birkhäuser, Basilea 2010, pp. 60-73.

147. Cfr. Teresa Fankhänel, Andres Lepik (a cura di) *The Architecture Machine. The Role of Computers in Architecture*, Birkhäuser, Basilea 2020.

148. Picon, *op. cit.*, pp. 60-63.

149. Robert Venturi, Vincent Joseph Scully, *Complexity and Contradiction in Architecture*, The Museum of Modern Art, New York 1966, tr. it., *Complessità e contraddizioni nell'architettura*, Dedalo, Bari 1977.

150. Picon, *op. cit.*, p. 64.

Carpo: «Le tecnologie elettroniche nei primi anni '90 stavano cambiando [...] la società, l'economia, la cultura e quasi ogni aspetto della vita quotidiana. Stava cambiando così tanto e così velocemente che alcuni architetti iniziarono a pensare che anche il progetto dovesse cambiare. [...] i primi esperimenti, nello spirito dell'epoca, immaginavano che la realtà virtuale [...] avrebbero rappresentato un'alternativa radicale allo spazio fisico dei fenomeni, della permanenza e della costruzione. Alcuni conclusero che [...] il progetto di nuovi luoghi elettronici in bit e byte avrebbe presto sostituito la progettazione di edifici tradizionali in mattoni e malta».

dall'alto verso il basso: Kas Oosterhuis, Lars Spuybroek, *Fresh Water/Salt Water Pavilions*, 1997
 Future System, *Selfridges Birmingham*, 2003
 Peter Cook, *Kunsthhaus Graz*, 2003



Mario Carpo ha fornito un quadro di riferimento teorico per comprendere i fenomeni di diffusione e utilizzo delle tecnologie digitali per l'architettura, dividendo il periodo a cavallo tra la fine del Novecento e i primi due decenni degli anni Duemila in due diverse e consequenziali *digital turn*¹⁵¹. La prima, emersa tra la fine degli anni Ottanta e i primi anni Novanta, coinvolse le discipline dell'architettura e del design nei cambiamenti strutturali che l'introduzione del computer – già utilizzato come strumento preferenziale da alcuni pionieri come Nicholas Negroponte¹⁵² all'Architecture Machine Group and The Media Lab¹⁵³ – provocò in tutti i settori della società, sedimentandosi nella vita quotidiana e consacrando definitivamente, con l'avvento di Internet, la rivoluzione digitale nell'immaginario collettivo. Venne così assorbito e reinterpretato un nuovo paradigma culturale e tecnologico, che definì lo stile visuale che ha plasmato l'immaginario degli anni della *blob architecture*¹⁵⁴ e del parametricismo¹⁵⁵, con opere come i *Water Pavilion* (1997) di Lars Spuybroek e Kas Oosterhuis o il *Selfridges Building* (2003) di Future Systems, il progetto *Embryological House* (1997–2001) di Greg Lynn, e la *Kunsthhaus di Graz* (2003) di Peter Cook. Le seconda *digital turn*, individuata da Carpo è quella che vediamo avvenire ancora oggi, che testa i limiti disciplinari dell'architettura in relazione alle possibilità offerte dai *Big Data*, dagli sviluppi sull'intelligenza artificiale, sulla fabbricazione digitale e sulla commistione con altri ambiti come quelli delle scienze naturali e biologiche; secondo Carpo, tali sviluppi minerebbero alla base e sarebbero di in grado sostituire *in toto* il metodo sperimentale della scienza moderna¹⁵⁶. Tra i vari, uno degli avanzamenti principali ha riguardato le possibilità offerte dalla stampa 3D, dai software generativi e dalla *digital fabrication* che hanno permesso il passaggio dalla standardizzazione industriale¹⁵⁷ alla *mass customization*¹⁵⁸.

La recente ricerca sviluppata al Canadian Centre for Architecture e curata da Greg Lynn "*Archaeology of the Digital*" ha rappresentato il primo vero tentativo di sistematizzazione retrospettiva del tema del digitale in architettura¹⁵⁹. Il *digitale* «a cui si riferisce questa ricerca archeologica non è definito soltanto dalla presenza pervasiva della tecnologia, né è soltanto caratterizzato dall'utilizzo della potenza del calcolo computazionale ai fini di una maggiore efficienza e velocità di produzione. Il *digitale* a cui ci riferiamo riguarda progetti e idee sperimentali, che in uno specifico periodo di tempo si sono mossi proattivamente verso la creazione e l'utilizzo di strumenti informatici per ottenere risultati altrimenti inaccessibili»¹⁶⁰. Confluita

151. Cfr. Mario Carpo, *The Digital Turn in Architecture: 1992-2012*, Wiley, Hoboken 2013; Mario Carpo, *The Second Digital Turn. Design Beyond Intelligence*, MIT Press, Cambridge (MA) 2017.

152. Nicholas Negroponte, *La macchina per l'architettura*, Il Saggiatore, Milano 1972.

153. Molly Wright Steenson, *Nicholas Negroponte, Leon Groisser, Jerome Wiesner: The Architecture Machine Group and The Media Lab at Massachusetts Institute of Technology MIT*, Radical Pedagogies, sito web: <https://radical-pedagogies.com/search-cases/a13-architecture-machine-group-media-lab-massachusetts-institute-technology-mit/> [01.05.2020].

154. Greg Lynn, "Blobs (or Why Tectonics is Square and Topology is Groovy)" in *ANY*, n. 14, Maggio 1996, pp. 58-62.

155. Patrik Schumacher, "A New Global Style", in Carpo, *The Digital Turn*, p. 240.

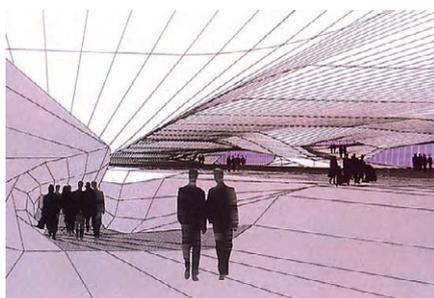
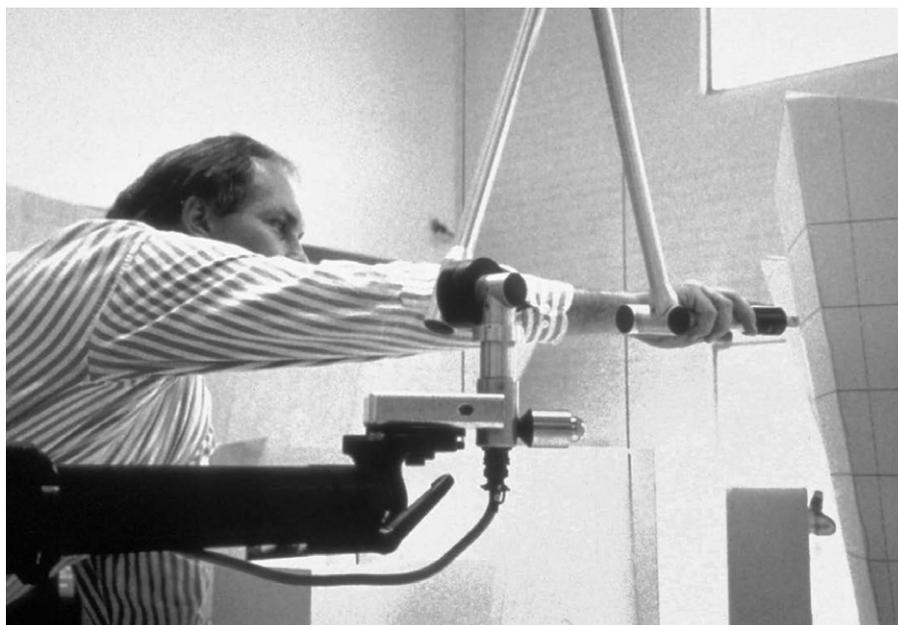
156. Carpo, *The Second Digital Turn*, op. cit., p. 33.

157. Banham, R. *Theory and Design in The First Machine Age*, Praeger, New York 1967.

158. Carpo, *The Second Digital Turn*, op. cit., pp. 147-153.

159. Greg Lynn (a cura di), *Archaeology of the Digital*, Sternberg Press-Canadian Centre for Architecture, Montréal-Berlin 2013.

160. Mirko Zardini, "Foreword" in Ivi, p. 10.



in alto a destra: Rick Smith digitalizza il modello della *Walt Disney Concert Hall* di Frank Gehry, 1991
dall'alto verso il basso: Workstation con modello 3D in AutoCAD dell'*Erasmus Bridge*, 1994
FOA, *Yokohama International Port Terminal*, rendering di concorso, 1994
Arata Isozaki, *New Tokyo City Hall*, prospettiva dell'atrio, rendering di concorso, 1986

successivamente in una serie di mostre e libri, *Archaeology of the Digital* ha riguardato l'acquisizione e l'archiviazione di una serie di progetti, disegni, modelli, immagini, *file*¹⁶¹, di una serie di progetti sviluppati a cavallo tra gli anni Ottanta e Novanta da architetti come Peter Eisenman, Frank Gehry, Chuck Hoberman, Shoji Yoh, tutti caratterizzati da un approccio innovativo e specifico al tema del digitale in architettura. Per Mirko Zardini, ai nomi di questa lista ne va equiparato un altro: «un attore inanimato che assume forme e nomi differenti: *macchina, computer, manuale, software, codice, script*. Questa componente tecnologica – ricercata, trovata, testata modificata e perfino inventata dagli architetti stessi per mettere in pratica la propria visione – ha acquisito vita propria e ha reso possibile la produzione di questi progetti»¹⁶². Sul significato di digitale si interroga anche Antoine Picon chiedendosi se fosse legittimo estendere il termine ad ogni progetto fatto con il supporto di un computer, o se esso debba essere riservato alla produzione di progetti utilizzino il potere di calcolo computazionale dei computer al di là della mera capacità di rappresentazione¹⁶³. Picon sembra optare per la seconda ipotesi, allineandosi con quanto proposto da Zardini: «l'architettura digitale possiede una dimensione sperimentale più che *mainstream*»¹⁶⁴ che va oltre l'evoluzione pratica degli strumenti del progetto. Picon sottolinea come, in verità, il termine *computer* assunse un ruolo marginale tra le fonti di ispirazione per le geometrie complesse evocate da Lynn¹⁶⁵. Il computer rappresenta dunque uno strumento che ha amplificato la fascinazione verso nuovi approcci sperimentali di origine socio-culturale.

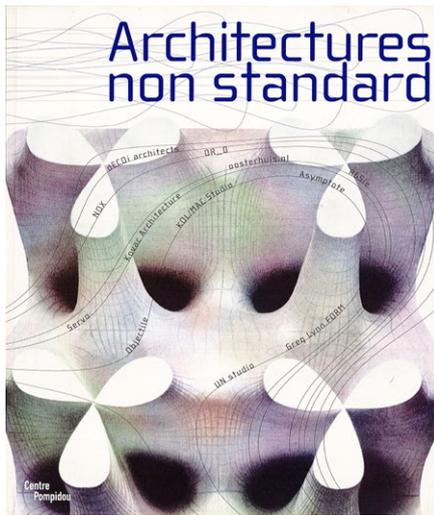
161. Greg Lynn ammise la difficoltà di immaginare un sistema di archiviazione e gestione dei diversi *file* di lavoro dei progetti selezionati per le mostre; l'obsolescenza dei programmi con i quali vennero prodotti ha aperto a una serie di questioni sulla conservazione di questi dati e sulle modalità per potervi accedere con i software in uso oggi. Greg Lynn, "Going Native: Notes on Selected Artifacts from Digital Architecture at the End of the Twentieth Century", in Andrew Goodhouse (a cura di), *When is the digital in Architecture?*, Sternberg Press-Canadian Centre for Architecture, Montréal-Berlin 2015, pp. 279-334.

162. Zardini, *op. cit.*

163. Picon, *op. cit.*

164. Picon, *op. cit.*

165. Picon, *op. cit.*, p. 64.



in alto: Frédéric Migayrou, *Architecture non standard*, copertina del catalogo della mostra, 2003
 sopra: Gramazio Kohler, *mTable*, tavolo customizzabile, 2002

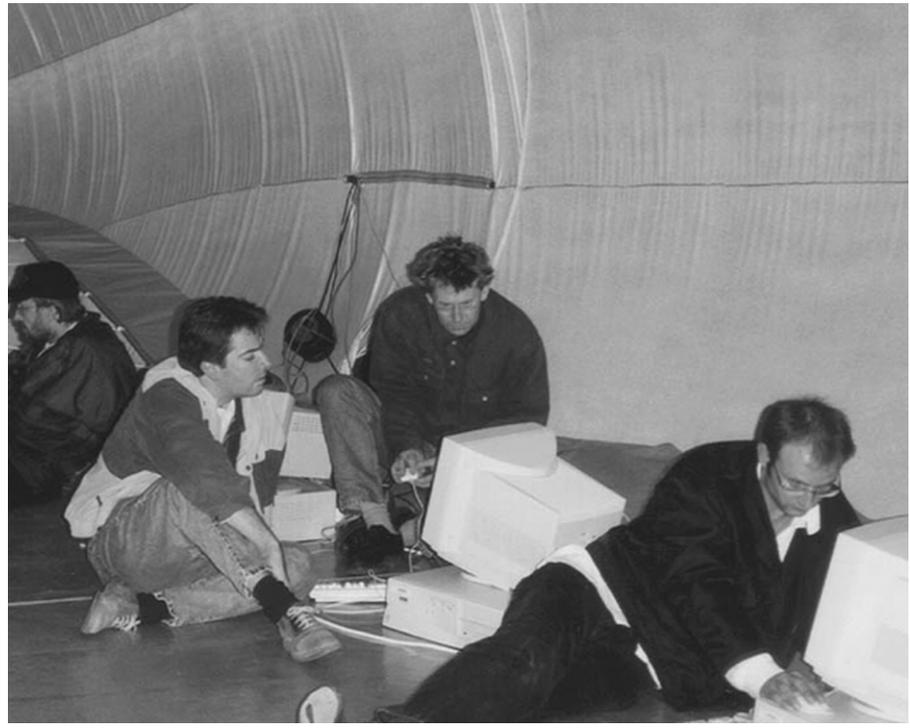
a destra: Kas Oosterhuis, Ilona Lénárd, Menno Rubbens, *Weblounge ParaSITE*, 1996

Carpo: «Starting from the early 1990s, the pioneers of digitally intelligent architecture argued that variability is the main distinctive feature of all things digital: within given technical limits, digitally mass-customized objects, all individually different, should cost no more than standardized and mass-produced ones, all identical. As computers and robots do not articulate aesthetic preferences, using CAD/CAM technologies we should be able to design and make boxes as well as blobs, as need be, at the same unit cost».

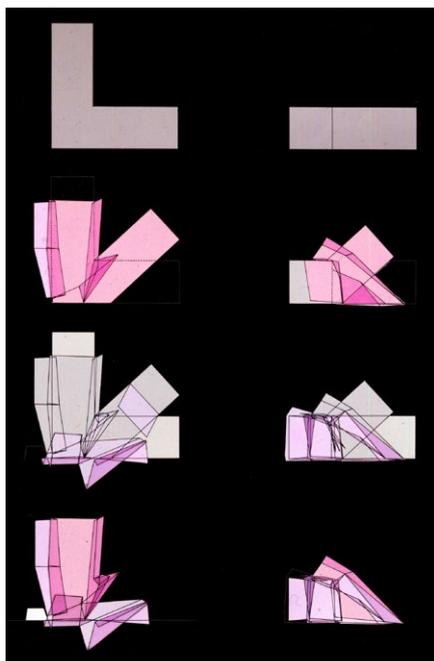
»A partire dai primi anni Novanta, i pionieri dell'architettura digitale intelligente hanno sostenuto che la variabilità è la principale caratteristica distintiva di tutte le cose digitali: entro certi limiti tecnici, gli oggetti digitalmente mass-customized, tutti individualmente diversi, non sarebbero dovuti costare più di quelli standardizzati e prodotti in serie, identici. Dato che i computer e i robot non articolano preferenze estetiche, usando le tecnologie CAD/CAM dovremmo essere in grado di progettare e realizzare sia scatole che blob, a seconda delle necessità, allo stesso costo unitario».

Per governarlo è necessario conoscere gli obiettivi a cui tendere: «i computer di per sé non impongono forme, né elaborano preferenze estetiche. i computer possono essere utilizzati per progettare scatole, o pieghe, indifferentemente»¹⁶⁶.

Il carattere di sperimentazione dell'architettura digitale si riverberò nel carattere "non-standard" delle architetture esposte alla mostra curata da Frédéric Migayrou al Centre Georges Pompidou tra dicembre 2003 e il marzo 2004 "*Architecture non standard*"¹⁶⁷ che presentò le ricerche di dodici gruppi di architetti attraverso una produzione fuori dagli "standard" intesi non soltanto da un punto di vista dell'immaginario architettonico a cui essi si riferivano ma anche da quello costruttivo-tecnologico. Le architetture non standard si inseriscono nel solco offerto nelle nuove opportunità offerte dalla fabbricazione digitale, per cui a modalità costruttive tradizionali si oppose la prototipazione rapida di elementi prefabbricati ma customizzati: è la *digital mass customization*¹⁶⁸. L'avvento delle macchine a controllo numerico CNC concretizzò la possibilità di realizzare elementi costruttivi molto diversi tra loro senza un aumento dei costi, ovvero invertendo le modalità con cui aveva funzionato finora la prefabbricazione concepita come produzione di massa¹⁶⁹. La dimensione sperimentale dell'architettura digitale ha privilegiato ragionamenti ed esplorazioni strettamente connesse alla possibilità di ottenere forme complesse e modificabili attraverso l'utilizzo di software, ma soprattutto non ottenibili attraverso i tradizionali strumenti del progetto di architettura: le forme investigate intendevano porsi in completo contrasto con il limitato vocabolario dell'architettura moderna¹⁷⁰.



166. Mario Carpo, "Ten Years of Folding", in Greg Lynn (a cura di), *Folding in Architecture, Architectural Design*, marzo-aprile 1993, p. 16.
 167. *Architectures non standard*, Centre Georges Pompidou, 10 dicembre 2003 - 1 marzo 2004. Partecipanti esposti: Asymptote, deCOI Architects, DR_D, Greg Lynn FORM, Kol/Mac Studio, Kovacs Architecture, NOX, Objectile, Oosterhuis.nlm, R&S, Servo, UN studio.
 168. Carpo, *The Second Digital Turn*, op. cit., p. 180.
 169. «Insofar as it does not employ casts or molds or dies, digital fabrication does not need to amortize the upfront cost of mechanical matrixes, hence in any given cycle of digital fabrication the marginal cost of production is always the same: more identical copies do not make copies cheaper, and variations in the series do not make any new item more expensive. In a sense, digital mass-customization provided a technological answer to a long-standing postmodern quest for product variations». Carpo, Ibid.
 170. Ibid.



Peter Eisenman, *Alteka Office Building*, diagramma generativo, 1991

«For Deleuze, folded space articulates a new relationship between vertical and horizontal, figure and ground, inside and out – all structures articulated by traditional vision. [...] The fold no longer privileges planimetric projection; instead there is a variable curvature. Deleuze's idea of folding is more radical than origami, because it contains no narrative, linear sequence; rather, in terms of traditional vision it contains a quality of the unseen. Folding changes the traditional space of vision. [...] Folding is not another subject expressionism, a promiscuity, but rather unfolds in space alongside of its functioning and its meaning in space – it has what might be called an excessive condition or affect. Folding is a type of affective space which concerns those aspects that are not associated with the affective, that are more than reason, meaning and function. [...] Folding is only one of perhaps many strategies for dislocating vision – dislocating the hierarchy of interior and exterior that pre-empt vision».

«Per Deleuze, lo spazio piegato articola un nuovo rapporto tra verticale e orizzontale, figura e sfondo, dentro e fuori – tutte strutture create dalla visione tradizionale. [...] La piega non privilegia più la proiezione planimetrica; al suo posto c'è una curvatura variabile. L'idea di piega di Deleuze è più radicale dell'*origami*, perché non contiene alcuna sequenza narrativa e lineare; piuttosto, in termini di visione tradizionale, contiene le qualità del *non-visto*. La piega modifica lo spazio tradizionale della visione. [...] La piega non è un'altra espressione del soggetto, una promiscuità, ma piuttosto si dispiega nello spazio accanto alla sua funzione e al suo significato nello spazio – possiede ciò che si potrebbe chiamare una condizione o un'affettività eccessiva. La piega crea un tipo di spazio affettivo che riguarda quegli aspetti che non sono associati all'affettività, ma che sono più legati alla ragione, al significato e alla funzione. [...] Il ripiegamento è solo una delle forse molte strategie per dislocare la visione – dislocare la gerarchia di interno ed esterno che preclude la visione».

La ricchezza di riferimenti, autori e progetti e la complessità delle tematiche rende complicato tracciare le influenze di tale stagione sul concetto di movimento e cinetica, in quanto esse rappresentano una vocazione soggiacente a tutte le sperimentazioni architettoniche promosse in quegli anni. L'adagio dell'architettura trasformabile e interattiva, che potesse adattarsi, modificarsi o *animarsi*¹⁷¹ continuò a rappresentare un orizzonte verso cui tendere. Uno dei punti di avvio per la svolta del linguaggio formale dalla decostruzione alle *smooth geometries* delle architetture *blob* fu l'entusiasmo per i principi di curvilinearità, flessibilità e duttilità evocati da Lynn, i quali anticiperanno gli sviluppi nel campo della geometria per l'architettura che in quegli anni cominciarono a trovare forma concreta in edifici e installazioni costruite. Il cambio di paradigma estetico provocato dalla prima *digital turn* è inseparabilmente connesso allo sviluppo delle tecniche di modellazione geometrica che attraverso il computer si sono diffuse nella pratica architettonica rendendo possibile tutta una serie di operazioni precedentemente affidate a lente operazioni di *form finding* analogico. Oltre ai modelli tridimensionali "stereometrici" ottenibili attraverso la giustapposizione di solidi e visualizzabili in *wireframe*, le superfici *NURBS* – acronimo di *Non-Uniform Rational B-Splines* – rappresentano senza dubbio l'invenzione geometrica che ha trovato più larga applicazione nelle sperimentazioni e realizzazioni di architetture prodotte digitalmente e che ha avuto un impatto duraturo sul linguaggio architettonico degli anni Novanta¹⁷². Più di altre tecniche, le *NURBS* permettono al progettista di interagire con curve, superfici e volumi in modo estremamente intuitivo attraverso una serie di punti di controllo che reagiscono se tirati o spinti, permettendo la visualizzazione immediata di tali deformazioni nello spazio attraverso compressioni, estensioni e rotazioni. Sotto questo punto di vista le *NURBS* sono il «simbolo emblematico dello spazio creativo aperto dalla modellazione»¹⁷³ costruendo un dialogo diretto dall'idea alla visualizzazione per poi passare alla successiva notazione.

Il concetto di *piega*, intesa a volte letteralmente, talora metaforicamente, ebbe altrettanta fortuna critica. L'utilizzo del termine si diffuse a partire dalla pubblicazione in lingua inglese del saggio del filosofo francese Gilles Deleuze "*Le Plî. Leibniz et le baroque*"¹⁷⁴, un testo che ebbe un'influenza fondamentale sulla stagione della prima *digital turn*. Il testo di Deleuze descrisse l'estetica e il pensiero barocco reintroducendo la piega come costruito spaziale ambiguo che riesca a contenere in sé stessa molteplici sfaccettature, condensando «lo spirito di una nuova matematica della continuità: le pieghe evitano le fratture, colmano le lacune, si interpolano»¹⁷⁵. Al di là delle vaste implicazioni filosofiche del testo, la specificità per la disciplina dell'architettura è insita in un aspetto specifico introdotto da Deleuze: la possibilità di immaginare la complessità in termini altri di

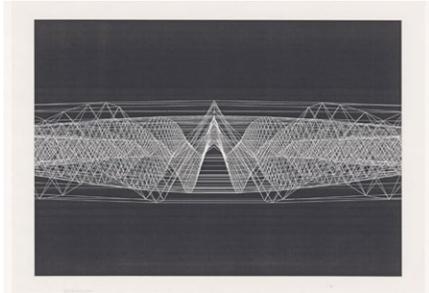
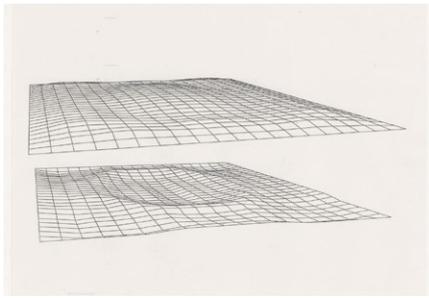
171. Greg Lynn, *Animate Form*, Princeton architectural press, New York 1999.

172. Picon, p. 70.

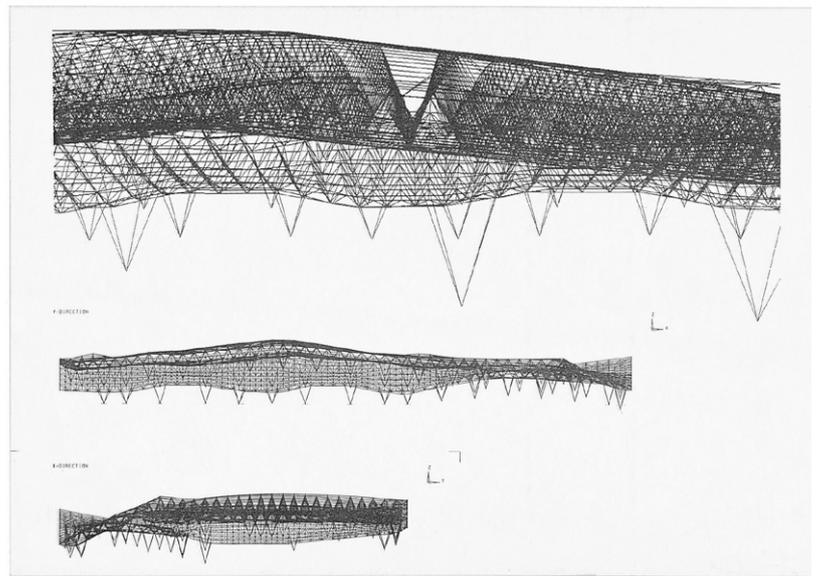
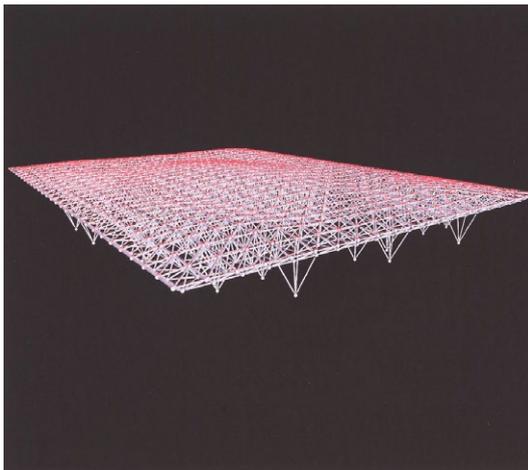
173. Ibid.

174. Cfr. Gilles Deleuze, *Le Plî. Leibniz et le baroque*, Les Éditions de Minuit, Parigi 1988, tr. it. *La piega. Leibniz e il Barocco*, Einaudi, Torino 1990.

175. Carpo, *The Alphabet and the Algorithm*, op. cit., p 87.



in alto: Shoen Yoh, *Wireframe exploded view for roof of Galaxy Toyama Gymnasium*, 1990-1992
 sopra: Shoen Yoh, *Wireframe drawing for roof of Galaxy Toyama Gymnasium*, 1990-1992
 sotto: *Rendering of the space frame for the Galaxy Toyama Gymnasium*, 1990-1992
 in basso a destra: Shoen Yoh, *Computer-generated image showing roof deformation of Odawara Municipal Sports Complex*, 1990-1991



quelli di discontinuità e collisione¹⁷⁶. Tali prospettive aperte da Deleuze furono teorizzate in una collezione di saggi a cura di Greg Lynn del 1993, *“Folding in Architecture”*, che suggerirono un’alternativa alla frammentazione decostruttivista. «Attraverso la rappresentazione delle contraddizioni [...] [l’architettura decostruttivista] traspone tali differenze in violenti conflitti formali»¹⁷⁷, mentre i tentativi di ricostruzione di un atteggiamento storicistico, reazionario intendono «recuperare un’unità di linguaggio che possa affrontare tale eterogeneità. L’unità è perseguita attraverso due strategie: ricostruendo una continuità di linguaggio architettonico attraverso analisi storiche (*Neo-Classicismo* o *Neo-Modernismo*), o identificando caratteristiche locali di clima, materiali, tradizioni e tecnologie (*Regionalismo*)»¹⁷⁸. A risolvere tale conflitto, la *piega* irruppe nel discorso architettonico sino a diventare la cifra formale da perseguire per un’architettura del XXI secolo. Il volume curato da Lynn raccoglie un’antologia di posizioni che cercano di distaccarsi dalle applicazioni della decostruzione in architettura proponendo una rilettura del testo di Deleuze. Nel suo saggio *“Architectural Curvilinearity. The Folded, the Pliant and the Supple”*, Lynn compone una serie di esempi di nuovi approcci al progetto che si allontanano dalla «logica del conflitto e della contraddizione»¹⁷⁹ per appropriarsi di verso una «logica della connettività»¹⁸⁰. La *piega*, così, risulta una possibile risposta architettonica alle richieste di una cività sempre più connessa e globale, conservando l’afflato dirompente del Decostruttivismo e la tensione verso l’unità architettonica del Postmodernismo. A tal proposito Lynn definisce il nuovo stile fatto da «trasformazioni lisce [*smooth transformations*]» come l’inevitabile risoluzione Hegeliana dell’opposizione dialettica tra Postmodernismo (composizione classica, unità, ordine, contestualismo) e

176. Picon, *op. cit.*, p. 64

177. Greg Lynn, “Architectural Curvilinearity: The Folded, the Pliant and the Supple” in Id., *Folding in Architecture*, *op. cit.* p. 24.

178. Ibid.

179. Ibid.

180. Ibid.

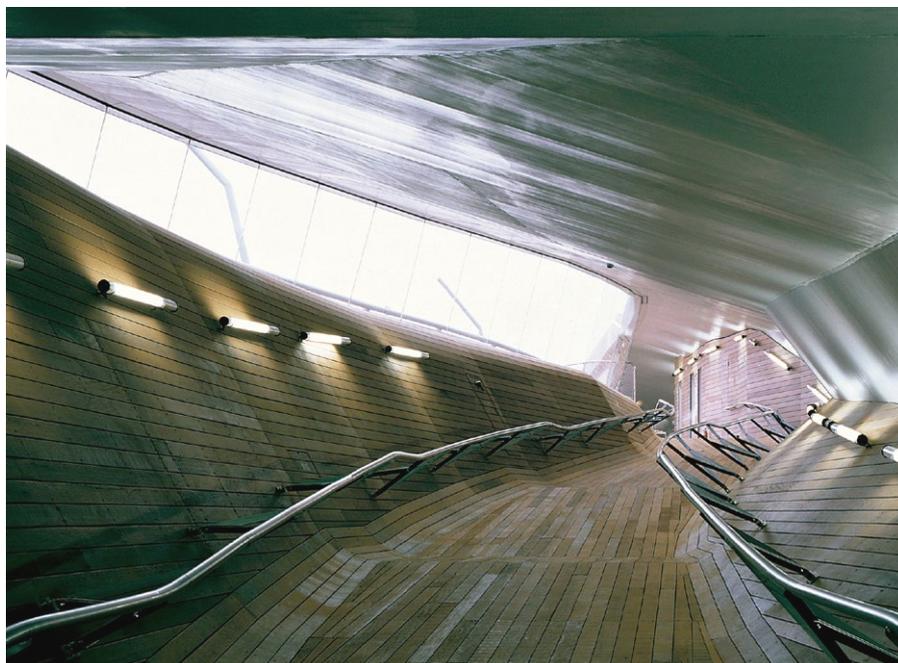
in basso: FOA, *Yokohama International Port Terminal*, vista aerea, 2002

a destra: FOA, *Yokohama International Port Terminal*, commistione tra spazio interno ed esterno, 2002

«The other main concern of our research is the construction of a model which is capable of integrating differences into a coherent system. The problem is to discover how the spatial coherence which characterises globalised late-capitalist regimes can inform local differences, to approach the production of space as the articulation of *global* processes with *local* specificities, where global does not mean empty and local does not mean disconnected. As an architectural statement *after* Post-Modernism, *after* critical regionalism, *after* Deconstructivism, our strategy is to articulate the production of space which is coherently differentiated».

«L'altra preoccupazione principale della nostra ricerca è la costruzione di un modello capace di integrare le differenze in un sistema coerente. Il problema è scoprire come la coerenza spaziale che caratterizza i regimi tardo-capitalistici globalizzati possa dare forma alle differenze dei contesti locali, approcciare la produzione dello spazio come interpolazione di processi *globali* con specificità *locali*, dove globale non significa vuoto e locale non significa disconnesso. Come dichiarazione architettonica *dopo* il Postmodernismo, *dopo* il Regionalismo critico, *dopo* il Decostruttivismo, la nostra strategia è quella di articolare la produzione dello spazio coerentemente differenziata.».

Decostruttivismo (spigolosità, disgiunzione, conflitto e opposizione)¹⁸¹. La nuova fluidità si manifesta attraverso l'architettura della piega, una strategia progettuale che si allontana dalla «geometria Euclidea dei volumi discreti rappresentati nello spazio cartesiano, utilizzando un approccio topologico alla concezione della forma attraverso una geometrie di curve e superfici continue»¹⁸². Per Lynn la curvilinearità rappresenta la principale espressione formale dell'architettura *duttile* (*pliant architecture*), ovvero un'architettura che prevede «l'integrazione delle differenze all'interno di un sistema eterogeneo ma allo stesso tempo continuo»¹⁸³, trascendendo la logica additiva della composizione per volumi in favore di transizioni morbide, superfici lisce e continuità tra interno ed esterno: «se c'è un unico effetto prodotto in architettura dalla piega, quello è l'abilità di integrare elementi non correlati tra loro all'interno di una nuova continuità»¹⁸⁴. Un esempio che rappresenta tale continuità è lo *Yokohama International Passenger Terminal* di FOA. La prima elaborazione del progetto risale al 1995 quando Alejandro Zaera-Polo e Farshid Moussavi ottennero il primo posto al concorso internazionale, poi completato nel 2002, e fu immaginato come un grande piano modellato a formare una nuova topografia. La piega è presente a tutte le scale dell'edificio: dalla modalità di insediamento nel contesto fisico, alle caratteristiche degli spazi interni. La proposta intendeva introdurre un nuovo suolo continuo come meccanismo per la «penetrazione dello spazio urbano sul tetto del terminal per istigare la creazione di uno spazio pubblico all'interfaccia tra le funzioni del terminal e la città»¹⁸⁵. La forma dell'edificio, modellata topologicamente per ottenere spazi di transizione tra le diverse unità funzionali e tra interno



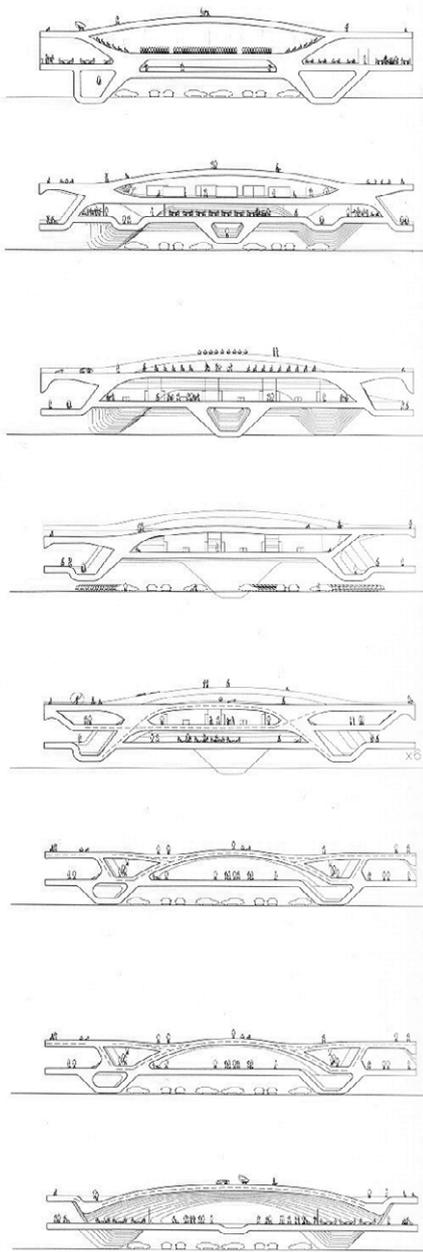
181. Carpo, *The Digital Turn in Architecture: 1992-2012*, op. cit., p. 28.

182. Branko Kolarevic, *Architecture in the Digital Age. Design and Manufacturing*, Spon Press, New York-London 2003, p. 3.

183. Lynn, *Architecture Curvilinearity*, op. cit., p. 24.

184. Ibid.

185. Sophia Vyzoviti, *Folding Architecture. Spatial, Structural and Organizational Diagrams*, BIS Publishers, Amsterdam 2003.



sopra: FOA, *Yokohama International Port Terminal cinematic sectioning*, 2002

Charles Jencks: «Cinematic sectioning is a method of controlling the design of very large structures [...] Through the notation one follows the rise and fall of land waves as they move [...] and the method also choreographs the movement of people on the ramps. From these and other large-scale movements the building is generated».

ed esterno, si presenta alla città come liscia e senza soluzione di continuità. Il programma si sviluppa all'interno del suolo che, ripiegandosi su sé stesso in una serie di pieghe di tipo *origami* disegna il tetto dell'edificio amplificandone l'effetto di continuità ritmata dalle pieghe, dissolvendo la separazione tra struttura e involucro a favore di un *continuum* materico, spaziale e percettivo. Il programma è stato costruito intorno ai flussi dei passeggeri e ai movimenti di cittadini, visitatori, flussi dei bagagli e dei veicoli di servizio, ed è organizzato da una sovrapposizione e interrelazione delle parti, un *layering*, appunto, come descritto da Lynn: «la piega non implica scuotimenti o sventramenti ma una stratificazione flessibile [*supple layering*]»¹⁸⁶.

Per raggiungere la stratificazione continua l'architettura digitale si è servita delle possibilità offerte dal calcolo computazionale e in particolare dai software di modellazione e visualizzazione che hanno contribuito ad allargare il campo di possibilità formali fino ad una condizione che Picon definisce *barocca*, in un parallelo portato alla luce dal testo di Deleuze, per l'apparente dinamica delle superfici curve, per le linee di forza propulsive che disegnano le forme e per il potenziale insito nella *deformazione* delle superfici di definire un nuovo linguaggio capace di caratterizzare un vero e proprio stile¹⁸⁷. Il parallelo tra *barocco* e *digitale* è stato criticato da Renato De Fusco. Paragonando la prospettiva Rinascimentale con le immagini computerizzate, De Fusco descrive l'inappropriatezza del tentativo di codificazione dell'architettura *virtuale*, possibile, potenziale in uno stile: «la prospettiva rinascimentale nasceva inizialmente come rappresentazione [...] ma più esattamente *intenzione* di conformazione. [...] Quanto alla grafica computerizzata, rappresenta anch'essa lo spazio a tre dimensioni [...] ciò non toglie che si tratti comunque di rappresentazione e non di conformazione. Ciò, se da un lato legittima il paragone tra la tradizionale prospettiva e le immagini realizzabili con la nuova tecnologia, dall'altro non riesce ad avallare un altro rapporto: quello fra il potenziale tecnico e gli esiti socioculturali che solitamente danno luogo a uno stile»¹⁸⁸. Se confrontiamo la prospettiva come modalità di lettura e interpretazione del mondo e come strumento "conformativo" del processo di progetto precedente all'avvento del computer, con la grafica computerizzata dell'epoca della *digital culture*, risulta evidente come l'architettura *virtuale* non trovi fondamento in nessuno stile, proprio per la sua incapacità di produrre esiti socio-culturali tangibili. Per De Fusco, «la prospettiva, com'è ormai acquisito, era una "forma simbolica", legata di volta in volta al *Kunstwollen* di ciascun momento storico, nonché espressione di uno stile e di uno stile solo proprio della sua specifica epoca. [...] Gli elaborati dell'attuale grafica computerizzata, dei quali la prospettiva costituisce una delle tante possibilità, sono totalmente indifferenti ad ogni questione di stile. Essi possono rappresentare tanto una fabbrica razionalista quanto una neoespressionista [...] Queste considerazioni

186. Lynn, *op. cit.*, p. 25.

187. Picon, *op. cit.*

188. Renato De Fusco, *Trattato di Architettura*, GLF Edizioni Laterza, Roma-Bari 2001, pp. 209-210.

in basso: ONL, *Graphisoft Slider Building*, 2002

«Why should buildings or parts of buildings move anyway? It is obvious why doors move, and windows, and why you turn the switches for the light. But moving and transforming complete building volumes? What the *Monument for the Third International* started back in the beginning of the 20th century, the *Graphisoft Slider Building* reinvents in the dawn of the 21st century: a fully programmable complex of interacting structures. Where the Tatlin's monument has a fixed structure supporting the three rotating elements, the *Graphisoft* conference centre has no fixed structure. [...] different building elements [...] gently slide in relation to each other, activated by a script which produces different values for the speed and the extent of the movements in realtime. A fascinating play of elements sliding back and forth, up and down at different speeds creates an endless variety of configurations, connected to a variety of usage. Not a single person will ever experience the same building».

«Perché gli edifici o parti di edifici dovrebbero comunque muoversi? È ovvio perché le porte si muovono, le finestre, e perché si schiacciano gli interruttori della luce. Ma spostare e trasformare intere parti di edifici? Ciò che il *Monumento alla Terza Internazionale* ha iniziato all'inizio del XX secolo, il *Graphisoft Slider Building* lo reinventa all'alba del XXI secolo: un complesso completamente programmabile di strutture interagenti. Dove il monumento di Tatlin ha una struttura fissa che sostiene tre elementi rotanti, il centro conferenze *Graphisoft* non ha una struttura fissa. [...] elementi dell'edificio esplicitamente diversi [...] scorrono delicatamente l'uno rispetto all'altro, attivati da uno script che produce diversi valori per la velocità e l'estensione dei movimenti in tempo reale. Un affascinante gioco di elementi che si muovono avanti e indietro, su e giù a velocità diverse, crea una varietà infinita di configurazioni, connesse a una varietà di utilizzi. Nessuna persona farà mai esperienza dello stesso edificio».

ci portano a ritenere che [...] all'enorme potenziale tecnologico non corrisponda una precisa intenzionalità artistico culturale»¹⁸⁹.

La spinta propulsiva di cambiamento proposta dalla rivoluzione digitale ha consentito lo sviluppo di tecnologie e procedure innovative, nonché di un immaginario teso verso la possibilità di un'architettura realmente interagente e responsiva. Le complesse geometrie dei *blob* e le caratteristiche della *piega* rappresentarono da un lato il punto terminale di una ricerca formale emersa a partire dalla seconda metà del XX secolo¹⁹⁰, dall'altro il punto di avvio di nuove sperimentazioni che, assorbito e superato il discorso intorno alle questioni specificamente formali¹⁹¹, ripresero le aspirazioni degli architetti degli anni Settanta nell'immaginare un'architettura che possa *interagire* rispettivamente con l'uomo e con l'ambiente. L'architettura cinetica ha rappresentato un tentativo verso un approccio olistico in cui le tre componenti – *uomo, architettura, ambiente* – interagiscono scambiandosi informazioni e favorendo una reciproca responsività, che ha dimostrato di essere fisicamente raggiungibile concretamente grazie agli avanzamenti degli studi sulla geometria delle componenti fisiche, sui materiali e sulla fabbricazione digitale.

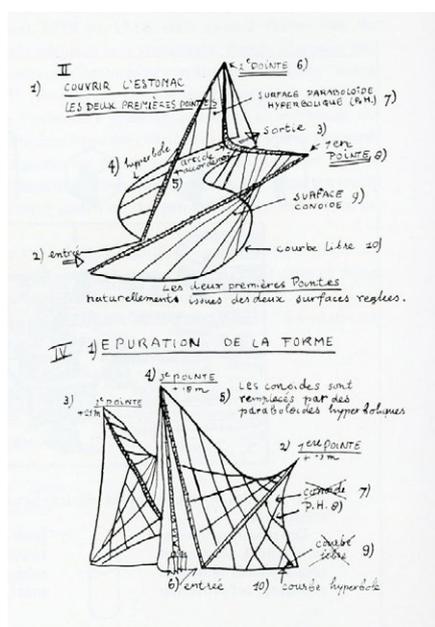
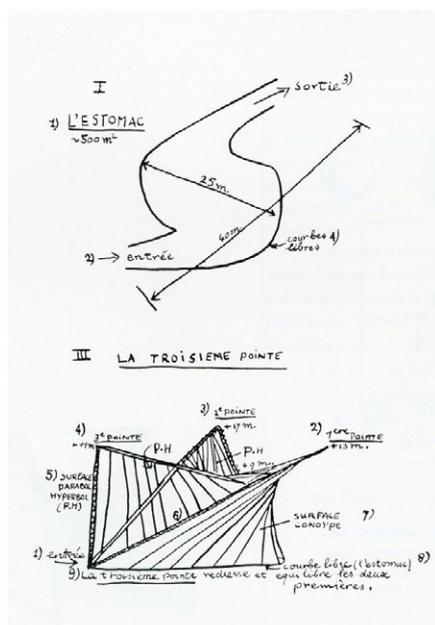


189. Ibid.

190. Cfr. Fankhänel T. Lepik A. (a cura di) *The Architecture Machine. The Role of Computers in Architecture*, Birkhäuser, Basilea 2020.

191. Picon, *op. cit.*

II. Le possibilità della cinetica



sopra: Iannis Xenakis, schizzi per Padiglione Philips, 1958

Adattabile, adattiva, animata, pieghevole, convertibile, estendibile, flessibile, cinetica, responsiva, trasformabile¹. Questi alcuni dei termini con cui l'architettura soggetta a movimento è stata definita nella letteratura scientifica e nella pratica progettuale. Ognuno di essi tenta di specificare un preciso aspetto che il movimento sottende nel passaggio da uno stato all'altro, allo stesso tempo tutti presuppongono due momenti essenziali: la possibilità di un'interazione (input) e la risposta del sistema architettonico attraverso la modificazione della forma (output). Tra i diversi termini, infatti, *interattività* e *responsività* sono stati utilizzati per indicare la relazione tra utente ed elementi fisici in movimento. «Se il termine “interattivo” suggerisce una relazione unidirezionale in cui un utente compie una serie di azioni in un ambiente che è flessibile entro limiti definiti, il termine “responsivo” introduce il concetto di reazione mutuale e di scambio, i cui aggiustamenti avvengono continuamente su entrambi i lati dell'equazione»². L'interattività, infatti, avviene anche in presenza di cinematismi “virtuali”, che non necessitano di modificazioni fisiche o movimentazione cinetica, comprendendo così anche pannelli luminosi, schermi informativi o opere d'arte digitali³. L'architettura responsiva invece presuppone una vera e propria interazione fisica tra uomo, ambiente e architettura. Negli anni Settanta questo approccio fu particolarmente studiato, specialmente negli Stati Uniti, in cui la teoria della cibernetica e l'influsso di grande aziende *corporate* interessate agli sviluppi dell'architettura e del design, avviò una stagione di studi e ricerche che hanno fortemente influito sulla cultura del progetto architettonico⁴. Le speculazioni teoriche e implicazioni operative dei due termini troveranno un campo d'applicazione nelle sperimentazioni dei primi anni Novanta, dove la diffusione di massa delle tecnologie digitali e i cambiamenti strutturali conseguenti alla loro applicazione si tradusse da un lato nella fascinazione per forme complesse generabili digitalmente, dall'altro nella possibilità di un controllo effettivo dello spazio architettonico e dei suoi aspetti qualitativi attraverso la trasformazione in diversi gradi delle sue parti. I cinematismi sono alla base di tale approccio, in quanto ogni architettura che reagisce a stimoli esterni necessita di un sistema di movimentazione in grado di modificarne la struttura materiale. Dall'*interattività* alla *responsività* è emerso un nuovo paradigma consolidatosi a partire dalla consapevolezza di questioni cogenti del contemporaneo, come quelle climatiche, la *performatività* intesa non solo come cifra espressiva di un determinato approccio tecnologico ma come possibilità di riconnessione con un sistema-ambiente più ampio. Tre possibilità, quindi, che individuano le direzioni principali che la cinetica in architettura ha assunto negli ultimi anni.

1. J. Lee, *Adaptable, Kinetic, Responsive, and Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design* (M.Sc. thesis). The University of Texas at Austin, Austin 2012., p. 30; Megahed, N. “Understanding Kinetic Architecture: Typology, Classification, and Design Strategy”, in *Architectural Engineering and Design Management*, pp. 1-17, 2016.
2. Branden Hookway, Chris Perry, “Responsive systems/appliance architectures” in *Architectural Design*, n. 76, 2006.
3. S. Anshuman, “Responsiveness and Social Expression, Seeking Human Embodiment in Intelligent Façades”, in *ACADIA05*, 2005.
4. Cfr. Busbea, *op. cit*

Architettura Interattiva

«L'architettura interattiva possiede una capacità di elaborare input e di poter interagire: una strada a doppio senso, uno scambio di informazioni circolare».

Michael Fox, Miles Kemp, *Interactive Architecture*, 2009

in basso: dECOi Architects, *Aegis Hyposurface*, diverse configurazioni dovute al grado di avvicinamento, 1999

«Creatively, we operate within an alloplastic "space" as one begins to work in a responsive, conditional environment, sampling and editing the proliferating capacity of generative software: it is a transformative, creative medium, by its very nature. Increasingly this also extends even to physical contexts, which through the (over)deployment of electronic systems become interactively malleable, our very determinacy being placed in flux. In the new electronic environment there is a reciprocal negotiation between self and environment – an interactive "alloplasticity"».

«Creativamente, operiamo all'interno di uno "spazio" alloplastico non appena cominciamo a lavorare in un ambiente responsivo e condizionante, campionando e modificando le capacità proliferanti del software generativo: è per sua natura un medium trasformativo e creativo. Sempre più spesso ciò si estende anche ai contesti fisici, che attraverso il (sovra)dispiegamento di sistemi elettronici diventano interattivamente malleabili, mettendo in crisi la nostra stessa determinatezza. Nel nuovo ambiente elettronico c'è una negoziazione reciproca tra il sé e l'ambiente – una "alloplasticità" interattiva.».

Michael Fox e Miles Kemp nel testo *Interactive Architecture* hanno provato a definire e circoscrivere il campo dell'architettura interattiva nelle sue più ampie implicazioni, partendo dall'influsso della cibernetica negli anni Sessanta fino alle vocazioni biomimetiche di alcune architetture recenti⁵. Definiscono l'architettura interattiva come essenzialmente dotata di due caratteristiche: un certo grado di *capacità computazionale integrata* – un'*intelligenza*, ovvero la capacità di elaborare input e di poter "interagire" – e di una *controparte fisica* – gli elementi che generano la risposta cinetica – in grado di soddisfare il grado di interattività/adattamento imposto al sistema. Fox e Kemp così liberano il campo da eventuali ambiguità provocate da tali termini: l'architettura interattiva è assimilabile a una «strada a doppio senso», uno «scambio di informazioni circolare» in grado non solo di *reagire* a un input, ma, appunto, di *interagire*⁶. Questa caratteristica verrà sottolineata anche da Kas Oosterhuis: «L'architettura *interattiva* è definita, in primis, come l'arte di costruire relazioni *tra* gli elementi costruiti; successivamente, come l'arte di costruire relazioni *tra* persone ed elementi costruiti. L'architettura interattiva è l'arte di costruire relazioni *bi-direzionali*».⁷ Tra gli esempi più rappresentativi della stagione della prima *digital turn* che ha aperto diversi orizzonti sperimentali e applicativi per l'interattività in architettura c'è l'*Aegis Hyposurface* (1999) di dECOi Architects, dell'architetto Mark Goulthorpe. Attraverso la tassellazione triangolare di



5. Cfr. Fox, Kemp, *op. cit.*

6. *Ivi*, p. 13.

7. K. Oosterhuis, X. Xia (a cura di), *Interactive Architecture*, Episode Publishers, Rotterdam 2007.

sotto: dECOi Architects, il sistema pneumatico dietro la superficie *Aegis Hyposurface*, 1999
in basso: ONL, struttura interna del *Web of North-Holland*, 2002



una superficie piana, *Hyposurface* è in grado di produrre rilievi tridimensionale sulla base di input raccolti da sensori che recepiscono la presenza fisica delle persone che vi si avvicinano. Il movimento è quindi trasmesso a tasselli realizzati in placche di metallo triangolari attraverso una serie di pistoni pneumatici. Il tassello traingolare rappresenta la cellula base del sistema *superficie*. Dal numero delle diverse placche dipende la più o meno precisa risoluzione del rilievo prodotto e la sua curvatura, controllabile punto per punto nello spazio sulla base della programmazione dei diversi pistoni idraulici. Una «superficie di traduzione»⁸ degli input in risposte immediate che producono deformazioni superficiali. Influenzato dalla cultura visuale della *digital turn*, Goulthorpe descrive l'indeterminatezza del movimento cinetico come prodotto di una logica *alloplastica*: «nella sua generazione, così come nella sua ricezione, [il movimento] suggerisce una logica *alloplastica*, più che *autoplastica*. Il ruolo del progettista tramuta in quello di *editor* o *sampler* di un gamma di effetti proliferanti»⁹. Se il termine *autoplastico*, indica una lenta modificazione che il soggetto compie *su sé stesso* nell'adattarsi a un ambiente esterno¹⁰, il significato di *alloplastico*, dal prefisso greco *állos*, «diverso, altro» viene utilizzato in psicologia per indicare tutte le modificazioni che avvengono *all'esterno* del soggetto per effetto della sua condotta nel processo di adattamento a condizioni mutate. Infatti, per Goulthorpe «l'*Aegis Hyposurface*, quindi, non è affatto una "forma" in quanto rifugge l'ideologia che esiste dietro al progetto, ed è concepito più come una matrice di *possibilità della forma*: esso è, infatti, il *divenire/assentarsi* della *forma-pattern*»¹¹. Il *continuum* esperienziale che *Hyposurface* realizza nel suo movimento non corrisponde a una forma prestabilita, ma indeterminata, malleabile e in flusso continuo; una trasposizione fisica delle nuove esigenze della società modificata dall'impatto del digitale: «un cambio di paradigma in architettura non riguarda soltanto l'improvvisa diffusione del CAD (Computer Aided Design) tra gli architetti, ma l'adattamento culturale della società ad un *ambiente elettronico*»¹². L'obiettivo sottointeso da Goulthorpe è destrutturare la forma come idea preconstituita, disegnata e costruita in ottemperanza ai procedimenti progettuali per come tradizionalmente condificali nella prassi, in favore di molte *forme possibili*, mai fisse ma in perenne modificazione, rispondenti al campionamento apparentemente casuale, ma potenzialmente programmato di input sensoriali elettronici dall'ambiente circostante. L'architettura interattiva è un'architettura dell'*interfaccia* tra uomo e macchina, tra mondo fisico e mondo elettronico, in una dimensione multisensoriale che è entrata ormai a far parte del nostro ambiente quotidiano. L'avvento della cultura digitale in architettura ha infatti reso possibile immaginare nuovi modi di vita per i quali ogni aspetto della nostra esistenza possa essere caratterizzato o

8. dECOi Architects "Technological Latency: From Autoplastic to Alloplastic", in *Digital Creativity*, vol. 11, 2000, p. 138.

9. Ivi, p. 135.

10. Ivi.

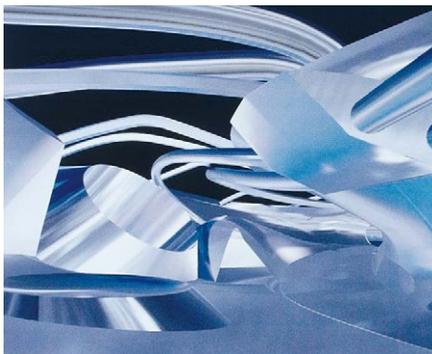
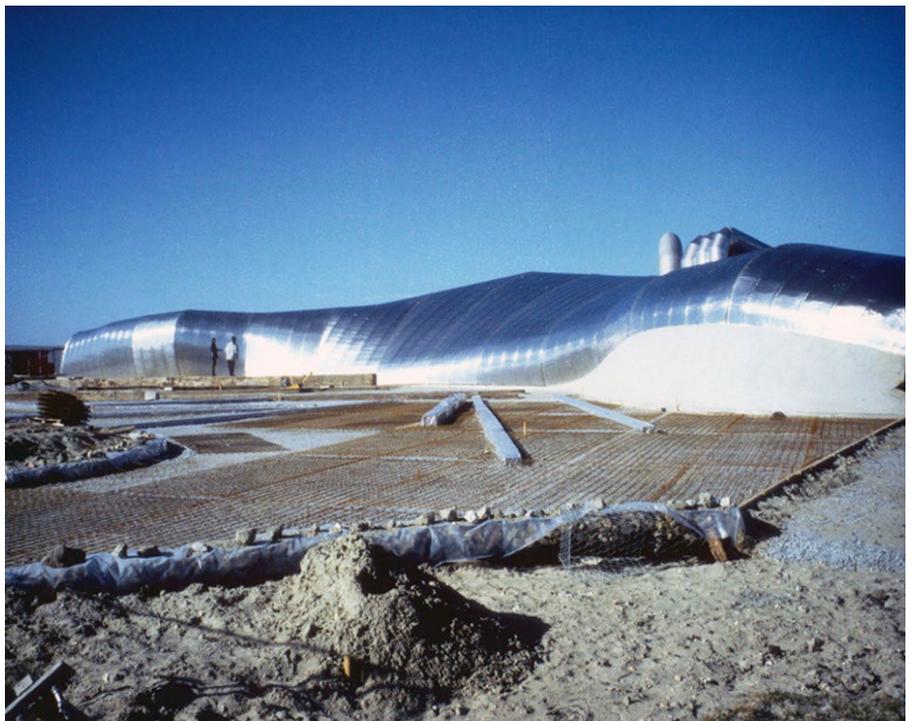
11. Ivi.

12. Ivi.

a destra: NOX, *Fresh Water Pavilion*, fotografia dell'esterno durante il cantiere, 1997

in basso: NOX, *Fresh Water Pavilion*, renderings, 1994

«FreshH2O eXPO (as our design office NOX named the project), generally known as the *Fresh Water Pavilion*, has been seized by the concept of the liquid. Not only its shape and use of materials but the interior environment tries to effect a prototypical merging of hardware, software and wetware. The design of this interactive installation was based on the metastable aggregation of architecture and information. The form is shaped by the fluid deformation of 14 ellipses spaced out over a length of more than 65 metres. Imagine the curves connecting all the ellipses being torn apart, bent and twisted again by outside forces – the wind, dunes, ground water, the Well – while internal forces try to maintain the ellipses; that is, attempt to stay smooth. The basis of the geometry is the vector-based changing of splines linking the ellipses. In this way, line and force become connected. The spline with its control points and tangential handles in 3D modelling software derives from naval architecture where a curve was created by a wooden spline bent by the positioning of several weights at the "control points". Line is not separated from point, but every vertex is the basis of a vector. If one changes the position or direction of the vector, the others change in accordance with their mutual dependency. In this case, the line becomes an action, and not the trace of an action. H2O eXPO is a bundle, a braid of splines. It derives its coherence from movement. In its soft network no distinction is made between form and deformation».



controllato da entità che agiscono sotto la spinta del calcolo computazionale¹³. Arrivando a coinvolgere azioni come il parlare, il toccare e muoversi, l'interfaccia uomo-macchina allenta «l'opposizione perfettamente definita tra lo spazio reale e lo spazio virtuale sta allentandosi»¹⁴. Basti osservare anche i più recenti avanzamenti nel campo della realtà virtuale e aumentata, nel *metaverso*, che vede come suo obiettivo principale l'evoluzione dei social media in universo virtuale parallelo, a cui accedere dalle diverse interfacce che utilizziamo ogni giorno – personal computer, smartphone – per *vivere* al suo interno; uno scenario non auspicato unanimemente. Già nel 1992 Tomás Maldonado oppose a questa tendenza verso la dematerializzazione l'ineluttabilità di un mondo fisico e reale: «significa infatti spingersi oltre il buon senso assumere come plausibile che, nel futuro, la vita degli uomini [...] possa svolgersi nei limiti di una fitta ragnatela di miraggi da cui nessuno sarebbe in grado di evadere. [...] non c'è scampo al vincolo della fisicità. Si possono creare [...] filtri e diaframmi che a livello percettivo sono in grado di allontanarci dall'esperienza diretta della fisicità. Ciò nonostante, è irragionevole congetturare [...] che gli uomini nel loro vivere di ogni giorno, potrebbero alla lunga sbarazzarsi definitivamente della elementare [...] esigenza di voler sempre e comunque *toccare con mano* le cose di questo mondo»¹⁵. Per risolvere tale contraddizione l'architettura intesa come interfaccia che dispone di interattività si è evoluta nella *hypersurface/ipersuperficie*, «concetto di architettura che promuove lo sviluppo di interfacce e l'interattività tra lo spazio digitale e l'ambiente costruito»¹⁶, che si traduce essenzialmente nella convergenza su un unico supporto

13. Cfr. Picon, *op. cit.*, pp. 94-104.

14. Ivi, pp. 55-59.

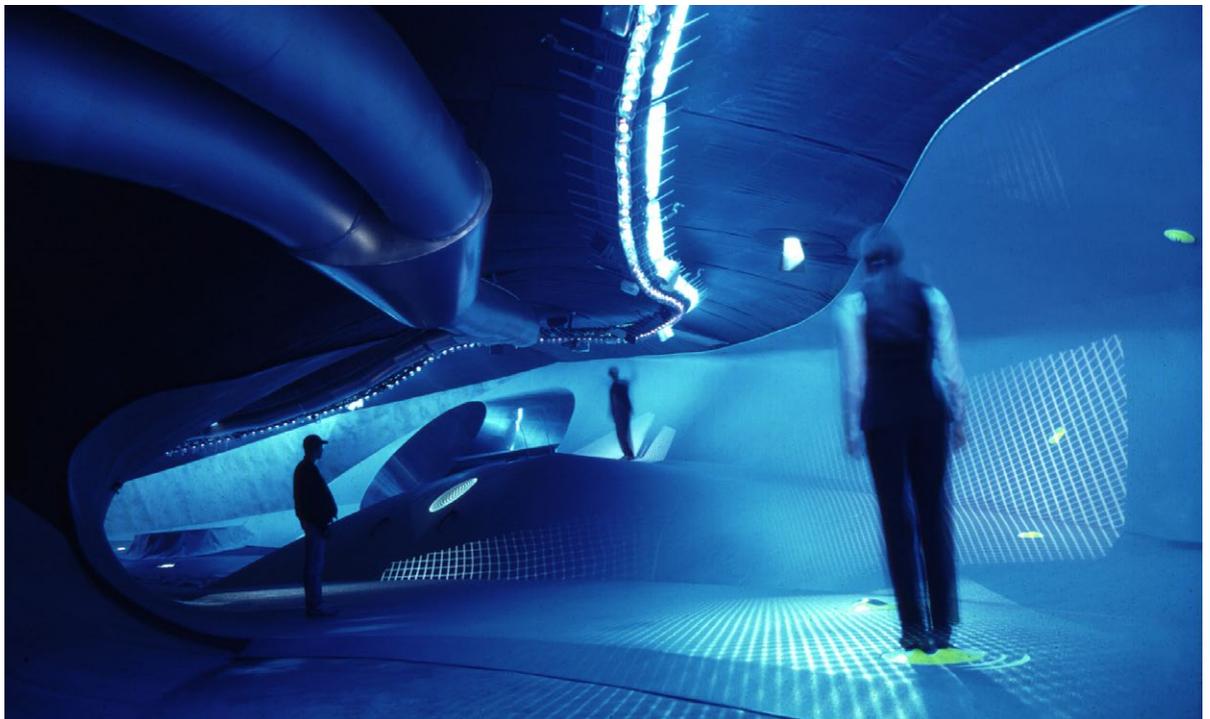
15. Tomás Maldonado, *Reale e Virtuale*, Feltrinelli, Milano 1992 p. 12.

16. Stephen Perrella, "Hypersurface Architecture", *Architettura Design*, n. 68, 1998, pp. 49-55.

in basso: NOX, *Fresh Water Pavilion*, interno, 1997

«FreshH2O eXPO (come il nostro studio NOX ha intitolato il progetto), generalmente conosciuto come *Fresh Water Pavilion*, è stato definito dal concetto di liquido. Non solo nella sua forma e nell'uso dei materiali, ma anche l'ambiente interno cerca di realizzare una fusione prototipica di hardware, software e wetware. Il progetto di questa installazione interattiva si è basato sull'aggregazione metastabile di architettura e informazione. La forma è modellata dalla deformazione fluida di 14 ellissi distanziate su una lunghezza di più di 65 metri. Immaginate che le curve che collegano tutte le ellissi vengano strappate, piegate e ritorte da forze esterne – il vento, le dune, l'acqua del terreno, il pozzo – mentre le forze interne cercano di mantenere le ellissi; cioè, cercano di rimanere lisce. La base geometrica si basa sul cambiamento vettoriale delle *spline* che collegano le ellissi. In questo modo, linea e forza diventano collegate. La *spline* con i suoi punti di controllo e le maniglie tangenziali nel software di modellazione 3D deriva dall'architettura navale dove una curva era creata da una *spline* di legno piegata dal posizionamento di diversi pesi nei "punti di controllo". La linea non è separata dal punto, ma ogni vertice è la base di un vettore. Se cambia la posizione o la direzione del vettore, tutti gli altri cambiano secondo la loro reciproca dipendenza. In questo caso, la linea diventa un'azione, e non la traccia di un'azione. H2O eXPO è un fascio, una treccia di *spline*. Deriva la sua coerenza dal movimento. Nella sua rete morbida non c'è distinzione tra forma e deformazione».

bidimensionale (uno schermo) tra *spazio virtuale* e architettura intesa come "sfondo" di tale proiezione. Questo spazio a cui accedere attraverso l'interfaccia, il *cyberspace*, è stato definito da John Frazer come un «fenomeno socio-tecnologico» caratterizzato dall'«invisibile interconnessione spaziale di computer nello spazio di internet, in cui si situano le esperienze virtuali e spaziali create in un computer»¹⁷, termine ormai non più molto frequentato da chi si occupa di digitale ha trovato grande fortuna critica negli anni del passaggio del millennio¹⁸. Oosterhuis descrive l'*ipersuperficie* in termini di somiglianza con la nostra pelle, considerata come uno strumento di comunicazione col mondo che ne permette la comprensione sensoriale nell'atto dell'interazione: «il corpo umano comunica attraverso una pelle sensoriale. Sente, ascolta, annusa, vede, assapora. Il corpo costruito [dell'architettura] agirà allo stesso modo del *bio-corpo*»¹⁹. Oosterhuis prosegue descrivendo le modalità dell'interazione: «l'architettura ha sempre posseduto una serie di componenti sensoriali attaccati al suo corpo. Tradizionalmente, le porte e le finestre si aprono per far entrare le persone e lasciar passare aria. Gli edifici hanno sempre scambiato informazioni con l'ambiente, ma in maniera analogica. Ora siamo entrati nell'epoca dell'evoluzione digitale e le nuove tecnologie stanno invadendo gli edifici. Lo scambio di informazioni avverrà su una piattaforma digitale. Le porte si apriranno e chiuderanno dopo aver ricevuto un segnale da parte degli utenti. Le finestre si apriranno e chiuderanno dopo aver ricevuto e digerito dati dalle stazioni meteo connesse in tempo reale con gli edifici»²⁰. Anche se ad oggi tali modalità d'interazione sembrano assorbite e già



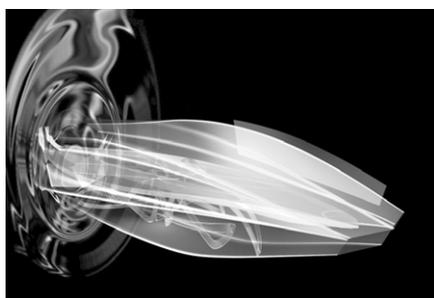
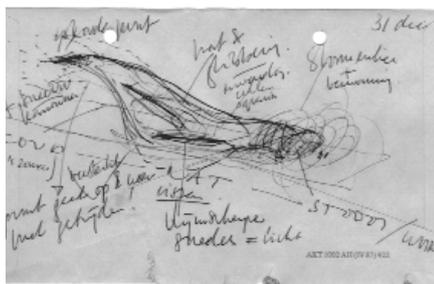
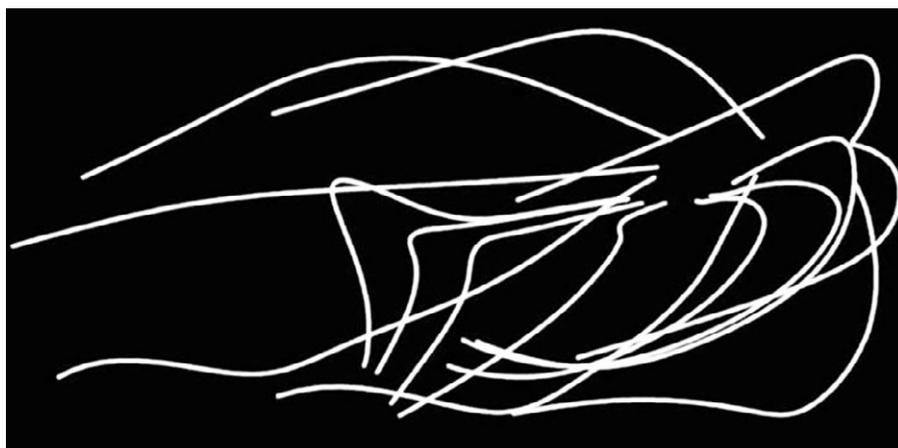
17. Ibid.

18. John Frazer, "The Architectural Relevance of Cyberspace", in *Architectural Design*, n. 65, 1995, pp. 76–77; Cfr. Martin Hand, *The Fall of Cyberspace and the Rise of Data*, Routledge-Taylor and Francis, Londra 2018.

19. Kas Oosterhuis, *Architecture Goes Wild*, 010 Publishers, Rotterdam 2002, pp. 86-87.

20. Ibid.

a destra: ONL, *Salt Water Pavilion*, vista dall'esterno, 1997
 in basso: ONL, *Salt Water Pavilion*, 16 ruling curves, 1997
 Ilona Lénárd, *3D Sketch Hydra Salt Water Pavilion*, 1995
 ONL, *Salt Water Pavilion*, X-Ray Rendering, 1995
 «The *Salt Water Pavilion* has evolved from the very beginning of the design process as a three-dimensional computer model. We kneaded, stretched, bent, rescaled, morphed, styled, polished. The delineation of the form is laid down in the digital genes of the design that hold the germ of life. The first idea is the genetic starting point for all subsequent steps in the development. We no longer accept the domination of platonic volumes, the simplistic geometry of cube, sphere, cylinder and cone as the basic elements of architecture. That resolution is much too low. Our computers allow us to command millions of coordinates describing far more complex geometries. The form gene underlying the pavilion's shape is an octagonal, faceted ellipse which gradually transmutes into a quadrilateral along a three-dimensional curved path. Along that path the volume is first pumped up and then deflated again to form the sharply cut nose. The body juts out a whopping twelve metres over the inland sea of the Oosterschelde. It is an intriguing idea that a cyclops could pick up the *Salt Water Pavilion* without wrenching it out of its internal coherence».



sdoganate dalla pratica del progetto (come le integrazioni della più commerciale *domotica*), Oosterhuis immaginava l'interattività dell'*ipersuperficie* come una chiave per poter accedere un mondo alterato da un coinvolgimento emozionale nuovo e inedito. «La pelle diventa una *ipersuperficie* profonda e programmabile. [...] La profondità dell'*ipersuperficie* è di natura differente rispetto alle simulazioni tridimensionali [...] essa intende raggiungere una profondità emozionale immersa nella superficie. [...] La superficie sensoriale intelligente invita l'utente a prendere parte di un altro mondo, un mondo virtuale come un'estensione del mondo fisico del quotidiano. L'*ipersuperficie* avvolge l'utente con schermi (*television*) in maniera totalmente interattiva. Non solo come un medium che "spinge" (*push*) contenuti nell'utente, ma anche come un medium che "estrae" (*pull*), che gli utenti possono nutrire con il tipo di informazione che desiderano e che ha per loro valore. L'architettura diventa un *push-and-pull medium*, esattamente come il World Wide Web»²¹. Esempi di *ipersuperfici* interagenti sono i due padiglioni gemelli *Fresh Water* e *Salt Water Pavilion* realizzati rispettivamente da Lars Spuybroek – fondatore dello studio NOX – e Kas Oosterhuis – pioniere del digitale in architettura, con il suo studio ONL e il gruppo di ricerca *Hyperbody*²². I due edifici elaborano tutti i temi e gli elementi del linguaggio teorizzato dalla prima ondata di *digital architects*: la

21. *Ibid.*

22. Kas Oosterhuis, *Hyperbody: First Decade of Interactive Architecture*, Jap Sam Books, Heijningen 2012.

in basso: ONL, *Salt Water Pavilion*, vista interna, 1997

«Il *Salt Water Pavilion* si è evoluto fin dall'inizio del processo di progettazione come un modello tridimensionale al computer. Abbiamo modellato, allungato, piegato, ridimensionato, deformato, aggiustato, lucidato. La definizione della forma è inscritta nei geni digitali del design che conservano il germe della vita. L'idea iniziale è il punto di partenza genetico per tutti i passi successivi dello sviluppo. Non accettiamo più il dominio dei volumi platonici, la geometria semplicistica di cubo, sfera, cilindro e cono come elementi base dell'architettura. La loro risoluzione è troppo bassa. I nostri computer ci permettono di gestire milioni di coordinate che descrivono geometrie molto più complesse. Il gene della forma alla base della forma del padiglione è un'ellisse ottagonale sfaccettata che si trasforma gradualmente in un quadrilatero lungo un percorso curvo tridimensionale. Lungo questo percorso il volume viene prima gonfiato e poi sgonfiato di nuovo per formare un becco tagliato di netto. Il corpo sporge di ben dodici metri sul mare interno dell'Oosterschelde. Ci intriga immaginare che un ciclope possa sollevare il *Salt Water Pavilion* senza strapparla dalla sua coerenza interna».

ricerca di forme curve complesse, dalle linee di movimento sinuose come *spline*, l'organizzazione di spazi caratterizzati da atmosfere immersive in cui diverse tecnologie multimediali combinate tra loro rendono concreta l'interazione con l'utente. Il padiglione di Spuybroek, in particolare, condensa una serie di caratteristiche rintracciabili nel concetto di *architettura liquida* introdotto da Marcos Novak: «Un'*architettura liquida* è un'architettura la cui forma dipende dall'interesse di chi osserva; è un'architettura che si apre per accoglierti e si chiude per difenderti; è un'architettura senza porte e corridoi, in cui la stanza accanto è sempre dove deve essere e come deve apparire. È un'architettura che danza, o pulsa, che si fa tranquilla o si agita»²³. L'edificio si compone di una serie di dispositivi visuali e acustici che reagiscono, guidati da sensori elettronici, al movimento dei corpi all'interno dell'edificio e ai dati ambientali e meteorologici esterni. Il padiglione genera una serie di sensazioni stranianti e insolite che coinvolgono l'osservatore in un'esperienza multisensoriale, compresa la percezione del movimento, inducendo a una sensazione di vertigine²⁴. Spuybroek «approccia l'architettura mirando all'accelerazione dei corpi nello spazio, invece di indurre calma. Il ritmo del corpo ha effetti sulla forma, e la ritmicità della forma avrà al contempo effetti sul corpo»²⁵. Il *Salt Water Pavilion* implica la «dissoluzione di ogni distinzione tra un edificio e il suo ambiente»²⁶ di fatto smaterializzando il soggetto in questo flusso continuo di sensazioni e informazioni ininterrotte. L'interattività nell'architettura dell'*ipersuperficie* è la condizione di base per la generazione dello spazio: «l'origine dell'azione



23. Marcos Novak, "Liquid Architecture", in Michael Benedikt (a cura di), *Cyberspace, First Steps*, MIT Press, Cambridge (MA), 1993.

24. Cfr. Carlo, *The Digital Turn in Architecture*, op. cit.

25. K. Jormakka, *The Flying Dutchman. Motion in Architecture*, Birkhäuser, Basilea 2002, p. 65.

26. Ivi, p. 67.

in basso: ONL, *Ground Zero*, 2002

«Our proposal for Ground Zero is an openly programmable architecture of self-executing emotional states that is fully adjustable in shape and content. We propose the concept of an *e-motive* architecture that would be without precedent. [...] This emotive architecture would be ready to adjust to different cultural structures and events and able to adapt to a rich variety of uses. Our e-buildings not only respond to different circumstances but actively propose new configurations. This architecture would propagate both commercial and non-profit content, this e-motive architecture would at the same time embody beauty, local pride and global awareness».

«La nostra proposta per Ground Zero è un'architettura aperta e programmabile sulla base di stati emotivi automatici, completamente trasformabile per forma e contenuto. Proponiamo il concetto di un'architettura *e-motive* senza precedenti. [...] Questa architettura emotiva sarebbe pronta ad adattarsi a diverse strutture ed eventi culturali e capace di adattarsi ad una ricca varietà di usi. I nostri *e-building* non solo rispondono a diverse circostanze ma propongono attivamente nuove configurazioni. Questa architettura diffonderebbe sia contenuti commerciali che no-profit, e incarnerebbe allo stesso tempo bellezza, orgoglio locale e consapevolezza globale».

in architettura [...] è esattamente tra il corpo [dell'uomo] e l'ambiente circostante. Ciò non significa soggetto *versus* oggetto, ma una miscela interattiva tra i due. Parte dell'azione è nell'oggetto e quando l'oggetto è animato lo è anche il corpo.»²⁷. In queste esperienze, l'interattività ha riguardato dunque l'esplorazione di un ambito in cui i cinematismi sono perlopiù impalpabili: cambiamenti di colori, suoni, luci, in un flusso destabilizzante e deliberatamente provocatorio che generino un'atmosfera specificatamente progettata che rifugge dal caso e che pare imporre sull'utente modalità esperienziali alternative e peculiari; ovvero, per dirla con le parole di Gordon Pask, *esteticamente potenti*: «Un ambiente esteticamente potente (*aesthtically potent environment*) è un ambiente di qualsiasi tipo (sonoro, come nella musica, verbale, visivo, tattile) di cui le persone possono godere e che serve a modellare la loro esperienza di godimento dello spazio. Un artista può chiaramente progettare e plasmare un tale ambiente (come già fa componendo musica, costruendo una casa o dipingendo un quadro) e, nel far ciò, comunica un messaggio. La qualità della "potenza estetica", tuttavia, anche se determina la cornice di riferimento in cui tale comunicazione artistica può avere luogo, è essenzialmente derivata dalla relazione tra l'ambiente e chi osserva o ascolta. Un *ambiente esteticamente potente* incoraggia l'ascoltatore o l'osservatore a esplorarlo per imparare di più su di lui [...] inoltre, esso guida la sua esplorazione; in un certo senso, permette la sua partecipazione nell'ambiente stesso»²⁸.



27. Lars Spuybroek, "Motor Geometry", in Stephen Perrella (a cura di) "Hypersurface Architecture", *Architectural Design*, n. 48, 1998, pp. 49-55.

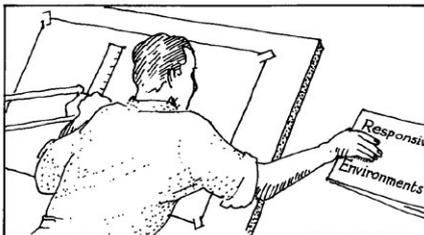
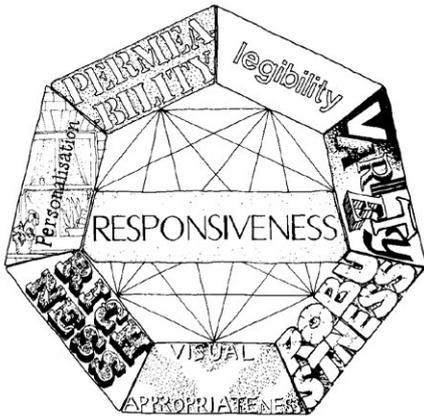
28. Gordon Pask, "The Colloquy of Mobiles", in Reichardt, *op. cit.*, p. 34.

Architettura Responsiva

«Responsive is used to speak of how natural and artificial systems can interact and adapt. While that traditional definition is included here, we also want to include conscious action».

Philip Beesley, *Responsive Architectures Subtle Technologies*, 2010

Nel 1985, il gruppo di studiosi e architetti Ian Bentley, Alan Alcock, Paul Murrain, Sue McGlynn, Graham Smith pubblicò *Responsive Environments: A Manual for Designers* con l'intenzione di diffondere un manuale di progettazione urbana tra gli studenti. Nel libro, breve e conciso, vengono tratteggiate le vicende del fallimento del moderno secondo gli autori rintracciabili nella scarsa attenzione alla possibilità di una forma *responsiva* in favore di un'ideologia del progresso non sufficientemente attuata: «Ci occupiamo di quelle aree del progetto che più spesso sembrano essere soggette a errore. [...] Siamo interessati alle cause delle critiche poste all'architettura moderna e alla progettazione urbana, giudicate sempre più inumane e repressive, nonostante gli alti ideali sociali e politici condivisi dagli architetti di questo secolo. La tragedia del progetto moderno [...] sta nel fatto che i progetti non hanno mai tentato di compiere uno sforzo comune per la risoluzione formale dei loro ideali sociali e politici. [...] La forma [...] era un prodotto secondario delle attitudini progressiste e politiche. Nell'assumere questa posizione, paradossalmente, gli architetti fallirono nel realizzare che l'ambiente umano è un sistema politico a pieno titolo [...] sono le caratteristiche fisiche che governano la possibilità di cosa si può o non si può fare. [...] La nostra idea di partenza è che l'ambiente costruito debba fornire agli utenti *setting* essenzialmente democratici, arricchiti da una serie di opportunità che massimizzino le possibilità di scelta a loro disponibili. Chiamiamo questi luoghi *responsivi*»²⁹. Anche se applicato in un altro contesto operativo, quello del progetto urbano, e non immediatamente connesso ad un'idea di movimento, il concetto di *responsività* presentato dagli autori raccoglie l'eredità dello spirito critico degli anni Sessanta e Settanta di necessità di rinnovamento dell'architettura contemporanea e ne sintetizza un tratto fondamentale: costruire una rinnovata relazione tra uomo e ambiente a partire dalla forma dello spazio in cui vive e opera³⁰. Anticipando temi che verranno affrontati nei decenni successivi alle sue riflessioni, Nicholas Negroponte fu tra i primi ad utilizzare il termine *responsivo* in riferimento all'architettura per indicare il «prodotto naturale dell'integrazione della potenza computazionale in strutture e spazi costruiti»³¹, prospettando quindi il comune accordo tra elementi fisici dell'architettura e capacità di calcolo del computer, ma in maniera *naturale* e governabile. L'assoggettamento del potere computazionale per gestire la



sopra: Bentley et al., diagramma delle categorie che compongono la responsività, 1985

«The design of a place affects the choices people can make, at many levels:

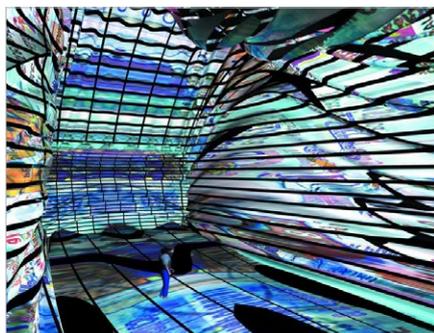
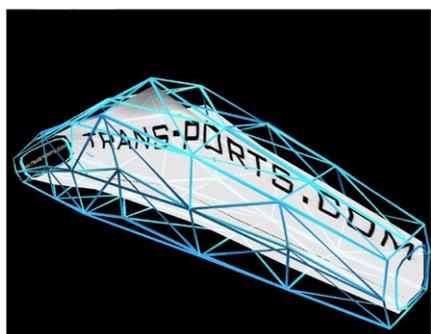
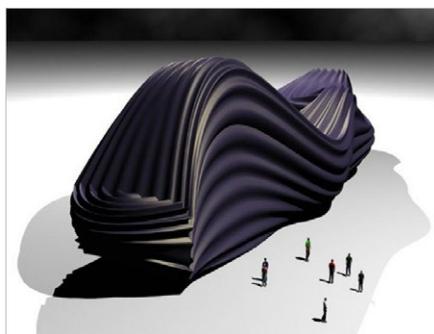
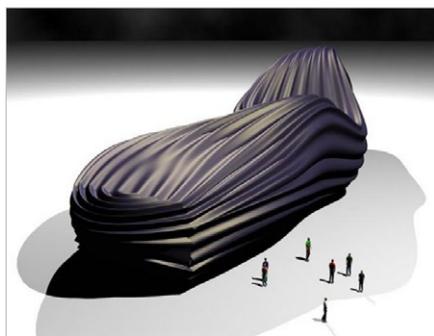
- it affects where people can go, and where they cannot: the quality we shall call *permeability*;
- it affects the range of uses available to people: the quality we shall call *variety*;
- it affects how easily people can understand what opportunities it offers: the quality we shall call *legibility*;
- it affects the degree to which people can use a given place for different purposes: the quality we shall call *robustness*;
- it affects whether the detailed appearance of the place makes people aware of the choices available: the quality we shall call *visual appropriateness*;
- it affects people's choice of sensory experiences: the quality we shall call *richness*;
- it affects the extent to which people can put their own stamp on a place: we shall call this *personalisation*.

This list is not exhaustive, but it covers the key issues in making places *responsive*».

29. Ian Bentley et al., *Responsive Environments: A Manual for Designers*, The Architectural Press, Londra 1985, p. 9.

30. Si veda Larry D. Busbea, *The Responsive Environment. Design, Aesthetics, and the Human in the 1970s*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2019.

31. T. d'Estrée Sterk, "Building Upon Negroponte: A Hybridized Model of Control Suitable for Responsive Architecture", in *eCAADe 21 Digital Design*.



sopra: ONL, *Trans-Ports*, Biennale di Architettura di Venezia, 2000

risposta *controllata* dell'architettura rappresenta una delle caratteristiche fondamentali a cui hanno teso alcune sperimentazioni progettuali alla ricerca di un'architettura responsiva. Scrive Kepes: «l'architettura sta definitivamente allontanandosi dalla sua tradizionale concezione di forma discreta, autonoma, pesante e solida che appaga soltanto la vista e si sta evolvendo in una struttura responsiva, incorporea, dinamica e interdependente capace di rispondere ai bisogni mutevoli dell'uomo e alla sua necessità di controllo»³². Se in una prima fase tale aspirazione rimase principalmente speculativa e non effettivamente realizzata, le nuove possibilità prospettate dall'avvento dei computer in architettura sospinsero il fenomeno nella più ampia rivoluzione estetico-culturale della prima *digital turn*: la responsività sembrò più vicina e realizzabile. L'architettura digitale, in trasformazione, mutevole, in perenne cambiamento, assume la responsività come una vocazione sommersa ma sempre presente.

Tra i primi progetti che esemplificano il rapporto tra cinematismi, responsività e governabilità del processo, *Trans-Port* (1998-2001) di Kas Oosterhuis si configura come un padiglione multifunzionale in grado di ospitare una varietà potenzialmente infinita di usi: un sistema pneumatico tende e contrae una superficie di rivestimento in gomma – un sistema muscolare con il suo tegumento – un *blob* da trasformare a seconda delle esigenze degli utenti. Oosterhuis descrive il suo progetto come «un corpo vivente [...] che assorbe i materiali e il flusso liquido degli utenti, che pulsa dall'interno all'esterno [...] dove esperire la consistenza di altre forme di vita che vivono a un ritmo completamente diverso»³³. Come evidenziato da Jormakka, in *Trans-Port* permane la fissità della forma sull'effettiva capacità di interazione e movimento. La cinetica in atto sembra non essere ancora in grado di scalfire la sua "oggettività", ma anzi rendere in maniera caricaturale le premesse rivoluzionarie che l'avvento dell'elettronica avrebbe dovuto portare all'architettura³⁴. Nei suoi progetti successivi, Oosterhuis provò a superare tali limiti con *NSA Muscle*³⁵, presentato alla mostra *Architectures non-standard* (2003-2004) tenuta al Centre de Pompidou a Parigi, e diventato una delle architetture manifesto della prima rivoluzione digitale³⁶: un esoscheletro in movimento di elementi tubolari in plastica e metallo che tendono un tessuto plastico gonfiabile. *NSA Muscle* utilizza un particolare giunto pneumatico che collega le sue parti, il *muscular joint*, prodotto dall'azienda Festo, in grado di far espandere e contrarre lo spazio della stanza, rendendola «malleabile, dinamica, in deformazione»³⁷. I cinematismi che l'*NSA Muscle* mette in moto sembrano non corrispondere a nessun tracciato geometrico preciso, prediligendo un movimento che coinvolge l'intero volume cinto dalla pelle della stanza. Gli stimoli prodotti dagli osservatori vengono rilevati da una serie di sensori di prossimità, che

32. Gyorgy Kepes, "Art and Ecological Consciousness", in Id., *Arts of the Environment*, George Braziller, New York 1968.

33. Cit. Kas Oosterhuis, in Jormakka, *op. cit.*, p. 20.

34. Ivi, p. 21.

35. Greg Lynn, Kas Oosterhuis, *NSA Muscle*, Canadian Centre for Architecture, Montréal 2014.

36. Lynn, Oosterhuis, *op. cit.*

37. Ivi, p. 9.

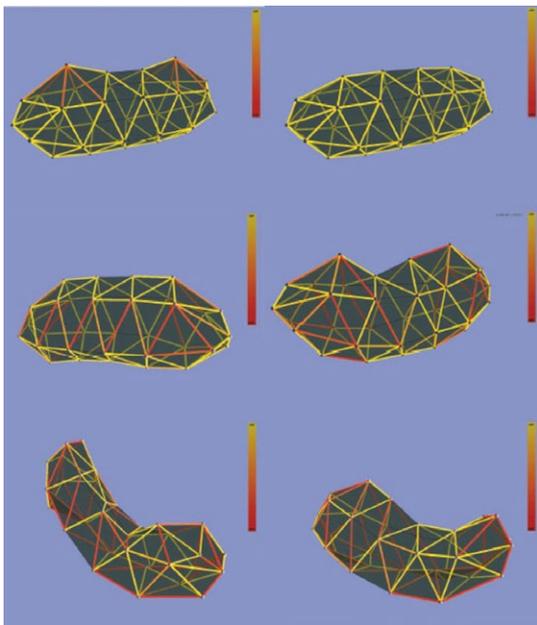
sotto: ONL, Esempi di movimento simulati con il software "Virtools", *NSA Muscle*, 2003

in basso a destra: ONL, *NSA Muscle* alla mostra "Architectures non standard", 2003

«The pressure inside the inflatable volume and the tension in the (pressurized) tensile muscles changes accordingly to the programmed behaviour. This describes three degrees of activity: 1) bored (low activity), 2) happy (high activity), and 3) nervous (hyper-activity). The degree of activity the *Muscle* exhibits is correlated to the input coming from people in its next proximity. [...] the muscle movements are, in fact, responses to external inputs coming from people moving around and interacting with the muscle. infrared motion and proximity sensors detect people movements in the surrounding area, prompting the muscle to react slightly, while touch sensors induce a stronger reaction».

«La pressione all'interno del volume gonfiabile e la tensione dei muscoli in trazione (pressurizzati) cambiano in base al comportamento programmato. Questo si basa su tre gradi di attività: 1) annoiato (bassa attività), 2) felice (alta attività), 3) nervoso (iperattività). Il grado di attività che *Muscle* esibisce è correlato all'input proveniente dalle persone nelle sue immediate vicinanze. [...] I movimenti di *Muscle* sono, infatti, risposte a input esterni provenienti da persone che si muovono intorno e interagiscono con il muscolo. I sensori di movimento e di prossimità a infrarossi rilevano i movimenti delle persone nell'area circostante, spingendo il muscolo a reagire più leggermente, mentre i sensori tattili inducono una reazione più forte».

trasferiscono gli input a un controller – acceso, spento, in stasi – in grado di tendere o rilassare i giunti pneumatici interconnessi tra loro. Di conseguenza, ogni piccola deformazione coinvolge a catena gli altri giunti, definendo così un'entità mai identica a sé stessa, «come il comportamento di uccelli in uno stormo [...] i nodi interagiscono tra loro scambiandosi informazioni»³⁸. In *NSA Muscle*, la definizione del movimento avviene in maniera non immediatamente controllabile, ma imprevedibile e apparentemente casuale: aumentando o diminuendo la pressione all'interno dei pistoni pneumatici, il controllo sull'accorciamento o sull'allungamento è stato progettato attraverso una serie di rilevazioni manuali sperimentali³⁹. L'aleatorietà del cinematismo è ciò che per Oosterhuis definisce la dinamica comportamentale nel rapporto tra l'uomo e gli spazi definiti dall'architettura in movimento: più importante della precisione negli spostamenti, in questo caso, è l'interazione che avviene tra loro. Sulla base di queste considerazioni, Oosterhuis elabora il concetto di responsività come autonomia comportamentale che una struttura cinetica può assumere: «se gli edifici possono diventare attivi e se le loro azioni vengono connesse a un database, ecco allora che cominciano a sviluppare un sistema per agire autonomamente. Non dovranno più resistere a delle deformazioni ma si trasformeranno in tempo reale per creare delle specifiche configurazioni, legate alle differenti specificità d'uso»⁴⁰. L'autonomia di un sistema responsivo non implica tuttavia una perdita di controllo da parte del progettista: «ciò che facciamo come architetti è determinare l'ampiezza delle deformazioni. Non possiamo prestabilire alcuna configurazione specifica, né un suo contenuto fisico, così come in quello informativo [...] La reattività in tempo reale e la possibilità di riconfigurazione producono nuovi comportamenti all'interno dell'architettura. L'interazione tra utenti ed edifici si trasforma allora in un'esperienza dinamica attraverso interfacce



38. Ivi, p. 20.

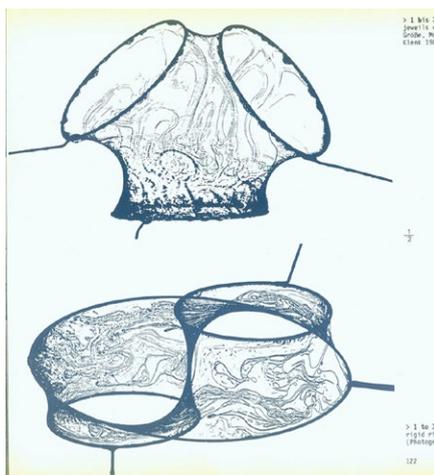
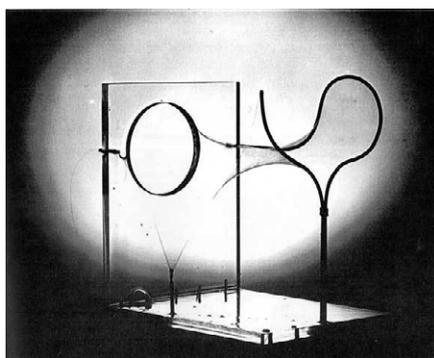
39. Ivi, p. 26.

40. Ibid.

in basso: Frei Otto/ILEK, modelli di studio in sapone e rilievi, 1961/1987

«We wanted to know how the world of animate and inanimate nature came to exist, how its forms developed and which constructions hold these forms together or modify them. We wanted to know whether our bold assertion "In the beginning was the pneu" was really true and if this lightest of all light weight structures did indeed lead to a preliminary stage of life and finally to the algae and bacteria and everything that followed. We wanted to learn about nature and understand its creation a little more».

«Volevamo conoscere le origini del mondo della natura animata e inanimata, come si sono sviluppate le sue forme e quali costruzioni tengono insieme queste forme o le modificano. Volevamo sapere se la nostra audace affermazione "In principio era lo pneu" fosse davvero vera e se questa struttura, più leggera di tutte le strutture leggere, abbia effettivamente portato a uno stadio preliminare della vita e infine alle alghe e ai batteri e a tutto ciò che ne è seguito. Volevamo conoscere la natura e capire di più della sua creazione.».



trasparenti»⁴¹. Per Philip Beesley, il termine *responsivo* descrive qualunque rapporto di interdipendenza tra un sistema cinetico e l'ambiente esterno: «*responsive* is used [...] to speak of how natural and artificial systems can interact and adapt. [...] While that traditional definition is included here, we also want to include *conscious action*»⁴². Il concetto di *responsività*, come già introdotto da Oosterhuis, integra quello di *interattività* aggiungendo un ulteriore grado di complessità: l'azione conscia e consapevole del sistema in grado di rispondere ad input esterni. Ciò implica la necessità di collaborazione fra vari sistemi: un *sistema nervoso*, "cervello" calcolatore, in grado di interpretare segnali elettronici; un *sistema recettivo* di sensori, che intercetta le sollecitazioni per tradurle in reazioni fisiche; un *sistema scheletrico e muscolare*, ovvero i meccanismi che concretamente realizzano il movimento. L'analogia tra sistemi naturali e sistemi architettonici presuppone la possibilità di un movimento cinetico. Tale fascinazione verso i sistemi naturali affonda le sue radici nel concetto di *biotechnique* proposto da Frederick Kiesler nel 1934, inteso come «l'interrelazione di un corpo e il suo ambiente: spirituale, fisica, sociale e meccanica»⁴³ amplificata dalla «capacità tipica che l'uomo ha sviluppato nell'influenzare la vita in una direzione da lui desiderata»⁴⁴. Il termine *biotechnique* fu sviluppato da Kiesler riprendendo il concetto di *biotechnics* utilizzato da Lewis Mumford per sottolineare la necessità di una nuova etica della macchina derivata da una forma di tecnologia responsiva. La *biotechnics* di Mumford avrebbe caratterizzato un periodo dell'architettura dove le macchine si sarebbero completamente integrate con l'uomo, risolvendone bisogni e desideri, in cui società e tecnologia avrebbero costituito un'entità indivisibile. Al di là delle possibili conseguenze distopiche di tale prospettiva⁴⁵, Mumford si dimostrò particolarmente critico dei tentativi di imitazione degli organismi viventi in termini meccanicistici: «le macchine sono contraffazioni poco convincenti degli organismi viventi [...] i nostri aeroplani più raffinati sembrano approssimazioni grezze e incerte se comparate con un'anatra che vola [...] i nostri più complessi telefoni automatici sembrano imitazioni infantili del sistema nervoso del corpo umano»⁴⁶. Nel concetto di *biotecnica* proposto da Kiesler, l'imitazione della natura non è presente come meta verso cui tendere. Essa consiste nella comprensione dei processi attraverso cui la natura costruisce sé stessa non per imitarli identicamente e riportarli nel dominio dell'uomo quanto per reinterpretarli e utilizzarli. Il campo della biologia è sempre più spesso utilizzato come fonte di ispirazione per l'architettura⁴⁷. Nel 1971, Frei Otto scriveva che «the relationship between biology and building is now in need of clarification due to real and practical exigencies. The problem of environment [...] is a biological problem [...] not

41. La citazione è tratta da un'intervista rivolta all'architetto olandese nel 1999, da M. Brizzi, "Kas Oosterhuis. Il lato selvaggio dell'architettura", <http://architettura.it/files/19991100/> [22.05.2021].

42. Philip Beesley, J. Ruxton (a cura di), *Responsive Architectures Subtle Technologies*, Riverside Architectural Press, Cambridge 2006, p. 3.

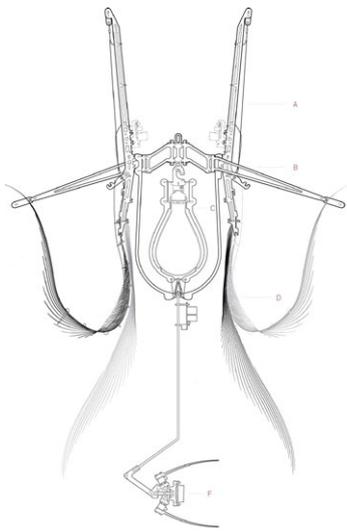
43. Frederick Kiesler, "Notes on Architecture: The Space-House" in *Hound & Horn*, gennaio-marzo 1934, p. 292.

44. Kiesler, *On Correalism*, op. cit., p. 67.

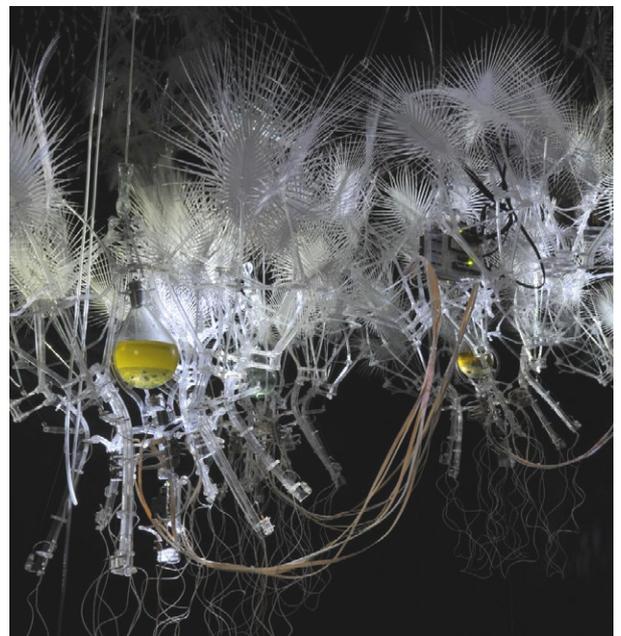
45. Cfr. Mark O'Connell, *Essere una macchina: Un viaggio attraverso cyborg, utopisti, hacker e futurologi per risolvere il modesto problema della morte*, Adelphi, Milano 2018.

46. Lewis Mumford, *Technics and Civilization*, Harcourt, New York 1934, p. 371.

47. Achim Menges, Michael Weinstock (a cura di), *Techniques and Technologies in Morphogenetic Design*, *Architectural Design*, n. 76, 2006.



only has biology become indispensable for building but building for biology»⁴⁸. Il *paradigma biologico*⁴⁹ informa il lavoro di alcuni architetti contemporanei, tra cui Beesley, Achim Menges, Nexi Oxman, Jenny Sabin, che intendono il progetto di architettura come parte di un più ampio ecosistema – naturale e artificiale – a cui far riferimento sia nella sua generazione formale che nella conformazione tecnologica. Le architetture respirano, si contraggono e si espandono lentamente, seguono i ritmi di un movimento non necessariamente legato a un funzione specifica, esemplificative di un modo di immaginare lo spazio architettonico come un luogo dove gli elementi fisici, la presenza dell'uomo e l'ambiente esterno stabiliscono una mutua relazione di scambio, in cui le diverse componenti dimostrano l'aspirazione progettuale all'auto-organizzazione e all'adattamento: «adaptation is clearly the key to long-range biological survival»⁵⁰. In alcune delle installazioni di Beesley è evidente tale approccio.



in alto: Philip Beesley, *Active filter with Protocell*, 2019
 sopra: Philip Beesley, *Noosphere*, 2019
 sopra a destra: Philip Beesley, *Hylozoic Ground*, 2010

Il progetto *Hylozoic Ground*, esposto in rappresentanza del padiglione canadese alla Biennale di Venezia 2010, è costituito da centinaia di microelementi cinetici fabbricati digitalmente e interconnessi in un intricato reticolo intessuto di acrilico trasparente a formare una rete artificiale di «fronde, filtri e vibrisse»⁵¹, arricchiti da sensori di prossimità e microprocessori in grado di attivare i cinematismi. Memore nelle sue premesse dell'opera Lev Nussberg, *Hylozoic Ground* è progettato come un organismo vivente composto da diversi sistemi organici – nervoso, circolatorio, respiratorio – che mette in scena una ricostruzione in vitro di un sistema naturale attraverso i mezzi forniti dalla recenti tecniche di *digital fabrication*. L'osservatore si trova così a partecipare emotivamente a una lenta trasformazione pseudo-naturale e perturbante, che assorbe, filtra ed emette

49. Hensel, M., Weinstock, M., Menges, A. *Emergent Technologies and Design. Towards A Biological Paradigm for Architecture*, Routledge, Abingdon 2010.
 50. D'Arcy W. Thompson, *On Growth and Form*, University Press, Cambridge 1917 tr. it. *Crescita e forma: la geometria della natura*, Boringhieri, Torino 1969.
 51. Philip Beesley, *Hylozoic Ground. Canadian Pavilion, Venice Biennale 2010 – Exhibition Catalogue*, Venezia 2010.

in basso: Philip Beesley, schizzo per *Grove*, Biennale di Venezia, 2021

«What is it that drives us to create "responsive architectures"? Perhaps it is a sense of empowerment and involvement that drives interactive technologies forward. Is it because as a society we are becoming more cerebral that we crave increased movement around us? We rely less and less on our bodies. While children previously spent much of their time running and jumping, they now spend more time making icons and characters run and jump on a screen with a flick of their fingers. Creating more efficient structures and machines will further reduce the necessity of the human body. At the same time, this increasingly cerebral culture provides increased capacity for understanding how human bodies work. The study of nature reveals an interconnected set of mechanisms guided by structural and chemical "intelligence". These systems are a potent model for how we can impart sensuality and kinesthetics in buildings and machines. The importance of these qualities seems to increase as our physical bodies fade».

«Cos'è che ci spinge a creare "architetture responsive"? Forse è un senso di emancipazione e di coinvolgimento che porta avanti le tecnologie interattive. È perché come società stiamo diventando sempre più cerebrali che desideriamo un maggior movimento intorno a noi? Ci affidiamo sempre meno al nostro corpo. Mentre prima i bambini passavano molto del loro tempo a correre e saltare, ora passano più tempo a far correre e saltare icone e personaggi su uno schermo con un movimento delle dita. La creazione di strutture e macchine più efficienti ridurrà ulteriormente la necessità del corpo umano. Allo stesso tempo, questa cultura sempre più cerebrale fornisce una maggiore capacità di capire come i corpi funzionano. Lo studio della natura rivela un insieme interconnesso di meccanismi guidati da un'"intelligenza" strutturale e chimica. Questi sistemi sono un modello potente per come possiamo imprimere sensualità e cinestetica in edifici e macchine. L'importanza di queste qualità sembra aumentare man mano che i nostri corpi fisici svaniscono».

luce attivandosi in una serie di configurazioni in cui la movimentazione cinetica è stimolata da interazioni esclusivamente locali, definite come «movimenti empatici» che si increspano in sciame di «valvole cinetiche e in onde peristaltiche»⁵². La materializzazione fisica dei micro-cinematismi avviene attraverso un'infrastruttura specificatamente deputata alla movimentazione, comune a tutte le architetture cinetico-responsive: un sistema di rilevamento dell'input, un calcolatore che processa i dati raccolti, un sistema di output che reagisce all'analisi degli input. Tra input e output deve intercorrere un lasso di tempo seppur minimo, e per essere considerato "intelligente" il sistema deve possedere capacità d'apprendimento nel tempo⁵³. Le installazioni di Beesley più recenti, come *Noosphere* e *Grove*⁵⁴, hanno prodotto avanzamenti in termini di fabbricazione; sono state allestite in spazi interni e protetti, testandone il potenziale in modalità controllata come sistemi aggiunti a un involucro architettonico esistente, capaci di modificarne qualità percettive e generando percorsi e spazi alternativi. Risulta da queste opere come la ricerca di una responsività dell'architettura continui a rappresentare un obiettivo da raggiungere attraverso una relazione olistica e multidimensionale tra uomo e ambiente, abilitata dalla cinetica, in uno scambio biunivoco che allo stesso tempo garantisca l'indipendenza dei sistemi coinvolti: *uomo, architettura e ambiente* come strutture vive, pensanti e caratterizzanti un nuovo paradigma verso cui tendere⁵⁵.



52. Ibid.

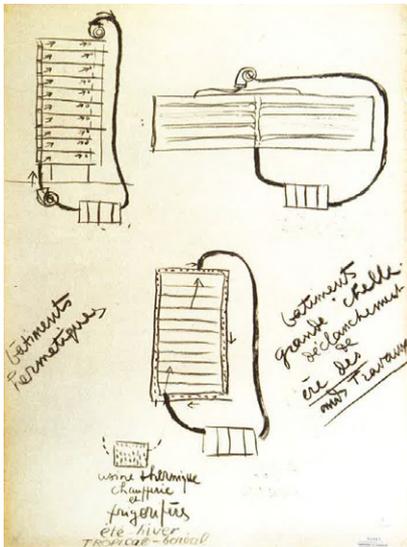
53. M. Wigginton, J. Harris, *Intelligent Skins*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2002.

54. Philip Beesley, *Noosphere*, Futurium Berlin, 2019; *Grove*, Biennale di Architettura di Venezia, 2021.

55. Cfr. Jenny Sabin, Peter Lloyd Jones (a cura di), *LabStudio: Design Research Between Architecture & Biology*, Routledge, Londra-New York 2017.

Architettura Performativa

«Whereas Kahn wanted to have an honest, if imaginary conversation with the self-conscious bricks about their compositional desires, architects must now interrogate cement about its degree of alkali-activation and embedded energy or CO2 emissions». Alejandro Zaera-Polo, *The Ecologies of the Building Envelope*, 2021



sopra: Le Corbusier, *Le Mur Neutralisant*, 1987

«...Multiplicity of climates, play of seasons, a break with secular traditions – confusion, disorder, and the martyrdom of man. I seek the remedy, I seek the constant; I find the human lung. With adaptability and intelligence, let's give the lung the constant which is the prerequisite of its functioning: exact air. Let's manufacture exact air: filters, driers, humidifiers, disinfectors. Machines of childish simplicity.

Send exact air into men's lungs, at home, at the factory, at the office, at the club and the auditorium: ventilators, machines so often used, but so often used badly!

Let's give man the solar rays which will penetrate the all-glass facades. But will be too hot in the summer and terribly cold in the winter! Let's create "neutralizing walls". (And "sun control")».

«Molteplicità di climi, gioco di stagioni, rottura delle tradizioni secolari – confusione, disordine e martirio dell'uomo. Cerco il rimedio, cerco la costante; trovo il polmone umano. Con adattabilità e intelligenza, diamo al polmone la costante che è il prerequisite del suo funzionamento: aria esatta.

Fabbrichiamo aria esatta: filtri, essiccatori, umidificatori, disinfezioni. Macchine di semplicità infantile.

Mandiamo aria esatta nei polmoni degli uomini, a casa, in fabbrica, in ufficio, al club e all'auditorium: ventilatori, macchine così spesso usate, ma così spesso usate male! Diamo all'uomo i raggi solari che penetreranno le facciate di vetro. Ma sarà troppo caldo d'estate e terribilmente freddo d'inverno! Creiamo dei "muri neutralizzanti". (E "controllo del sole")».

Il concetto di performance assume molteplici significati in architettura⁵⁶. Le origini del termine sono riconducibili al *milieu* culturale, sociale e tecnologico che si è evoluto a partire dagli anni Sessanta quando le utopie progettate nella stagione delle avanguardie radicali cominciarono a modellare l'immaginario intorno a un'idea di architettura che potesse offrirsi attraverso una serie di *atti performativi*. Da questo punto di vista, l'architettura performativa può essere definita come quella in grado di rispondere a «cambiamenti sociali culturali e tecnologici»⁵⁷ riformulando di volta in volta le sue premesse e lasciando emergere nuove istanze estetiche. Il crescente interesse sviluppatosi intorno al concetto di *performance* inteso come categoria progettuale è dovuto ai recenti sviluppi della tecnologia e all'emergere della sostenibilità come una caratteristica fondamentale da un punto di vista ambientale, sociale, economico ed estetico. L'architettura performativa, infatti, riesce a tenere insieme aspetti culturali, tecnologici e spaziali per formare una «rete di connessioni, un network di costrutti interrelati che si influenzano simultaneamente e continuamente»⁵⁸.

Il *modus operandi* dell'architettura performativa tiene sullo stesso livello le *prestazioni* che si intende ottenere da un certo tipo di forma, dalla sua configurazione e dal suo movimento, con la creazione delle forme stesse; la generazione formale *deriva* dagli aspetti performativi. È evidente come questo il processo progettuale performativo possa beneficiare delle tecnologie digitali di simulazione quantitativa e qualitativa, dell'approccio parametrico e del *form finding* per il progetto. «Senza dubbio l'edificio è un'opera tecnica ed estetica» scrive Leatherbarrow «ma è conosciuto come tale attraverso le sue lavorazioni, attraverso i suoi strumenti e attrezzature. Detto più chiaramente, l'edificio è gli effetti che produce, ed è conosciuto attraverso di essi, attraverso le sue azioni o prestazioni»⁵⁹.

La parte dell'architettura connotante i significati che il termine performance può assumere è l'involucro esterno nelle molteplici sfaccettature che può assumere: strutturali, morfologiche, geometriche, tecnologiche. Queste categorie sono tenute insieme dalla cinetica. I luoghi dove la performance si esplicita, infatti, sono «i meccanismi mobili dell'edificio. Si tratta di un innegabile tipo di "azione" in architettura, poiché alcune parti dell'edificio si muovono o si lasciano muovere [...] ognuno dei quali possiede un suo "intervallo di movimento" [...] che ne anticipano e regolano

56. Kolarevic, B. *Performative Architecture Beyond Instrumentality*, Taylor & Francis, Londra 2005.

57. Ibid.

58. Ibid.

59. David Leatherbarrow, "Architecture's Performance Unscripted" in B. Kolarevic, V. Parlac (a cura di), *Building Dynamics. Exploring Architecture of Change*, Routledge, New York 2008.

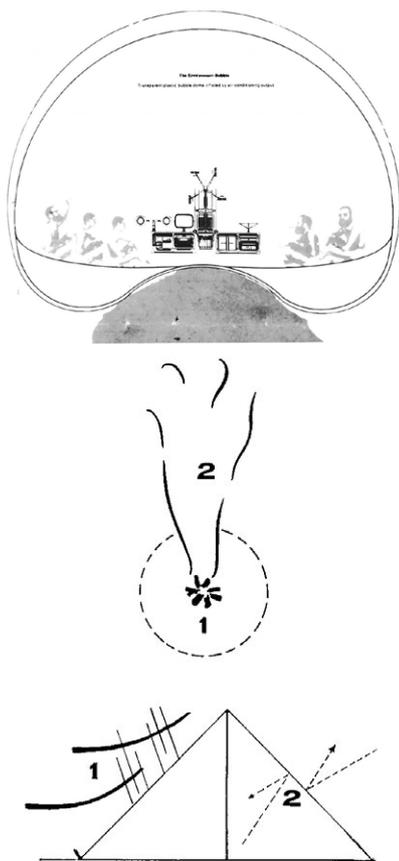
sotto: François Dallegret, *The Environmental Bubble*, illustrazione del saggio "A Home is not a House" di Reyner Banham, 1965

in basso: Reyner Banham, condizioni atmosferiche intorno a un fuoco da campo, 1966, 1) Zona di luce e calore radiante; 2) Scia di aria calda e fumo in direzione del vento. Reyner Banham, comportamento climatico di una tenda, 1966, 1) La membrana della tenda devia il vento e allontana la pioggia; 2) Riflette la maggior parte delle radiazioni, trattiene il calore interno, allontana il calore del sole, mantiene la privacy.

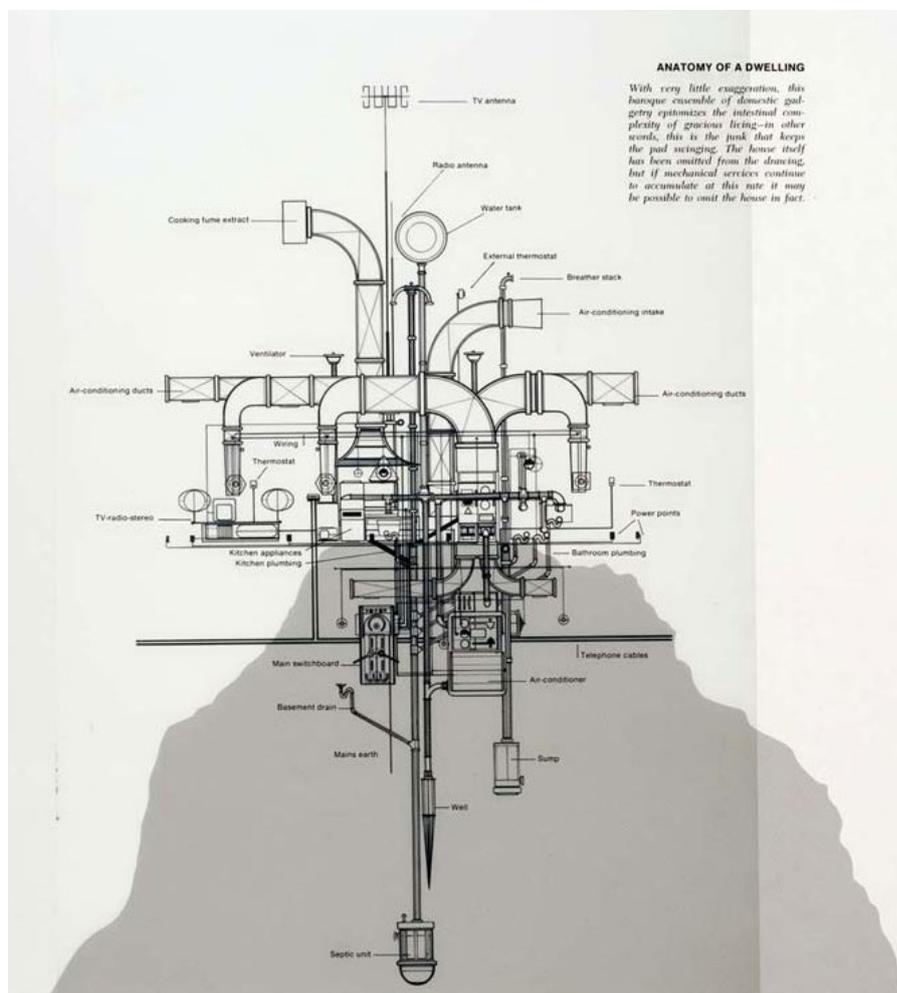
in basso a destra: François Dallegret, *Anatomy of a Dwelling*, illustrazione del saggio "A Home is not a House" di Reyner Banham, 1965

«To the man who has everything else, a standard-of-living package such as this could offer the ultimate goody - the power to impose his will on any environment to which the package could be delivered; to enjoy the spatial freedom of the nomadic campfire without the smell, smoke, ashes and mess; and the luxuries of appliance-land without those encumbrances of a permanent dwelling».

«Per l'uomo che ha tutto il resto, un pacchetto di standard di vita come questo potrebbe offrire la chicca definitiva: il potere di imporre la propria volontà a qualsiasi ambiente in cui il pacchetto possa essere consegnato; godere della libertà spaziale del fuoco da campo nomade senza l'odore, il fumo, la cenere e il disordine; e i lussi della terra degli elettrodomestici senza gli ingombri di una dimora permanente».



spostamenti e riposizionamenti»⁶⁰. Reyner Banham, nel suo testo "*The Architecture of the Well-Tempered Environment*" del 1969, ha proposto una lettura alternativa riguardante i sistemi di controllo ambientale negli edifici (sistemi di ventilazione meccanica, illuminazione e condizionamento)⁶¹, mettendo in discussione la presenza «massiva e permanente»⁶² dell'architettura in favore di strutture responsive e funzionali, in quanto «le società [...] prescrivono la creazione di *ambienti adeguati* alle attività dell'uomo»⁶³. Per Banham, il controllo dell'ambiente esterno ha caratterizzato l'architettura fin dalle sue origini: «man started with two basic ways of controlling environment: one by avoiding the issue and hiding under a rock, tree, tent, or roof (this led ultimately to architecture as we know it) and the other by actually interfering with the local meteorology, usually by means of a campfire, which, in a more polished form, might lead to the kind of situation now under discussion. Unlike the living space trapped with our forebears under a rock or roof, the space around a campfire has many unique qualities which architecture cannot hope to equal, above all, its freedom and variability»⁶⁴. Negli ultimi anni la



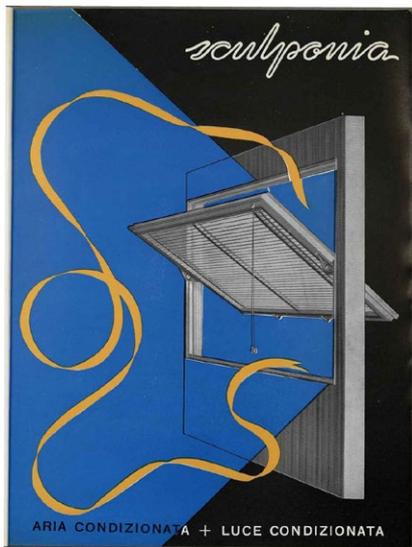
60. Ivi, p. 12.

61. Reyner Banham, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, University of Chicago Press, Chicago 1966.

62. Ivi, p. 21.

63. Ibid.

64. Reyner Banham, "A Home is not a House", in *Art in America*, vol. 2., 1965, p. 75.

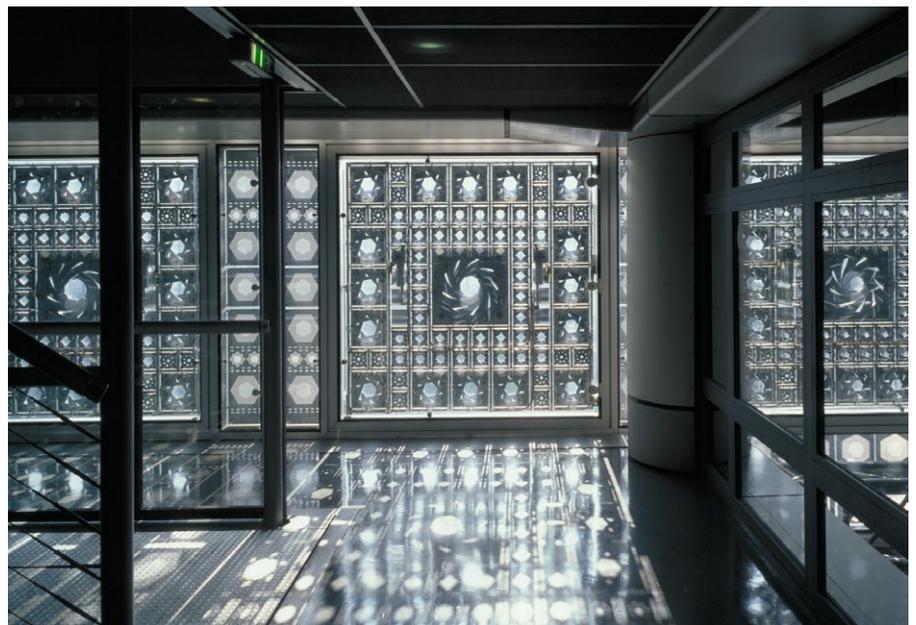


sopra: Annuncio pubblicitario per un serramento mobile nel numero 6 di *Spazio*, rivista edita da Luigi Moretti, 1951-1952

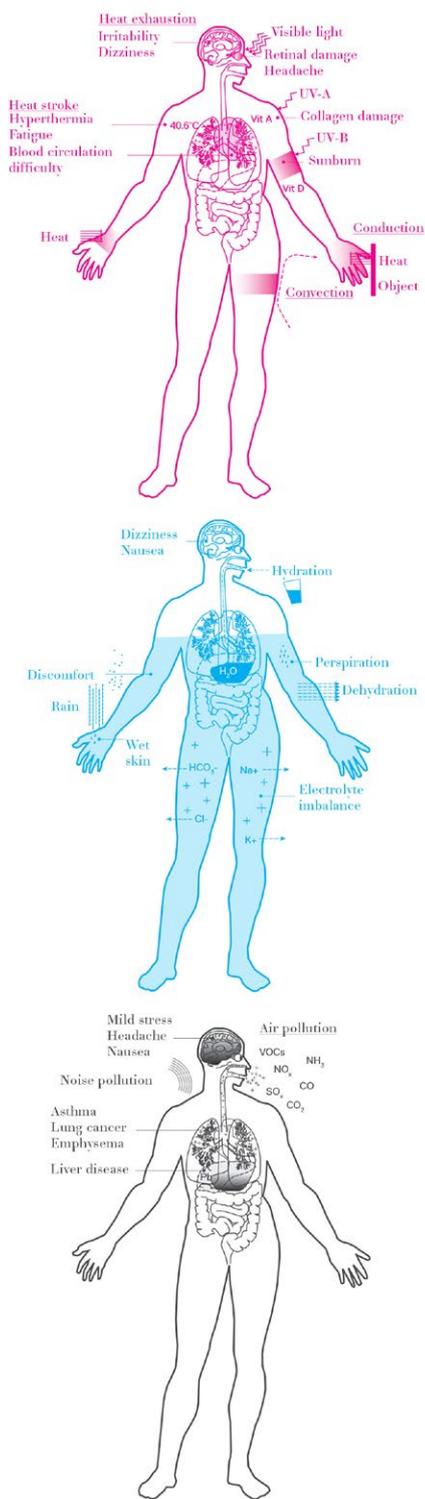
sotto: Foster+Partners, Thomas Heatherwick, *Bund Finance Centre*, 2017

in basso: Jean Nouvel, *Institute du Monde Arabe*, 1987

crescente consapevolezza verso il cambiamento climatico e le rapide trasformazioni che subisce il nostro ambiente naturale, hanno avviato sperimentazioni e ricerche su possibili integrazioni che modificassero l'involucro edilizio per ottenere una maggiore performatività in chiave sostenibile. I sistemi per il controllo della radiazione luminosa, ad esempio, rappresentano un tema particolarmente esplorato in letteratura e nella pratica costruttiva⁶⁵. Le possibilità estetiche offerte tali sistemi riguardano principalmente gli effetti del cambiamento della luce sullo spazio, evocando atmosfere diverse a seconda della maggiore o minore apertura nei vari momenti del giorno. Il disegno dei componenti in sé, invece, risponde nella maggior parte dei casi all'espressione funzionale della tecnologia che abilita il movimento, che può essere integrata nel sistema di facciata o aggiunta successivamente. Un esempio molto discusso è l'*Institute du Monde Arabe* (1987) progettato da Jean Nouvel a Parigi, noto per il suo sistema di facciata ispirato alle *mashrabiyya* arabe. Impostato su una maglia quadrata, 240 pannelli vetrati accolgono al loro interno un complesso apparato cinetico che consiste in un'apertura circolare posta al centro di una serie di aperture più piccole disposte intorno ad essa a formare una griglia regolare. Il cinematismo avviene attraverso un sistema simile agli otturatori degli apparecchi fotografici: delle lamelle in metallo scorrono l'un'altra per richiudersi tangenzialmente per controllare la luce proveniente dall'esterno. Una serie di sensori invia le informazioni a un centro di controllo che opera i motori di ogni singolo meccanismo, così da generare pattern e livelli di permeabilità visiva variabili. Effetti spaziali simili ma prodotti con un sistema relativamente meno elaborato si trovano nel più recente *Bund Finance Centre* (2017) a Shanghai, progettato da Foster+Partners e Thomas Heatherwick. Il volume aggettante dal nucleo centrale fa da copertura allo spazio centrale e contiene binari in acciaio su cui sono agganciati tre



65. Zeinab el Razaz, "Sustainable Vision of Kinetic Architecture", in *Journal of Building Appraisal*, vol. 5, 2010, pp. 341-356.



sopra: Philippe Rahm, Diagrams for the winning entry of the *Phase Shift Park* (Taichung), 2011

diaframmi concentrici realizzati con tubolari in metallo distanziati per poter far filtrare la luce all'interno. Le tre schermature scorrono l'una sull'altra, sovrapponendosi e generando diversi gradi di opacità e affacci sulla piazza e sul fiume. La lenta movimentazione cinetica produce riflessi e filtra i rumori della città all'interno, contribuendo al carattere di quest'architettura, iconica ma adeguata al contesto fisico della metropoli cinese. Anche in questo caso la specificità dell'elemento cinetico è demandata alla reinterpretazione di elementi tradizionali dell'architettura locali come l'incannucciata in bambù. Al di là degli aspetti puramente tecnologici, l'interesse del cinematismo prodotto dall'architettura di Foster e Heatherwick sta nella sua capacità di produrre un'atmosfera specifica, variabile ed evocativa, che di preservare la sua immagine urbana di grande *canopy* in grado di trasformarsi per accogliere configurazioni diverse. La superficie esterna, oltre ad assurgere a elemento espressivo rappresentativo dell'intero edificio, si configura come un elemento in grado di condensare nella sua capacità performativa un certo livello di *agency*: «La maggior parte delle *performance* che un involucro racchiude si relazionano con il modo in cui un edificio è capace di delimitare, distorcere e condurre i flussi di elementi naturali per conseguire un livello di *agency* ambientale – e quindi politica»⁶⁶. La gestione dei flussi di parametri ambientali consente la produzione di un'architettura che Philippe Rahm definisce «metereologica»⁶⁷: le tre modalità di trasmissione del calore – *conduzione*, *convezione* e *irraggiamento* – ad esempio, sono in grado di «modificare la forma dello spazio»⁶⁸ in base alla loro irreggimentazione nel sistema cinetico. «Alla scala allargata, l'architettura metereologica esplora le potenzialità atmosferiche e poetiche delle nuove tecniche costruttive per la ventilazione, il riscaldamento, il rinnovo dell'aria e l'isolamento. A livello microscopico, sonda un campo originale legato alla percezione [...] l'architettura deve costruire scambi sensoriali tra il corpo e lo spazio e nuovi approcci estetici in grado di determinare cambiamenti a lungo termine della forma e al modo di abitare nel futuro»⁶⁹. L'architettura metereologica è definita da una serie di forze ambientali che si organizzano all'interno del progetto in una logica sistemica. Una modifica di anche una sola delle varie *pressioni* che agiscono sulla forma avrà effetto su tutto il sistema. In natura ciò è particolarmente evidente. Zuk e Clark sottolineano quest'aspetto citando alcuni esempi dal mondo naturale, specialmente nel rapporto tra materiali inerti e forze quali il vento o la pioggia. La formazione delle dune nei deserti è il risultato della pressione *diretta* del vento sulla sabbia che è «ever-changing, ever-moving»⁷⁰, caratteristica precipua dei sistemi dinamici naturali, in grado autoregolarsi. La teoria dell'auto-organizzazione dei sistemi è stata applicata alle strutture architettoniche, ai processi di *form finding* e alla ricerche più avanzate sui

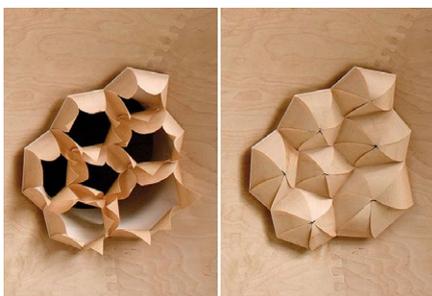
66. Alejandro Zaera-Polo, *The Ecologies of the Building Envelope*, Actar, Barcelona 2021, p. 21.

67. Philippe Rahm, *Architecture météorologique*, Archibooks, Parigi 2009.

68. Philippe Rahm, *Atmosfera Costruita*, Postmedia books, Milano 2014.

69. Rahm, *op. cit.*

70. Zuk, Clark, *op. cit.*, p. 6.



sotto: Achim Menges, *HygroSkin*, 2013

«Climate-responsiveness in architecture is typically conceived as a technical function enabled by myriad mechanical and electronic sensing, actuating and regulating devices. In contrast to this superimposition of high-tech equipment on otherwise inert material, nature suggests a fundamentally different, no-tech strategy. [...] This project employs similar design strategies of physically programming a responsive material system that requires neither extraneous mechanical or electronic controls, nor the supply of external energy. Here material computes form in unison with the environment. [...] This not only shows that the integration of material behaviour and design computation is no longer an idealized goal but a feasible proposition. It also demonstrates how focusing the computational design process on material behaviour rather than geometric shape allows an unfolding of performative capacities and material resourcefulness that expands the design space towards hitherto unexplored architectural possibilities».

«La responsività di un'architettura al clima è tipicamente concepita come un sistema di funzionamento tecnologico abilitato da una miriade di dispositivi meccanici ed elettronici di rilevamento, attuazione e regolazione. In contrasto con questa stratificazione di attrezzature *high-tech* su materiale altrimenti inerte, la natura suggerisce una strategia fondamentalmente diversa, *no-tech*. [...] Questo progetto impiega una simile strategia progettuale per programmare fisicamente un sistema materiale responsivo che non richiede controlli meccanici o elettronici esterni, né la fornitura di energia. Qui il materiale computa la forma all'unisono con l'ambiente. [...] Ciò non solo dimostra che l'integrazione tra comportamento dei materiali e calcolo computazionale non sia più un obiettivo idealizzato ma una proposta fattibile. Prova anche come concentrare il processo di progettazione computazionale sul comportamento dei materiali invece che sulla forma geometrica permetta un dispiegamento di capacità performative e di risorse materiali che espandono il campo del progetto verso possibilità architettoniche finora inesplorate».

materiali⁷¹. Nell'introdurre tale approccio in architettura, Achim Menges utilizza per la prima volta il termine *performatività* inteso come combinazione dei concetti di "forma" e "performance", intesa come la qualità dei sistemi materiali di *performare* attraverso una loro trasformazione fisica, causata dall'applicazione di un campo di forze attraverso la capacità di auto-organizzazione e di resistenza ad ulteriori sollecitazioni. Tale approccio comporta la fascinazione per i sistemi naturali realizzati attraverso pattern come le celle degli alveari o coralli, per materiali elastici e deformabili come tessuti, cavi, fogli di legno. «Il comportamento strutturale di questi materiali anisotropi, non omogenei e anelastici è stato fino a poco fa impossibile da controllare attraverso il calcolo»⁷² ma con l'avvento della modellazione digitale si è reso possibile mappare tali fenomeni e, di conseguenza, riprodurli con tecniche di fabbricazione digitale. Nel lavoro di Menges, l'interesse per gli aspetti biologici si è spostato dai modi con cui i diversi elementi coesistono tra loro alle proprietà della loro struttura fisico-chimica. L'esempio di *HygroSkin* dimostra questo approccio: sottili fogli di legno compensato, geometricamente disposti per incontrarsi in un unico punto, costituiscono le aperture sulla superficie esterna di un padiglione realizzato con blocchi convessi in legno ottimizzati digitalmente. I fogli generano il cinematismo espandendosi e contraendosi automaticamente in base alla quantità di umidità presente nell'aria, sfruttando le caratteristiche termo-igrometriche delle fibre organiche del legno. La responsività è in questo caso direttamente corrispondente a un valore misurabile, l'umidità relativa dell'aria, parametro indirettamente influenzato dalla presenza umana all'interno dello spazio che è in grado di incidere sulla forma e la dimensione delle aperture. Un'architettura "metereosensitiva" in cui l'ambiente esterno e lo spazio interno interagiscono attraverso il movimento innato del legno. Il materiale stesso viene così controllato e indirizzato a reagire solo al raggiungimento di specifiche condizioni igroscopiche, sfruttando l'anisotropia del legno senza l'utilizzo di componenti elettroniche o sensori. Inoltre, la maggiore o minore apertura dei fogli modifica le condizioni di luce all'interno, favorendo diverse gradazioni di illuminazione. In *HygroSkin*, la geometria delle componenti e l'atto cinetico sono subordinate alla composizione fisica del materiale, che diventa esso stesso «macchina»⁷³. La ricerca di questi architetti mette in luce determinati aspetti che sono stati essere esplorati per la realizzazione di elementi costruttivi e architettonici attivamente sostenibili, in grado di interagire con stimoli ambientali e umani senza rinunciare alle possibilità compositive che il movimento offre per la generazione di spazi e atmosfere in cambiamento. In questi termini, la ricerca della responsività passa dalla capacità dell'interazione umana o ambientale di generare una risposta diretta a uno stimolo applicato, attraverso l'azione conscia del sistema che performa.

A partire da queste posizioni, emerge la differenza tra *interattività*, *responsività* e *performatività*. Per Moloney, ad esempio, l'*Hyposurface* di

71. Hensel, Weinstock, Menges, *op. cit.*

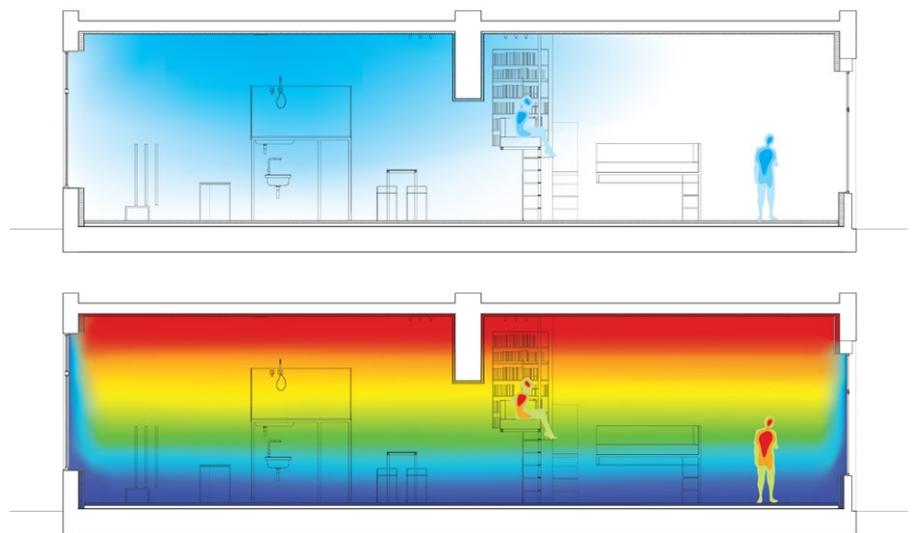
72. Carpo, *op. cit.*, pp 158-159.

73. O. Krieg et al. "HygroSkin - Meteorosensitive Pavilion", in *Fabricate*, UCL Press, Londra 2014.

«Climate change is forcing us to rethink architecture radically, to shift our focus away from a purely visual and functional approach towards one that is more sensitive, more attentive to the invisible, climate-related aspects of space. Slipping from the solid to the void, from the visible to the invisible, from metric composition to thermal composition, architecture as meteorology opens up additional, more sensual, more variable dimensions in which limits fade away and solids evaporate. The task is no longer to build images and functions but to open up climates and interpretations. At the large scale, meteorological architecture explores the atmospheric and poetic potential of new construction techniques for ventilation, heating, dual-flow air renewal and insulation. At the microscopic level, it plumbs novel domains of perception through skin contact, smell and hormones. Between the infinitely small of the physiological and the infinitely vast of the meteorological, architecture must build sensual exchanges between body and space and invent there new aesthetic philosophies approaches capable of making long-term changes to the form and the way we will inhabit buildings tomorrow».

«Il cambiamento climatico ci ha costretti a ripensare radicalmente l'architettura, a spostare la nostra attenzione da un approccio puramente visivo e funzionale a uno più sensibile, attento agli aspetti invisibili e climatici dello spazio. Dal solido al vuoto, dal visibile all'invisibile, dalla composizione metrica alla composizione termica, l'architettura come meteorologia apre a dimensioni aggiuntive, più sensuali, più variabili, in cui i limiti svaniscono e i solidi evaporano. Non si tratta più di costruire immagini e funzioni, ma di aprire climi e interpretazioni. Alla grande scala, l'architettura meteorologica esplora il potenziale atmosferico e poetico delle nuove tecniche di costruzione per la ventilazione, il riscaldamento, il rinnovo dell'aria a doppio flusso e l'isolamento. A livello microscopico, scandaglia nuovi domini di percezione attraverso il contatto con la pelle, l'odore e gli ormoni. Tra l'infinitamente piccolo del fisiologico e l'infinitamente vasto del meteorologico, l'architettura deve costruire scambi sensuali tra corpo e spazio e inventare li nuovi approcci filosofici ed estetici capaci di apportare cambiamenti a lungo termine alla forma e al modo in cui abiteremo gli edifici del domani».

dECOi Architects possiede un minor grado di responsività rispetto a *Hylozoic Ground* di Beesley o ad *Hygroskin* di Menges; nella superficie semovente progettata dal gruppo di Mark Goulthourpe, stimoli esterni, ambientali e non, non producono una reazione direttamente corrispondente. Piuttosto questi impulsi vengono immessi nel sistema di controllo e reinterpretati sulle base delle regole imposte al sistema stesso, modellate dal progettista, per produrre un cinematismo apparentemente casuale ma indirizzato⁷⁴. La luce in uno spazio, la sua temperatura, il suono che si riverbera al suo interno, così come il colore o la tessitura dei materiali che lo compongono sono aspetti legati alla percezione qualitativa di uno spazio e alla carica emotiva che esso possiede. È l'input, quindi, più che l'effettiva risposta del sistema, a qualificare l'atto cinetico come generatore di cambiamenti di stato, mettendo in connessione chi abita, attraversa o esperisce gli spazi che cambiano con le ragioni fisiche della propria modificazione. Attraverso la performatività, gli input traslano da una logica legata alla trasformazione di elementi ad una logica sistemica che vede nella possibilità del movimento modalità per riconnettere l'architettura al complesso sistema-ambiente naturale in perenne mutamento. La *performatività*, in definitiva, rappresenta la modalità espressiva attraverso cui la cinetica mette in scena le "pressioni" del nostro tempo.



in alto a destra: Philippe Rahm, *Evaporated Rooms*, sezioni, 2011

a destra: Philippe Rahm, *Convective Apartments*, rendering, 2010



74. Cfr. Moloney, *op. cit.*

III. Geometria e movimento

«With carbon
we have
traced the right angle
the sign
It is the answer and the guide
the fact
an answer
a choice
It is simple and naked
yet knowable
The savants will talk
of relativity and rigour
But conscience
makes it a sign
It is the answer and the guide
the fact
my answer
my choice»

Le Corbusier, Le Poeme de l'Angle Droit, 1955

L'applicazione della geometria all'architettura riguarda un campo di studi definito e ampiamente esplorato¹ dall'antichità ad oggi. Disciplina da sempre connaturata al progetto di architettura, base teorica e suo ambito applicativo, *dato* di conoscenza basilare, strumento necessario per la produzione di un linguaggio propriamente architettonico, la geometria rappresenta un campo privilegiato in cui l'architettura ha potuto inscrivere la sua azione formale attraverso la costruzione di un proprio linguaggio fatto di segni intelligibili che esprimessero le relazioni tra le parti e che, nel passaggio dalla tradizione orale alla *notazione* del disegno², possano essere trasposti in elaborati da trasmettere, infine, a chi si occuperà dell'ulteriore traduzione tra supporto comunicativo cartaceo e concreta realizzazione dell'opera. Geometria *descrittiva*, appunto, che governa il delicato processo di traduzione dalla prima idea di progetto fino all'architettura costruita³. La famiglia di forme stereometriche ottenibili attraverso i metodi tradizionali della geometria riguarda un numero finito di possibilità formali.⁴ Di queste, plurime variazioni ammissibili possono essere concepite tramite successivi procedimenti compositivi che

a destra: Albrecht Dürer, *Underweysung der messung mit dem zirckel un richt scheyt*, 1525

Mario Carpo, *The Alphabet and the Algorithm*, MIT Press, Cambridge (MA) 2011, p. 58.

«First, the eye of the observer is located at a mechanically fixed point. Then, somewhere between the eye and the object of vision, the picture plane – which Alberti had described as “an open window”, “transparent, and like glass” is replaced by a solid but translucent surface, a “veil,” which intercepts all visual rays connecting the eye and the object of vision, and where all points of intersection can be physically pinned down and marked or plotted. This creates on the veil a matrix of the picture, which must eventually be copied at the same scale, or proportionally enlarged or reduced, to be transferred onto the actual surface of painting».

«La prima operazione è situare l'occhio dell'osservatore in un punto fissato meccanicamente. Poi, circa a metà tra l'occhio e l'oggetto della visione, il piano dell'immagine – che Alberti aveva descritto come “una finestra aperta” “trasparente come vetro” – è sostituito da una superficie solida ma traslucida, un “velo”, che intercetta tutti i raggi visivi che collegano l'occhio e l'oggetto della visione, e dove tutti i punti di intersezione possono essere fisicamente fissati e segnati o tracciati. Ciò crea sul velo una matrice dell'immagine, che alla fine deve essere ricopiata in scala, o proporzionalmente ingrandita o ridotta, per essere trasferita sulla superficie reale del dipinto».



1. La geometria e lo studio delle sue regole applicate all'architettura attraversano innumerevoli testi e trattati a partire dal *De Architectura* di Vitruvio fino alla trattatistica rinascimentale e alla codificazione della geometria descrittiva come disciplina per l'architettura nel XVIII secolo. Per una panoramica sulla storia della disciplina si rimanda a G. Loria, *Storia della geometria descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri*, 1921.

2. Cfr. Pier Vittorio Aureli, “How We Became Architects”, in *The Real Review* 1, Spring 2016; James S. Ackerman, “Architectural Practice in the Italian Renaissance,” in *Distance Points: Essays in Theory and Renaissance Art and Architecture*, MIT Press, Cambridge (MA), and London 2004; Mario Carpo, *The Alphabet and the Algorithm*, MIT Press, Cambridge (MA) 2011.

3. Cfr. Alberto Calderoni, “Idea”, in *Appunti dal Visibile*, LetteraVentidue, Siracusa 2017, pp. 27-73.

4. Helmut Pottmann et al., *Architectural Geometry*, Bentley Institute Press, Exton 2007.

Mario Carpo, *The Alphabet and the Algorithm*, MIT Press, Cambridge (MA) 2011, p. 85.

«The notion of a cause-effect relationship between digital technologies and free form, or complex geometries [...] was built on a truism but generalized into a fallacy. True, without computers some of those complex forms could not have been designed, measured, and built. Yet digital tools per se do not necessarily impose those shapes. In fact, toward the end of the nineties, computers were routinely used by many unimaginative architects to design perfectly banal and unremarkable buildings, where the use of digital tools did not leave any visible trace. Why, then, did the theoretically savvy digital avant-garde of the nineties adopt and embrace, with almost unanimous enthusiasm, folds and blobs, rotundity and seamlessness, smoothness and continuity, and make of these purely visual tropes the diacritical sign of a new technical age? Only a dialectic relationship between technology and society can bring about enduring technosocial transformations—and with them, meaningful changes in architectural form. As a new course in architectural design, and in form-making processes, started to take shape in the late nineties, it is legitimate to wonder how, when, and why this happened, and to what extent the arguments that triggered these changes may have stood the test of time and still hold true to this day».

«La nozione di una relazione di causa-effetto tra le tecnologie digitali e la forma libera, o le geometrie complesse [...] è stata costruita su un'ovvietà ma generalizzata in una falsità. È vero, senza i computer alcune di quelle forme complesse non avrebbero potuto essere progettate, misurate e costruite. Ma gli strumenti digitali di per sé non impongono necessariamente quelle forme. Infatti, verso la fine degli anni Novanta, i computer erano abitualmente usati da molti architetti privi di immaginazione per progettare edifici perfettamente banali e irrilevanti, dove l'uso degli strumenti digitali non lasciava alcuna traccia visibile. Perché, allora, l'avanguardia digitale teoricamente esperta degli anni Novanta ha adottato e abbracciato, con entusiasmo quasi unanime, pieghe e macchie, rotondità e assenza di cuciture, morbidezza e continuità, e ha fatto di questi tropi puramente visivi il segno diacritico di una nuova era tecnica? Solo un rapporto dialettico tra tecnologia e società può portare a trasformazioni tecnosociali durature e, con esse, a cambiamenti significativi nella forma architettonica. Dato che alla fine degli anni Novanta ha iniziato a prendere forma un nuovo corso nella progettazione architettonica e nei processi di creazione delle forme, è legittimo chiedersi come, quando e perché ciò sia avvenuto, e in che misura le argomentazioni che hanno innescato questi cambiamenti possano aver superato la prova del tempo e siano ancora valide ai giorni nostri».

ne articolano la complessità volumetrica – riassunte sinteticamente da Ching in modifiche *dimensionali* e procedure di *addizione e sottrazione*⁵ – strutturandone relazioni e proporzioni sulla base di principi ordinatori tra le parti o gli elementi che la organizzano e il contesto fisico in cui si collocano. Come introdotto nella Parte I, dall'introduzione degli strumenti digitali in architettura, lo studio della geometria *generativa* ha cominciato a rappresentare un fertile campo di ricerca e sperimentazione per il progetto. Se il calcolatore elettronico era già in utilizzo dagli anni Sessanta, è a partire dagli anni Ottanta, con l'introduzione sul mercato di massa del *personal computer*, che tale strumento si diffuse anche in ambito architettonico⁶. In quel momento si cominciarono a proporre in maniera sistematica nuove applicazioni delle capacità di calcolo computazionale alla gestione di algoritmi complessi per la generazione di forme, aprendo ad una serie di esplorazioni di carattere formale – fino ad allora difficilmente gestibili con gli strumenti analogici – che riguardarono principalmente la possibilità di geometrie come superfici a doppia curvatura generate attraverso NURBS, la gestione di pattern di superficie piegate, fino al *form-finding* e alla ottimizzazione delle geometrie per l'ottenimento di strutture resistenti per forma⁷. A tal fine è risultato necessario per l'architettura intrecciare un dialogo con l'industria delle costruzioni. L'avvento delle macchine a controllo numerico sviluppate principalmente per l'industria automobilistica e aeronautica e successivamente applicate al settore delle costruzioni ha richiesto l'approfondimento di determinate soluzioni tecnologiche basate su algoritmi di calcolo che si adattassero a materiali specifici, con l'intenzione di concretizzare l'aspirazione alla complessità formale come nuovo paradigma estetico. Tecnologia e nuova espressione creativa cominciarono a formare un sodalizio indissolubile la cui prassi operativa, dall'idea alla costruzione, è governata dalla geometria generativa. Le procedure di razionalizzazione come la *tassellazione* di superfici, ovvero il processo per cui una forma continua si converte in una discreta, e il successivo passaggio in elementi effettivamente realizzabili attraverso il *paneling* – definito da Pottmann come «un approssimazione della superficie progettata attraverso un set di pannelli che possano essere prodotti utilizzando tecnologie specifiche»⁸ – mirano a «rispettare l'intenzione alla base del progetto per raggiungere il livello di qualità estetica attraverso la giustapposizione dei pannelli e la resa omogenea e uniforme della superficie»⁹ per giungere infine al concetto di *digital fabrication* e della stampa 3D di pezzi *custom*. La geometria si configura, quindi, come ambito in cui il progetto e la produzione industriale costruiscono un terreno comune di sviluppo. Gli avanzamenti nelle ricerche e nelle sperimentazioni condotte sulla cinetica in architettura presuppongono l'applicazione della geometria. La discretizzazione del movimento in una serie di variabili controllabili

5. Francis D. K. Ching, *Architecture. Form, Space, & Order*, Wiley, Hoboken 2014 (1ª ed. 1979).

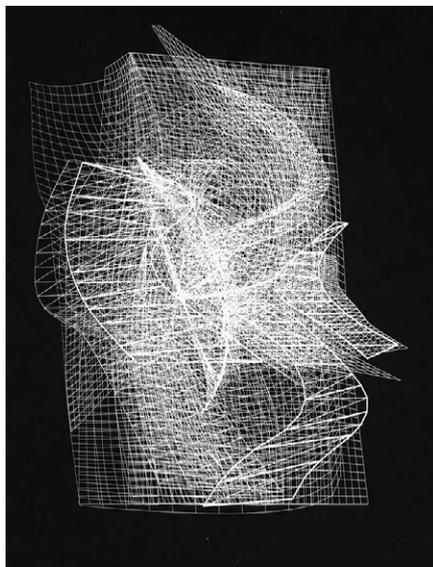
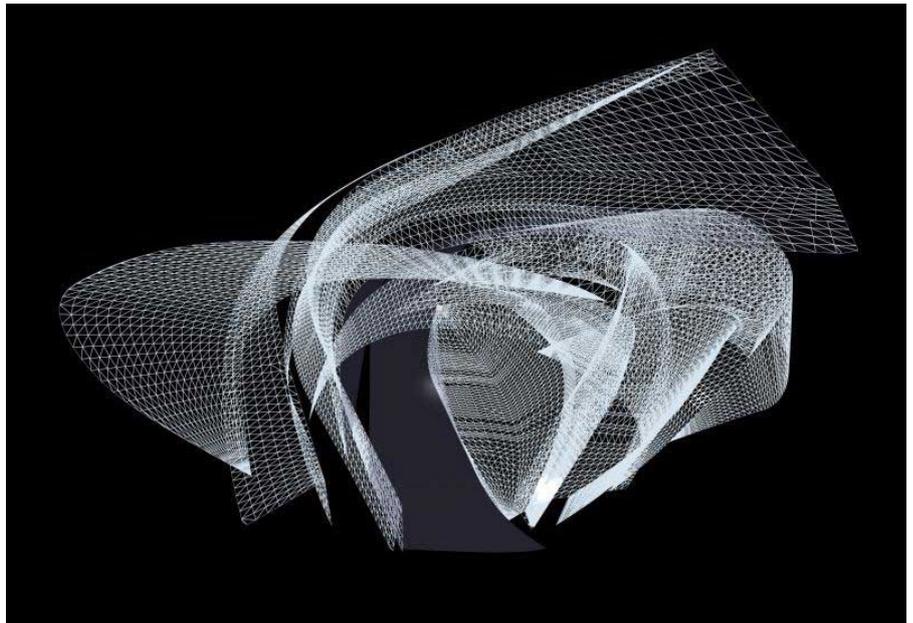
6. Cfr. Fankhänel, Lepik, *op. cit.*

7. Cfr. Emanuela Lanzara, *Paneling Complex Surfaces. Razionalizzazione di Superfici complesse per l'industrializzazione*, Tesi di Dottorato in Tecnologia dell'Architettura e Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente, Università degli Studi di Napoli "Federico II", XXVII Ciclo, 2015.

8. Cfr. Fankhänel, Lepik, *op. cit.*

9. M. Eigensatz et al. "Case Studies in Cost-Optimized Paneling of Architectural Freeform Surfaces", in C. Ceccato et al. (a cura di) *Advances in Architectural Geometry 2010*, Springer, Vienna 2010.

sopra: Peter Eisenman, concept per lo *Staten Island Institute for Arts and Science*, 1997-2001
in basso: Peter Eisenman, *Staten Island Institute for Arts and Science*, 1997-2001



attraverso il controllo meccanico di elementi ha interessato architetti che nel corso del XX secolo hanno approfondito particolari configurazioni geometriche che potessero rispondere ai *bisogni che cambiano* individuati da Zuk e Clark, come strutture dispiegabili, estensibili o trasportabili¹⁰. È possibile individuare due aspetti prevalenti che hanno caratterizzato il progetto di architetture cinetiche abilitate dall'applicazione delle regole della geometria¹¹. Il primo si occupa della generazione della forma attraverso il controllo geometrico di componenti meccaniche, con sistemi che prendono ispirazione dal mondo naturale¹², ed è il caso dello sviluppo di strutture controllabili attraverso trasformazioni geometriche che ha provocato l'interesse di figure come Frei Otto all'ILEK (*Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren*), Emilio Pérez Piñero, architetto spagnolo, e Santiago Calatrava con la sua tesi di dottorato difesa all'ETH di Zurigo *On the Foldability of Space Frames*¹³, e Chuck Hoberman, allievo di Buckminster Fuller. L'altro aspetto è invece individuato dal campo del *generative design* e fa riferimento alle forme complesse realizzate sulla conoscenza di pattern geometrici definiti, come nel caso degli *origami*¹⁴. Dalla tecnica artigianale di origine giapponese di piegatura della carta fino alla generazione parametrica di pattern di taglio e piegatura, l'ambito più generale delle superfici corrugate che resistono per forma rappresenta un campo in cui sono state indagate diverse soluzioni progettuali in molti casi realizzate¹⁵. Soggiacente a tali esplorazioni, l'aspirazione per la cinetica del movimento e la fascinazione per un'estetica formale della mutazione e del perenne cambiamento ricorrono come un tema comune a numerosi esempi.

10. Cfr. Musacchio, *op. cit.*

11. Cfr. E. Rivas Adrover, *Deployable Structures*, Lawrence King, Londra 2015.

12. *Ibid.*

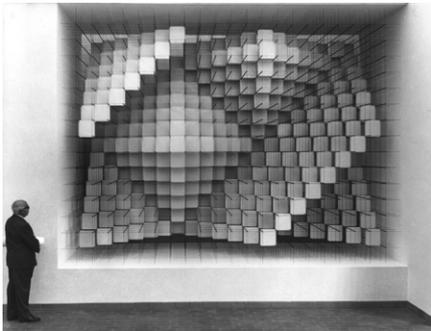
13. Alexander Tzonis, *Santiago Calatrava's Creative Process*, Birkhäuser, vol. I "Fundamentals", Basilea 2001; Alexander Tzonis, *Santiago Calatrava's Creative Process*, Birkhäuser, vol. II "Sketchbooks", Basilea 2001.

14. Osório, F., Paio, A., Oliveira, S., "Kinetic Origami Surface. From Simulation to Fabrication" in *Proceedings CAAD Futures 17*, 2017.

15. Cfr. Heino Engel, *Atlante delle Strutture*, UTET, Torino 2001, pp. 211-225.

Sistemi, strutture, geometrie

A partire dagli anni Sessanta, in parallelo con l'interesse generato dai nuovi sviluppi nella tecnica e nell'arte, alcune esperienze progettuali e ricerche sviluppate da una serie di architetti si sono occupate di esplorare le possibilità della realizzazione del movimento cinetico per elementi architettonici, edifici o parti di essi, specificando come questo possa essere abilitato e reso applicabile a determinati tipi di sistemi costruttivi e strutture complesse¹⁶. Il concetto di *sistema* e *struttura* in architettura assunsero particolare rilievo con l'avvento e lo sviluppo del calcolo elettronico a partire dagli anni del secondo dopoguerra. Architetti e teorici cominciarono a interessarsi di *pattern*: l'architettura doveva essere concepita come un'interazione di componenti variabili che avrebbero consentito la loro adattabilità al cambiamento nel tempo¹⁷. L'architettura come sistema prevedeva un funzionamento in cui «le parti hanno perso (o quasi) il loro significato, e il pattern logico o la struttura sono posseggono il vero controllo»¹⁸. La rapidità della produzione di massa di componenti identiche cambiò il modo in cui ci si approcciava non solo al progetto di architettura, ma in generale alla *creazione di oggetti*, all'atto creativo applicato alla trasformazione della materia da uno stato ad un altro; un fenomeno che attraversa e influenza tutti gli aspetti della società¹⁹. «Nel corso di questo secolo, l'attenzione degli scienziati si è mossa dal *semplice* al *complesso* [...] il concetto moderno di *struttura*, rimpiazza le vecchie concezioni di *atomismo* e *forma*»²⁰. In architettura, «il requisito fondamentale per il funzionamento dei sistemi è la ripetibilità dei componenti, che implica la coordinazione modulare comune tra progetto, produzione, assemblaggio e la determinazione geometrica delle parti. [...] L'aggregazione potenziale dei componenti è abilitata da una nuova comprensione dei pattern spaziali e dei ritmi che costituiscono la nuova cosmologia, o la nuova concezione delle leggi e della struttura dell'universo "architettonico"»²¹. Alle sue diverse scale, dall'arredamento, alla casa, fino a intere parti urbane, l'ambiente costruito fu reimmaginato come una commistione di sistemi complessi basati su logiche e regole precise attraverso cui l'uomo costruisce la sua relazione con lo spazio, evolvendo in un «ambiente responsivo»²² di cui l'architettura ne rappresenta l'interfaccia²³. A partire da tali premesse, l'esigenza di architetture trasformabili si riverberò nella produzione di elementi architettonici mobili, come ad esempio coperture adattabili e trasformabili, che coniugassero i vantaggi relativi al comfort climatico (ombreggiatura, protezione dagli



in alto: Enzo Mari, *Struttura 918*, 1968

sopra: Enzo Mari, *Oggetto a composizione autocondotta*, 1959

16. Musacchio, *op. cit.*, p.56.

17. Cfr. Christopher Alexander et al., *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*, Oxford University Press, New York 1977.

18. Jacob Bronowski, "The Discovery of Form" in Gyorgy Kepes, a cura di, *Structure in Art and in Science*, George Braziller, New York 1965, p. 59.

19. Cfr. Gyorgy Kepes, *The Man-Made Object*, George Braziller, New York 1966.

20. Lancelot L. Whyte, *Atomism, Structure and Form. A Report on the Natural Philosophy of Form*, in Kepes (a cura di), *Structure in Art and in Science*, *op.cit.*, p. 20.

21. Clara Olóriz, "Repetition as the Crystallization of a Design Method" in *MAS Context*, Issue 21, Spring 2014.

22. Cfr. REAL Lab, *Responsive Environments*, Actar, Barcelona 2021.

23. Picon, *op. cit.*, pp. 55-59.

«Retractable roofs are a central theme of adaptable architecture. Such coverings allow prompt reaction to changes in the weather by creating sheltered areas in a quick space of time. Back in the time of the Romans, huge manually operated shade sails, so-called vela, were already used for flexible shading of the amphitheatres, and umbrella-like constructions are among the oldest forms of retractable roofs. [...] The movement of the supporting structure indicates the functioning principle of an umbrella or parasol».

«I tetti retrattili sono un tema centrale dell'architettura adattabile. Tali coperture permettono di reagire prontamente ai cambiamenti del tempo creando aree riparate in un breve lasso di tempo. Già ai tempi dei romani, enormi vele d'ombra azionate manualmente, le cosiddette vela, erano utilizzate per l'ombreggiamento flessibile degli anfiteatri, e le costruzioni simili agli ombrelli sono tra le forme più antiche di tetti retrattili. [...] Il movimento della struttura portante indica il principio di funzionamento di un ombrello o parasole».



sopra: Frei Otto, copertura delle rovine del monastero di Bad Hersfeld, 1968

a destra: Frei Otto, Bodo Rasch, coperture temporanee alla Federal Garden Exhibition, 1971

agenti atmosferici) con nuove tecniche costruttive e con l'aspirazione per spazi in grado di modificarsi spazialmente e percettivamente. Si cominciò a sperimentare con sistemi basati su membrane di rivestimento e cavi di sostegno in grado di coprire spazi molto ampi – come la copertura dello spazio scenico dell'abbazia di Kloster a Bad Hersfeld (1968) – in cui i cinematismi per l'estensione e la chiusura erano generati dallo scorrimento di elementi su cavi tesi attivati da motori elettrici; principi applicati anche a oggetti puntuali, come i grandi “ombrelli” pieghevoli di Frei Otto e Bodo Rasch alla Federal Garden Exhibition a Kassel nel 1971²⁴. Strutture che in due configurazioni essenziali – *aperto/chiuso* – introducevano la possibilità di uno spazio dinamico e variabile: un cambiamento di stato ad ampia scala, applicabile a più situazioni e al costruito esistente. La tipologia di strutture *estensibili* ha trovato in alcune realizzazioni notevoli sviluppi in ragione dei vantaggi funzionali ed è stata utilizzata nel corso degli anni per poter permettere l'uso di determinati spazi in momenti differenti ma legati a specifiche occasioni – diurni e notturni, o stagionali.



Sebbene tali esempi dimostrino la ricerca di una generazione che approcciò per la prima volta all'applicazione sistematica di strutture governate da procedimenti geometrico-costruttivi imposti a priori e utilizzati come strumento processuale per la generazione di forme in grado di modificarsi morfologicamente, le architetture costruite su quella scia non sembrarono interessate a esprimere l'elevato potenziale cinetico che tali strutture sottendono, quanto piuttosto un interesse nel dimostrare gli avanzamenti in ambito industriale e di applicazione di nuovi procedimenti dell'industria meccanica applicati alle costruzioni²⁵. Contemporanei in quegli anni anche gli studi di Buckminster Fuller, culminati nel padiglione degli Stati Uniti all'*Exposition universelle et internationale* di Montréal del 1967²⁶ e nelle ricerche sulle strutture *tensegrity*²⁷, che contribuirono al generale

24. *Ivi*, p. 59; Rivas Adrover, *op. cit.*, p. 74.

25. Musacchio, *op. cit.*

26. J. Massey, "Buckminster Fuller's Cybernetic Pastoral: The United States Pavilion at Expo 67", *Journal of Architecture*, vol. 11, 2006.

27. Michael John Gorman, *Buckminster Fuller. Architettura in movimento*, Skira, Milano 2005.

al centro: D'Arcy W. Thompson, illustrazioni da *On Growth and Form* di *Reticulum plasmaticum* e *Aulonia hexagona*, 1917

in basso: Buckminster Fuller, *USA Pavilion* all'Expo di Montréal, 1967

Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock (a cura di), *Emergence: Morphogenetic Design Strategies*, AD Profile 169, n. 74, maggio-giugno 2004

«Geometry has a subtle role in morphogenesis. It is necessary to think of the geometry of a biological or computational form not only as the description of the fully developed form, but also as the set of boundary constraints that act as a local organising principle for self-organisation during morphogenesis. Pattern and feedback are as significant in the models of morphogenesis as they are in the models of cybernetics and dynamic systems. Alan Turing put forward a hypothesis of geometrical phyllotaxis, the development of form in plants, which offered a general theory of the morphogenesis of cylindrical lattices. These are formed, locally rather than globally, node by node, and are further modified by growth. To mathematically model this process, it is necessary to have a global informing geometry, the cylinder, and a set of local rules for lattice nodes. [...] As intricate choreography of geometrical constraints and geometrical processes is fundamental to self-organisation in biological morphogenesis. Computational models of morphogenetic processes can be adapted for architectural research, and self-organisation of material systems is evidenced in physical form-finding processes».

«La geometria ha un ruolo subdolo nella morfogenesi. È necessario pensare alla geometria di una forma biologica o computazionale non solo come la descrittiva della forma completamente sviluppata, ma anche come l'insieme dei vincoli di bordo che agiscono come principio organizzatore locale per l'auto-organizzazione nella fase di morfogenesi. Pattern e feedback sono tanto significativi nei modelli di morfogenesi quanto lo sono nei modelli di cibernetica e nei sistemi dinamici. Alan Turing ha avanzato un'ipotesi di fillotassi geometrica, lo sviluppo della forma nelle piante, che ha offerto una teoria generale della morfogenesi dei reticoli a cilindro. Questi sono formati localmente piuttosto che globalmente, nodo per nodo, e si modificano ulteriormente nella crescita. Per modellare matematicamente questo processo è necessario avere una geometria che informa il sistema globalmente, il cilindro, e un insieme di regole locali per i nodi del reticolo. [...] L'intricata coreografia di vincoli e processi geometrici è fondamentale per l'auto-organizzazione nella morfogenesi biologica. I modelli computazionali dei processi morfogenetici possono essere adattati alla ricerca architettonica, e l'auto-organizzazione dei sistemi materiali è evidenziata nei processi fisici di ricerca della forma».

entusiasmo intorno all'idea di un mondo in cambiamento, in cui l'architettura doveva esprimersi come sistema *aperto*, più che come oggetto concluso²⁸. «The geometry of deployable systems also seems to follow from nature's patterns, such as spirals, hexagons and spheres, which are recurrent at the *micro* and *macro* scales»²⁹. A partire da geometrie note – triangoli, esagoni, icosaedri, sfere – la generazione di nuove forme nello spazio agisce quindi alla *macro* scala globale dell'organismo architettonico ma richiede particolari sistemi meccanici³⁰ che in tutte le fasi dell'espansione ne garantiscano la movimentazione.

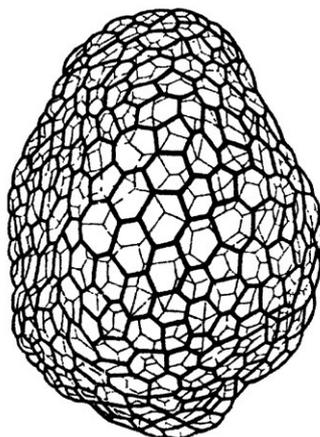


Fig. 321. "Reticulum plasmaticum."

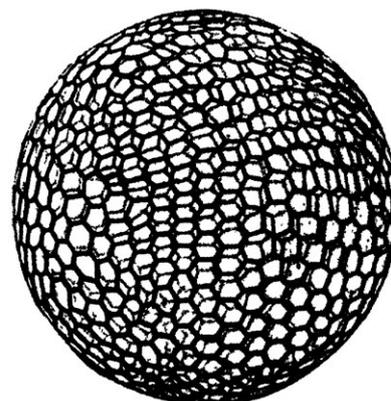


Fig. 322. *Aulonia hexagona* Hkl.



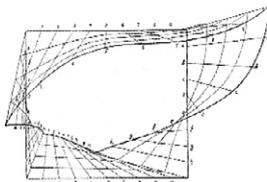
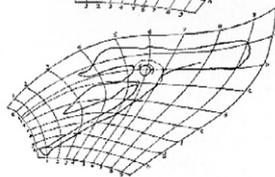
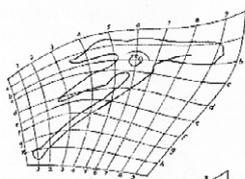
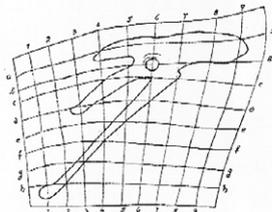
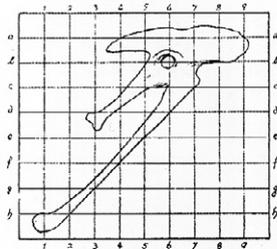
L'analogia che si instaura con gli organismi naturali e con i pattern di crescita è evidente: «deployment is a basic attribute of living organisms, whether as growth [...] or movement [...] inert mechanisms and objects become live and moving»³¹. Il testo *Crescita e Forma* di D'Arcy Wentworth Thompson pose le basi per la comprensione delle forme degli organismi naturali per via matematica e geometrica, introducendo il concetto di *morfogenesi*, o generazione della forma, esplorando le dinamiche di crescita e i processi fisici che ne influenzano lo sviluppo. «La forma di ogni porzione di materia [...] e i

28. Cfr. Eco, *op. cit.*

29. Rivas Adrover, *op. cit.*, p. 150.

30. Cfr. Musacchio, *op. cit.*, pp. 81-96.

31. Julian Vincent, *Foreword*, in Rivas Adrover, *op. cit.*, p. 7.



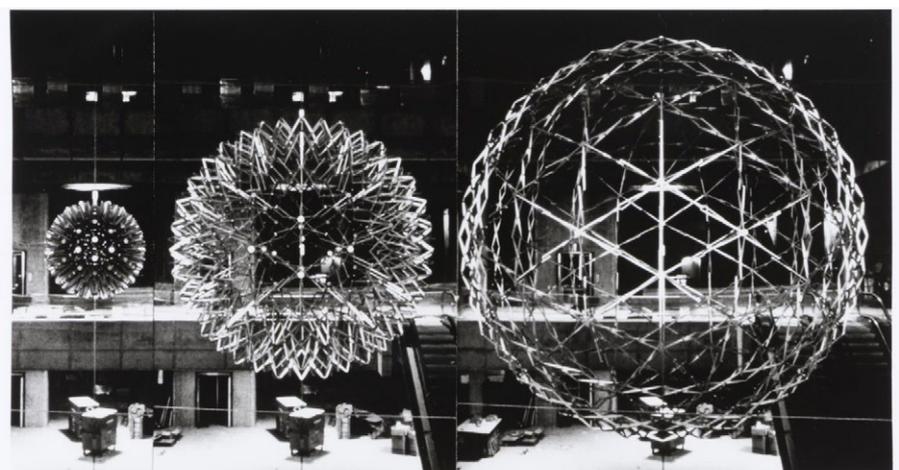
a destra: Chuck Hoberman, Liberty Science Center, 1992
sopra: D'Arcy Thompson, sistema di coordinate evolutive, 1917

«D'Arcy Thompson uses a coordinate system to define an organic form in numbers. Transformation of the initial coordinate system will produce changes or deformations to the inscribed form. Two forms can be analysed and interpreted as transformed geometrical descriptions of each other, and intermediate forms between them can be constructed, each describing a transitional step. Transitional steps may be reconstructed between the forms of an ancestral type and a presumed descendant, providing valuable insight in the evolutionary process.

1. Pelvis of *archaeopteryx*; 2. Pelvis of *apatornis*; 3. The second and third intermediate coordinate networks with their corresponding inscribed pelvis; 4. The coordinate systems of the first and second figures with three intermediate systems interpolated».

cambiamenti di forma che appaiono nei suoi moti e nella sua crescita, possono sempre venir descritti come l'effetto dell'azione di una forza [...] la forma [...] è un diagramma di forze»³². È evidente come le posizioni di Alexander e Zuk e Clark siano indebitate verso le teorie di Thompson; un'influenza mostrata anche su Greg Lynn, che inserì il testo nella bibliografia dei suoi *design studio* all'UCLA³³.

L'espansione monodirezionale per via meccanica può essere considerata come un fenomeno di adattamento. In riferimento a tale sviluppo della forma, Thompson scrive che «i fenomeni a cui alludo sono quelli in cui l'*adattamento* nel senso più stretto della parola è presente in modo ovvio nella forma [...] più perfettamente indicata per una determinata e particolare funzione o azione che è inseparabile dal modo di vivere [...] dell'organismo»³⁴. Le architetture estensibili presuppongono la rispondenza ad una certa azione applicata e proprio per la loro conformazione geometrica rendono immediatamente leggibile l'*adattamento formale* che mettono in opera: osservare il lento scorrere delle parti meccaniche tra loro, riconoscere il ruolo di tutti gli elementi nel cinematismo e la loro ricomposizione in geometrie note rendono l'osservatore compartecipe di un'esperienza che assume quel carattere di *già conosciuto*, come i pattern naturali: «but then when we see how the branching of trees resembles the branching of arteries and the branching of rivers, how crystal grains look like soap bubbles and the plates of a tortoise's shell, how the fiddle-heads of ferns, stellar galaxies, and water emptying from the bathtub spiral in a similar manner, then we cannot help but wonder why nature uses only a few kindred forms in so many different contexts. [they] [...] adopt the same pattern»³⁵. Le architetture estensibili (*deployable structures*) possono essere raccolte in una serie di categorie che individuano tra i sistemi meccanici di estensione più diffusi la cerniera a forbice. Si parla quindi di *scissor-hynged deployable structures* per quelle strutture che a partire da una configurazione di base



32. Thompson, *op. cit.*, p. 15.

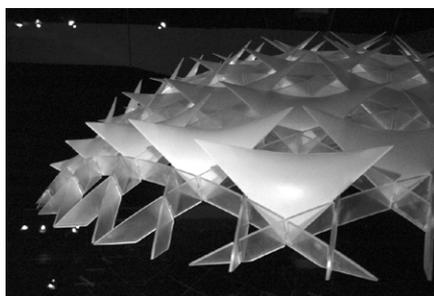
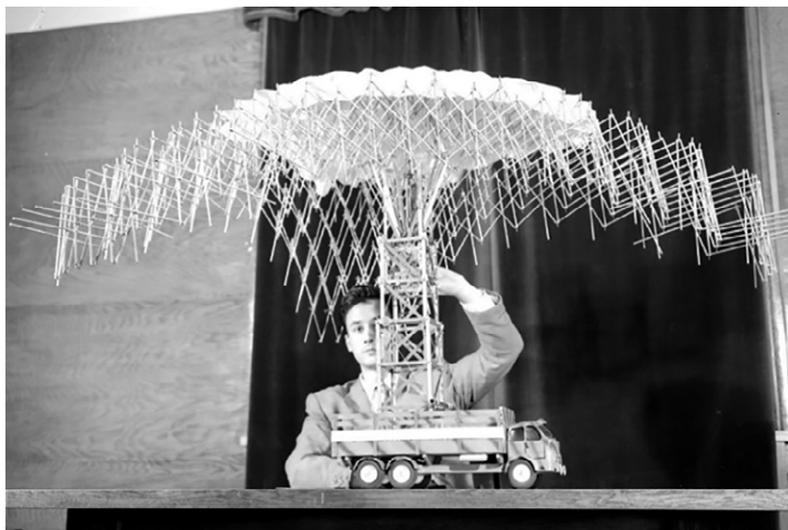
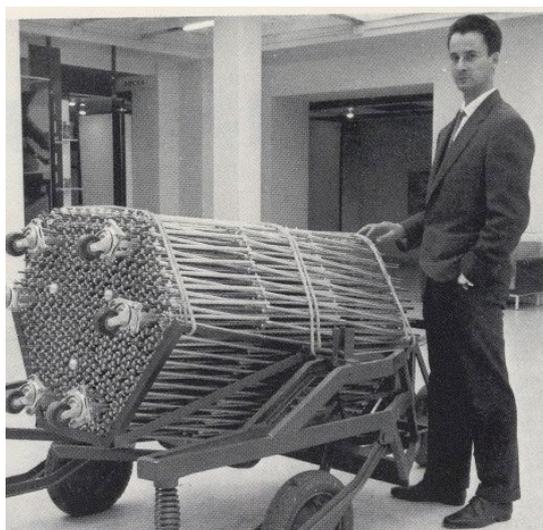
33. Amy Kulper, *Architecture's Digital Turn and the Advent of Photoshop*, conferenza nell'ambito della mostra "Archaeology of the Digital: Complexity and Convention", giugno 2016, <https://www.cca.qc.ca/en/articles/issues/4/origins-of-the-digital/41052/architectures-digital-turn-and-the-advent-of-photoshop> [01.10.2021].

34. Thompson, *op. cit.*, p. 15.

35. Peter S. Stevens, *Patterns in Nature*, Little Brown & Co., 1979, p. 4.

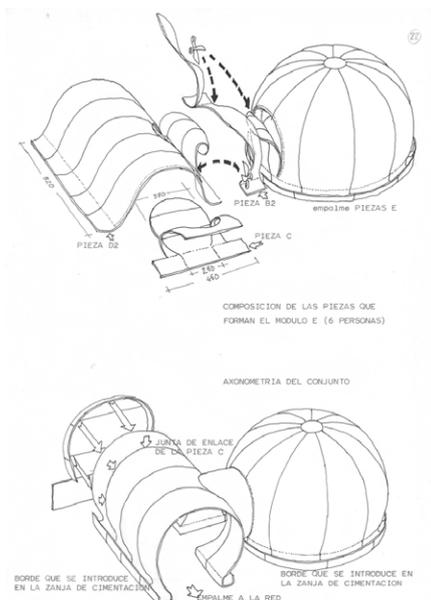
“compatta” o chiusa tendono verso una forma “espansa” o nello spazio o nel piano. Il sistema è generalmente formato da elementi di base – aste – replicate a formare una geometria precisamente definita tenute insieme da cerniere che ne consentono la rotazione e lo scorrimento, e di conseguenza una *espansione* in una direzione prestabilita. La ricerca dell’architetto spagnolo Emilio Pérez Piñero riguardò strutture estensibili basate sul sistema del giunto a forbice, concentrandosi principalmente sull’espansione cinetica in tre dimensioni. Il suo progetto per un *Transportable Theatre* (1961) ricevette una menzione speciale ad un concorso internazionale per studenti presieduto da Buckminster Fuller, Felix Candela e Ove Arup. Con Candela, che l’aveva giudicato dieci anni prima, Pérez Piñero lavorerà successivamente al progetto per la copertura dell’*Anoeta Velodrome* (1972) – una calotta di sfera coperta da una serie di elementi a *sella* – in cui la vocazione scultorea del primo trovò una controparte nelle raffinate ipotesi di coperture geometricamente definite proposte da Pérez Piñero: uno dei suoi ultimi progetti, e di cui non restano molti documenti, poiché scomparirà soltanto qualche mese dopo³⁶. Lo studio della geometria e la possibilità di trasporto e movimentazione di strutture fisiche attraversò tutto il lavoro di Pérez Piñero. A partire dalla

sotto e al centro: Emilio Pérez Piñero, *Transportable Theatre*, 1961
 in basso: Emilio Pérez Piñero, *Anoeta Velodrome*, modello della copertura, 1972



presentazione del suo progetto per il teatro trasportabile, che mostrava in sequenza la struttura in una configurazione chiusa, montata su un camion e pronta per il trasporto, a seguire un’immagine del sistema aperto e completamente sviluppato. Pérez Piñero sviluppò questi concetti fino alla loro messa in opera a La Coruña nel 1966. Il teatro consisteva di giunti a forbice a quattro aste di alluminio, in grado di coprire ottomila metri quadri. Due semisfere, ricoperte poi da un tessuto oscurante, occuparono gran parte della piazza della cattedrale situata nel centro della città. Il sistema geometrico sviluppato da Pérez Piñero si basava su una serie di elementi che lavorano come unità indipendenti e si ricompongono, affiancandosi e concatenandosi, ad una scala più ampia, esplorando le potenzialità della

36. *Arquitecturas Ausentes del siglo XX / Absent Architecture of the 20th Century*, mostra di architettura, CIVA, Bruxelles 26.02.2010 – 18.04.2010.



sopra: Carlos Ferrater, Fernando Bendito e José M. Prada Pool, elemento minimo della *Ciudad Instantánea*, Ibiza, 1970-1971

sotto: Emilio Pérez Piñero, *Transportable Theatre* a La Coruña, 1966

a destra: Renzo Piano Building Workshop, *Fondation Pathé*, 2006-2010

ripetizione come criterio di generazione di una forma complessa³⁷. Lo stesso architetto descrive il sistema in analogia con il corpo umano: «il modo di lavorare [della struttura] assomiglia al corpo di un vertebrato. Le aste compresse ne formano lo scheletro, come una vera colonna vertebrale. Le aste di irrigidimento, invece, si comportano come il sistema muscolare che avvolge e sostiene lo scheletro. [...] Il cedimento o lo spostamento di uno solo dei supporti produce il *riadattamento* degli sforzi nella struttura. Più semplicemente, è una struttura vivente»³⁸. Interpretare la categoria del movimento cinetico non soltanto come espansione strutturale di un oggetto architettonico – con le sue inevitabili conseguenze sulla percezione di chi osserva – per coprire spazi e definire nuovi “luoghi” coperti, ma anche come *movibilità*, intesa come suscettibilità di spostamento, risulta utile per comprendere la carica di innovazione di tali sperimentazioni, appaiono dunque dotate di un doppio livello di significato. L’entusiasmo verso gli avanzamenti tecnologico-strutturali di quegli anni, infatti, procede di pari passo con l’idea di una società in cambiamento pronta a irrompere nelle città della storia intese come strutture fisse e consolidate da colonizzare con la nuova architettura grazie agli avanzamenti della tecnologia. Come nel caso delle più note *Walking City* di Ron Herron e l’*Instant City* di Peter Cook³⁹ e l’omonima *Ciudad Instantánea* di Carlos Ferrater, Fernando Bendito e José M. Prada Pool fino ai *blob* anche piuttosto recenti come la *Fondation Pathé* di Renzo Piano Building Workshop, tali esperimenti producono effetti dirompenti e talvolta stranianti: «what had previously been understood as being played according to categorical rules that fairly divided up [...] chance and skill [...] was now entirely open to chance, deprived of the security of articulated moves and their known consequences»⁴⁰.



37. Olóriz, *op. cit.*

38. Cfr. Emilio Pérez Piñero, “Estructuras Reticulares Tridimensionales” in *Arquitectura*, n. 112, Aprile 1968.

39. Simon Sadler, *Archigram: Architecture Without Architecture*, MIT Press, Cambridge (MA) 2005.

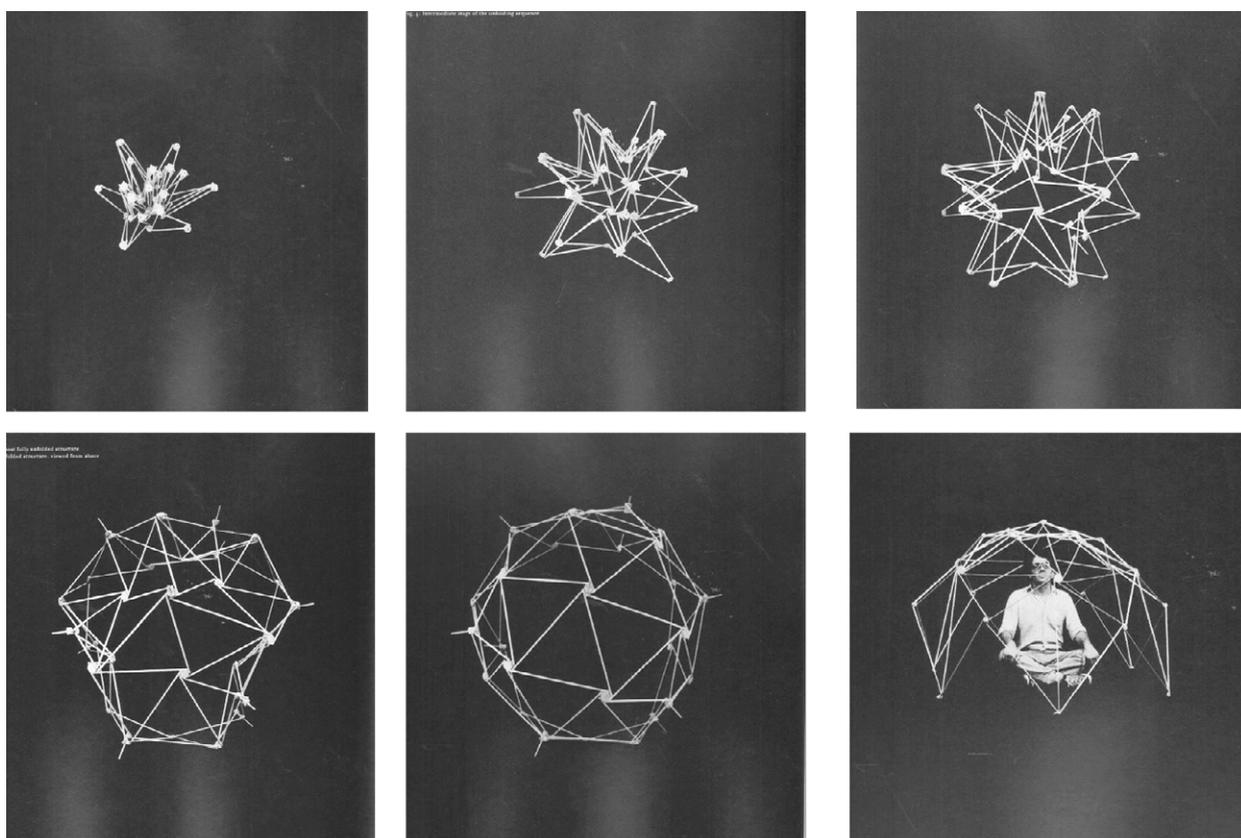
40. Anthony Vidler, *The Architectural Uncanny. Essays in the Modern Unhomely*, MIT Press, Cambridge (MA) 1992, p. 101.

in basso: Santiago Calatrava, *On the Foldability of Space Frames*, tesi dottorale, 1979

«Folding, as a means of changing the form of a frame, contradicts the notion of stability as a property of form retention. In other words, for a frame to be foldable, it must be unstable. This condition can be achieved by realising bar links at the nodal points. Accordingly, a frame is said to be foldable if relative movements between the bars become possible through the intentional release of bar links at the nodal points. In the case of planar foldability, the bars of a frame remain parallel to a reference plane during the entire folding sequence: if, on the other hand, they form a spatial figure during the folding sequence, we then speak of spatial foldability».

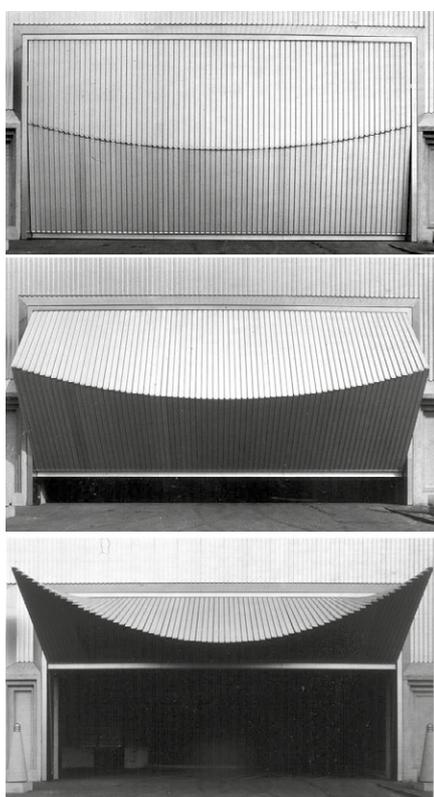
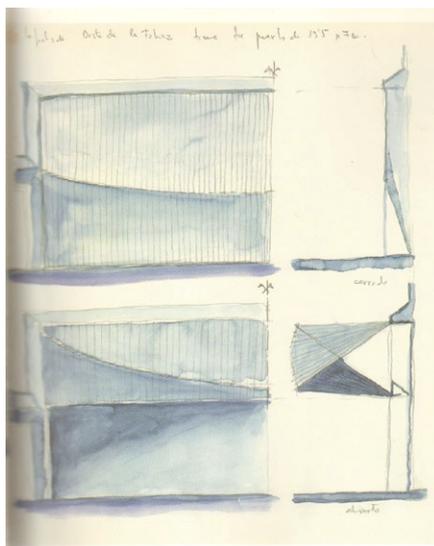
«La piega, come mezzo per cambiare la forma di un telaio spaziale, contraddice la nozione di stabilità come proprietà di mantenimento della forma. In altre parole, affinché un telaio sia pieghevole, deve essere instabile. Questa condizione può essere ottenuta realizzando collegamenti a barre nei punti di incrocio, i nodi. Di conseguenza, si dice che un telaio è pieghevole se i movimenti relativi tra le barre diventano possibili attraverso il rilascio intenzionale dei collegamenti delle barre nei punti nodali. Nel caso della piegabilità in un piano, le barre di un telaio rimangono parallele a un piano di riferimento durante l'intera sequenza di piega: se, invece, formano una figura spaziale durante la sequenza di piegatura, allora si parla di piegabilità spaziale».

In molte delle opere realizzate dall'architetto e ingegnere spagnolo Santiago Calatrava è possibile rintracciare una poetica del movimento ispirata a strutture rinvenibili in natura attraverso l'applicazione di leggi matematiche e geometriche. La sua tesi dottorale difesa all'ETH di Zurigo nel 1981, intitolata *On the Foldability of Space Frames*, riguardò l'indagine sistematica di una classe di strutture – *frame* tridimensionali fatti da aste e cerniere – e dei modi in cui queste possano raccogliersi in forma compatta seguendo procedimenti geometrici piegando le diverse parti che le compongono per via di connettori meccanici⁴¹. Astraendo le questioni legate alla natura del materiale, Calatrava si concentra sullo studio dell'azione cinetica scomponendola in due ambiti principali: la trasformazione geometrica di una serie di poliedri da una configurazione chiusa ad una aperta; l'articolazione dei giunti necessari per concretizzare la rotazione e la traslazione delle parti e la trasformazione della struttura⁴². La metodologia che Calatrava utilizza è volta alla semplificazione dei termini del problema cinetico: i singoli frame sono discretizzati in aste pure, connesse da giunti che assicurano una serie di gradi di libertà tali da poter permettere un "ripiegamento" controllato della struttura. Testate queste definizioni su figure semplici come il rombo, l'analisi procede verso figure tridimensionali via via più complesse, fino alle cupole; come nel caso degli studi di Pérez Piñero, dal singolo componente o meccanismo al ragionamento olistico sull'intera struttura. Geometria e meccanica sono discipline che concorrono alla generazione del movimento cinetico che successivamente caratterizzerà come cifra compositiva l'opera



41. Cfr. Tzonis, *op. cit.*

42. *Ivi*, p. 12.



sopra: Santiago Calatrava, movimento cinetico dei portali della *Fabbrica di tessuti Ernsting*, 1985
 in alto: Santiago Calatrava, schizzo per il progetto dei portali d'accesso alla *Fabbrica di tessuti Ernsting*, 1985

di Calatrava per generare un coinvolgimento emozionale nell'osservatore⁴³. L'interesse dimostrato nella cinetica in architettura porterà Calatrava a realizzare grandi edifici caratterizzati da parti semoventi scomponendo le superfici "lisce" con cui lavora non tanto tassellandole nel piano per ottenere una loro variazione o curvatura complessa, quanto dividendole in settori, opachi e trasparenti, da poter trattare con materiali e logiche diverse; nei punti di contatto, sistemi di pistoni controllati elettronicamente fungono da interfacce per generare il movimento, lasciando scorrere le parti le une sulle altre, rivelando all'esterno gli spazi esterni e generando, invece, negli spazi interni mutate condizioni ambientali. Uno dei primi progetti in cui Calatrava propone la scomposizione di una superficie liscia in una serie di elementi in grado di generare un cinematismo è il progetto per la *Fabbrica di tessuti Ernsting* (1985). I portali d'accesso agli spazi per il deposito delle merci sono caratterizzati, nella configurazione chiusa, da una serie di profili d'acciaio affiancati divisi in due da un punto di snodo, posto ad altezza diversa per ogni profilo; l'andamento delle diverse altezze degli snodi traccia una parabola sulla superficie di chiusura. Fissati alla base e in sommità a due travi, nel momento in cui viene attivato il meccanismo di apertura queste si sollevano piegandosi nei punti di snodo generando così una pensilina parabolica. Dagli schizzi di Calatrava emerge l'interesse per la trasposizione in architettura dei meccanismi cinetici del corpo umano: non è la natura dei cristalli, inorganica, quanto quella di ossa e articolazioni, ginocchia e gomiti tenuti insieme da muscoli e tendini; le dita di una mano che si apre e si chiude; ali di uccelli, o braccia aperte di uomini. Queste analogie vengono subito reinterpretate alla luce di un pensiero analitico per essere discretizzate in diverse possibilità costruttive offerte dalla tecnica. Materiali come cemento, acciaio e vetro assumono i caratteri di quelle «strutture viventi» di cui parlava Pérez Piñero, allo stesso tempo grandi contenitori «ipertecnologici», espressione pura di quell'«iconicità» emersa nelle architetture degli ultimi due decenni del XX secolo.⁴⁴ Edifici macchina, ma di ispirazione antropomorfa, che trovano ragione della loro forma nell'espressione dinamica del movimento. «Una macchina» scrive Reuleaux citato da Calatrava «è una combinazione di corpi rigidi disposti in modo che, per mezzo di forze naturali (e meccaniche), possono produrre specifici effetti mentre eseguono *specifici movimenti*»⁴⁵.

Tra i pionieri dell'utilizzo degli strumenti digitali in architettura⁴⁶, Chuck Hoberman, portò i suoi studi sui giunti a forbice e sulla meccanica del movimento cinetico a realizzare la sua famosa "sfera" che da una configurazione compatta e chiusa è in grado di espandersi fino a coprire ampie luci. Hoberman individuò nei software di disegno e modellazione degli utili *tools* per sfruttare appieno il potenziale di coinvolgimento della cinetica basando la sua ricerca sulla trasformazione geometrica di elementi nello spazio attraverso un procedimento di *dispiegamento ed espansione*. Le

43. Cecilia Lewis Kausel, Ann Pendleton-Jullian (a cura di), *Santiago Calatrava: Conversations with Students*, Princeton Architectural Press, New York 2002.

44. Cfr. Simone Brott, *Digital Monuments. The Dreams and Abuses of Iconic Architecture*, Routledge, London-New York 2020.

45. Franz Reuleaux, in Kurt Heim, *Angewandte Getriebelehre*, VDI Verlag, Dusseldorf 1961, cit. in Calatrava, *On the Foldability of Space Frames*, p. 48.

46. Greg Lynn, *Archaeology of the Digital*, in Andrew Goodhouse (a cura di), *When is the digital in Architecture?*, Sternberg Press-Canadian Centre for Architecture, Montréal-Berlin 2015.

Chuck Hoberman, *Expanding Dome*, 1992

«GL: La qualità dello spettacolo del movimento riguarda il momento in cui si vede una cosa cambia, o qual è il ruolo? [...] E anche, visto che questa è una discussione incentrata sul digitale, come nasce lo spettacolo dal mondo digitale? Solo perchè ora possiamo vedere certe cose su uno schermo, ci aspettiamo che i nostri edifici si trasformino allo stesso modo?»

CH: Beh, certamente la nozione di realizzare un oggetto fisico che può passare da uno stato all'altro è di ispirazione digitale, ma questa ispirazione potrebbe anche essere biologica. La mia aspirazione in qualsiasi tipo di progetto non è quella di fare una serie di esempi di oggetti trasformabili, ma di sistematizzare e codificare e sviluppare metodi in modo che generino la possibilità di renderli trasformabili, se serve. In questo senso hanno introdotto l'idea del morphing in *Terminator 2*, quando il tizio si trasforma da umano a robot, per cambiare forma. Quello è stato certamente un cambiamento nello *zeitgeist* per me [...] Ma quando si passa dal digitale alla biologia, beh, la biologia ha già tutto dentro. Siamo tutti seduti qui in corpi che si sono trasformati lentamente nel corso di molti anni. Puoi guardare i disegni delle specie di D'Arcy Thompson con le loro scale differenziali che dimostrano il cambiamento intrinseco della morfologia per l'adattamento e la sopravvivenza. Da un punto di vista del progetto, è interessante che ci sia una funzionalità implicita nel cambiamento di forma. All'interno del mondo naturale, si trovano specie incredibili che si trasformano in una manciata di secondi. Se fossi arrogante, direi: "Prendiamo il meglio della natura (che è fisica), e il meglio del digitale (che si può progettare), e troviamo un modo per unirli!". Ma io sono solo un povero progettista di meccanismi; cerco di forzare tali resistenze con dadi, bulloni e materiali, ma in modo fantasioso. C'è un'ispirazione digitale per questo? Assolutamente sì. E in senso culturale, non solo utilitaristico. Un aspetto della cultura dei media è che c'è questo infinito arricchimento visuale. Continua a superarsi ogni giorno. Credo di continuare ad aspettare un punto di diminuzione dei rendimenti. [...] Mi piace pensare che la tecnologia non sia l'aspetto più importante nel lavoro che faccio – il progetto è più importante. giorno. Continua a essere superato, e continua a essere superato. Credo di continuare ad aspettare un punto di diminuzione dei rendimenti. [...] Mi piace pensare che la tecnologia non sia la cosa più importante nel lavoro che faccio - il design è più importante. [...] Ci sono cose che ho fatto che penso siano andate troppo nella direzione di una tecnologia di una forza bruta; esteticamente troppo lontano. Ma non credo di essere insolito in questo senso, in quanto sono un progettista che cerca di essere sensibile al contesto e all'esperienza. Ma la trasformazione, credo, ha un vero potenziale. [...] Una cosa di cui non abbiamo davvero parlato è il controllo in tempo reale, e che il movimento stesso fosse un'espressione del digitale. Ho sempre lavorato con sistemi di movimento programmabili. Non idraulici, con un pulsante che si accende e si spegne, ma ambienti di programmazione stessi. Personalmente ho passato un bel po' di tempo ad acquisire questi pacchetti di controllo motorizzato, integrandoli con la meccanica e poi programmandoli per i clienti. Questa è l'area in cui sento di non aver sfruttato abbastanza le tecnologie digitali, storicamente. Di solito progettavo meraviglie meccaniche in movimento e che possedevano le qualità estetiche che mi interessavano; e poi, ansimando, una volta tagliato il traguardo: "E ora cosa voglio che faccia esattamente?" Mi sedevo al computer e tiravo fuori un'idea giusta in tempo per l'inaugurazione. Il cliente solitamente diceva: "Non male".



strutture cinetiche progettate da Hoberman appartengono alla categoria di *deployable structures*, ovvero strutture "dispiegabili". La nota *Expanding Sphere* (1988), o il progetto per l'*Iris Dome* (1994) dimostrano la rigorosa ingegnerizzazione della superficie sferica in settori definiti da snodi a forbice (*scissor joints*) pieghevoli in grado espandersi e contrarsi per ottenere oggetti tridimensionali in modo tale da evitare collisioni tra le aste rigide che compongono i frame: previsioni testate anche in ambiente digitale da uno script scritto da Hoberman stesso – nello specifico *AutoLISP* di *AutoCAD*⁴⁷. L'utilizzo dei computer e dei software di disegno automatico che Hoberman stesso manovrava ebbe così un ruolo fondamentale nella risoluzione dei problemi che i suoi progetti si proponevano di risolvere. Evitare il "confliggere" degli elementi nello spazio durante la

47. Cfr. Greg Lynn, Chuck Hoberman, *Expanding Sphere/Iris Dome. Archaeology of the Digital 02*, Canadian Centre for Architecture, Montréal 2014.

Chuck Hoberman, *Expanding Dome*, 1992

«GL: On the quality of the spectacle of motion, is the moment of seeing a thing change—what's the role of spectacle? [...] And also, because this is a digitally-focused discussion, does spectacle come out of the digital world at all? Because we can get certain things on a screen now, do we expect our buildings to transform somehow because of that?»

«CH: Well, certainly the notion of making a physical object that can morph between states has a kind of a digital inspiration, but this inspiration could also be biological. My aspiration in any kind of broader program is not to do a series of examples of transformable objects, but to systematize and codify and develop methods so that you have an option to make them transformable, if you like. In that sense, when they introduced the idea of morphing in *Terminator 2*, the guy's going to turn from human to robot, to shape shift or whatever. That was certainly a shift in the *zeitgeist* for me [...] But when you go from the digital into biology, well, biology has it all figured out. We're all sitting here in bodies that have smoothly transformed over however many years. You can look at D'Arcy Thompson's drawings of the species, with their differential scaling to show the intrinsic change and morphology for adaptation and survival. From a design standpoint, it's interesting that there's an implied functionality to shape shift. Within the natural world, you can find these incredible species that transform themselves in a matter of seconds. If I were hubristic, I'd say, "Let's take the best of nature: that it's physical, and the best of digital: That you can design it, and find a way to do that!" But I'm only a poor mechanisms designer; just trying to force it through nuts and bolts and materials, but imaginatively. So you were asking: Is there a digital inspiration for this? Absolutely. And in the cultural sense, it's not only utilitarian. One aspect of media culture is that there's this endless topping of the visual. It keeps getting topped, and keeps getting topped. I guess I keep waiting for a point of diminishing returns. [...] I'd like to think that technology is not the most important thing in the work that I do – design is more important. [...] There are things I've done that I think went too far in the direction of brute force technology; aesthetically too far. But I don't think I'm unusual in that sense, in that I'm a designer trying to be sensitive to context and experience. But the transformation side of it, I think, has a real potential. [...] One thing we haven't really spoken about is real-time control, and that the movement itself was a digital expression. I was always working with programmable motion systems. Not hydraulics, with a button that you press on and off, but programming environments themselves. I personally spent a fair amount of time acquiring these motor control packages, integrating them with the mechanics and then programming them for clients. This is the area where I feel I really didn't exploit digital technologies enough, historically. Usually for these projects I would create a mechanical wonder that had all the motion and aesthetic qualities I was interested in; and then kind of while panting across the finish line: "Oh, what exactly do I want it to do?" I would sit down at the computer and come up with something in time for the opening. The client would say, "That's pretty good"».

loro “espansione” a formare la semisfera fu un processo gestito da *script* autoprodotti; i software di modellazione e di disegno risultarono troppo rudimentali per poter descrivere la cinetica del movimento e studiare quindi possibili *clash* tra le componenti, così Hoberman costruì da solo gli strumenti necessari per il controllo e la generazione della sfera. Anche Lynn sottolineò quanto per Hoberman l'essere consapevoli di discipline come la geometria e la meccanica, così come dell'informatica e dei diversi software, delle loro potenzialità e criticità, fosse un aspetto fondamentale del mestiere, e che responsabilizzi il progettista: «non si parlava d'altro che della perdita di autorialità a favore di consulenti esterni [...] i *digital specialists*, mentre gli architetti avevano una formazione più generalista. Chuck [Hoberman] si oppose strenuamente a tale separazione; imparò a programmare lui stesso»⁴⁸. Sebbene sia stato tra i primi utilizzatori degli strumenti digitali con consapevolezza da programmatore, gli aspetti tecnologico-costruttivi e la possibilità di realizzare concretamente le sue opere ha sempre interessato Hoberman. La fabbricazione si rivela così un aspetto fondamentale del processo di trasposizione da un'idea di spazio *dispiegabile* alla sua messa in opera: «the digital side of it was very much a tool to facilitate physicalizing an idea. The *making* part of it was primary»⁴⁹. L'utilizzo delle macchine a controllo numerico CNC e dei primi esempi di stampa 3D risultò necessario per poter ottenere parti più piccole come cerniere e connettori. Le geometrie che prendono vita nei suoi progetti partono da una configurazione di base “compatta” per raggiungere una finale, diversa, ma fissa. La cinetica è dunque per Hoberman un mezzo per passare da uno stato all'altro in maniera meccanica, dalla situazione di stasi iniziale ad una finale: l'esperienza delle sue architetture risulta assimilabile a quella di un'architettura statica, in cui l'attenzione è posta sulle componenti robotiche che generano il movimento più che su una vero “scambio” tra l'utente (in qualità di osservatore o di soggetto interagente) e l'architettura. Il processo progettuale di Hoberman si basa su una modalità del progetto più legata ad aspetti ingegneristici e tecnologici che all'effettiva ricerca di una poetica del movimento che costruisca un coinvolgimento biunivoco tra opera e osservatore. «The beauty you see in the product» dichiarò Hoberman in un'intervista «isn't something that I've imposed on it. Rather it emerges from the function»⁵⁰. Hoberman concede tuttavia che esista una relazione psicologica che si instaura nell'atto di percepire una “trasformazione”: «when one sees this special behavior [of transformation], one feels it in one's body – a perhaps a physiological connection, because there is a sensation, a physical sensation and a mental and perceptual sensation»⁵¹.

48. Avinash Rajagopal, *Greg Lynn, Q&A: Greg Lynn on Architecture's Early Flirtations with the Computer*, in *Metropolis Mag*, 3 settembre 2013, <https://metropolismag.com/projects/qa-greg-lynn-architecture-flirtations-computer/> [01.10.21].

49. Lynn, *Expanding Sphere/Iris Dome*, *op. cit.*

50. Chuck Hoberman, “Transformable Architecture”, intervista a Chuck Hoberman, in *PingMag*, 13 luglio 2007.

51. *Ibid.*

Le superfici piegate

Riferibili all'ambito del *generative design*⁵², le forme generate a partire dallo sviluppo di pattern geometrici noti, come i pattern *origami*⁵³, sono state applicate in architettura in svariate modalità. Nata come tecnica tradizionale di piegatura della carta, il termine *origami* indica l'azione con cui una forma ideale emerge da un supporto piano bidimensionale – il foglio di carta – alle tre dimensioni dello spazio attraverso una piega (ori). Una sapiente pratica artigiana rintracciabile nella cultura giapponese a partire dal XVIII secolo. Caratteristica principale dell'*origami* è l'azione per mezzo di cui avviene il cambiamento di stato, definita solo e soltanto da pieghe. Il foglio o il supporto non vengono mai tagliati, incisi o forati: la topologia non trova soluzione di continuità nel suo sviluppo dalle tre dimensioni al piano e viceversa. Le pieghe generabili su un foglio offrono una varietà potenzialmente infinita di forme ottenibili nello spazio⁵⁴. Specifici pattern, tuttavia, composti nella maggior parte dei casi da tasselli triangolari, riescono a generare forme note con precise caratteristiche: la possibilità di generare un cinematismo attraverso la piega – che permette rotazioni, torsioni e flessioni – e l'incremento della capacità portante sulla base di una variazione morfologica⁵⁵. Lo studio degli *origami* come pattern geometrici generativi di forme ha interessato architetti e teorici nel corso del XX secolo sia per le potenzialità espressive date dalla scansione e della modularità delle pieghe, che per le caratteristiche fisiche legate alla loro portanza, sino al riconoscimento dell'atto della piega come processo euristico attraverso cui giungere a nuove soluzioni formali. La tecnica della piegatura rende possibile l'atto trasformativo da *immagine* a *modello*, assume carattere di gesto della composizione e non soltanto di processo produttivo codificato in passaggi predeterminati.

Già nei primi corsi tenuti al Bauhaus a partire dal 1923 collaborando con László Moholy-Nagy e successivamente dal 1928 al 1933 da solo, Josef Albers invitò i suoi studenti a esplorare possibili conformazioni spaziali ottenibili da superfici piane attraverso la tecnica della piegatura della carta di tipo *origami*⁵⁶. Questi esercizi rientravano in un approccio più generale legato a un rapporto di coinvolgimento "attivo" con i materiali. Al centro della didattica del *Vorkurs* – il corso preliminare – volto a stabilire un terreno comune di conoscenze di base tra gli studenti, c'erano i materiali e le modalità con cui interagirvi, esplicitandone potenzialità e limiti. Il corso veniva strutturato attraverso una serie di esercizi di avvicinamento "sensoriale" alle strutture architettoniche. Un modello educativo basato sulla sperimentazione – «experimentation means learning by experience, the most lasting way of



sopra: Jose Albers, esercizi con origami al Black Mountain College, New Haven, 1946

«The ability to construct inventively and to learn through observation is developed – at least in the beginning – by undisturbed, uninfluenced and unprejudiced experiment, in other words, by a free handling of materials without practical aims. To experiment is at first more valuable than to produce; free play in the beginning develops courage. Therefore, we do not begin with a theoretical introduction; we start directly with the material. Sometimes the results of these experiments represent innovations in the application or treatment of material. But even when we evolve methods which are already in use, we have arrived at them independently, through direct experience and they are our own because they have been re-discovered rather than taught».

«La capacità di costruire in modo inventivo e di imparare attraverso l'osservazione si sviluppa - almeno all'inizio - attraverso un esperimento indisturbato, non influenzato e senza pregiudizi, in altre parole, attraverso la libera manipolazione di materiali senza scopi pratici. Sperimentare all'inizio è più prezioso che produrre; il gioco libero all'inizio sviluppa il coraggio. Pertanto, non cominciamo con un'introduzione teorica; cominciamo direttamente con il materiale. A volte i risultati di questi esperimenti rappresentano innovazioni nell'applicazione o nel trattamento del materiale. Ma anche quando sviluppiamo metodi che sono già in uso, ci siamo arrivati indipendentemente, attraverso l'esperienza diretta e sono nostri perché sono stati riscoperti piuttosto che insegnati.»

52. Rivas Adrover, *op. cit.*, p. 103.

53. Filipa Osório, A. Paio, S. Oliveira, "Kinetic Origami Surface. From Simulation to Fabrication" in *Proceedings CAAD Futures 17*, 2017.

54. Andrea Casale, G. Mario Valentini, *Architettura delle superfici piegate. Le geometrie che muovono gli origami*, Edizioni kappa, Roma 2012.

55. *Ibid.*; Lanzara, *op. cit.*

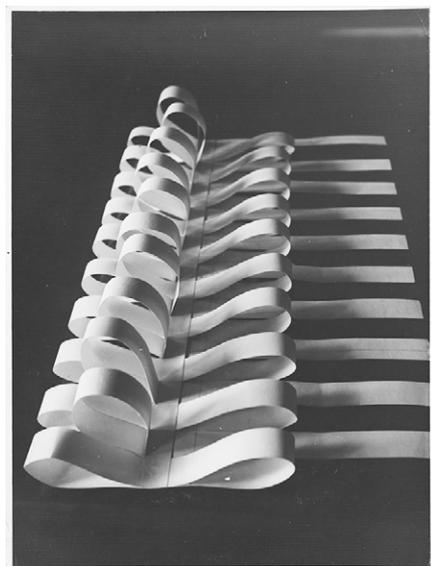
56. Cfr. Hans M. Wingler, *Bauhaus: Weimar, Dessau, Berlin, Chicago*, MIT Press, Cambridge (MA) 1968.



sopra: Josef Albers, mostra dei progetti sviluppati al *Vorkurs* del Bauhaus, 1928

sopra a destra: Josef Albers, esercizi con origami al Black Mountain College, New Haven, 1946

in basso: Josef Albers, *Materialübung*, ca. 1928-1929



learning»⁵⁷ – che veniva presentato agli studenti attraverso un confronto diretto con materiali come legno, vetro, tessuto, carta e metallo, che dovevano essere lavorati assecondando specifiche prescrizioni, ad esempio senza usare colla o strumenti come forbici o taglierini: «All art starts with a material, and therefore we have first to investigate what our material can do. [...] we will experiment without aiming at making a product. At the moment we prefer cleverness to beauty [...] Our studies should lead to constructive thinking [...] I want you now to take the newspapers [...] and try to make something out of them that is more than you have now. I want you to respect the material and use it in a way that makes sense – preserve its inherent characteristics. If you can do without tools like knives and scissors, and without glue, [all] the better»⁵⁸. Gli esercizi miravano a lasciar emergere inedite possibilità di utilizzo dei materiali: «se da un lato non era possibile una maniera univoca ed evidente per approcciare agli esercizi, Albers incoraggiava gli studenti a pianificare preventivamente i loro modelli piegati di carta, assicurandosi che l'economia della forma fosse commisurata al dispendio di materiale e di lavoro previsto»⁵⁹. L'obiettivo di un esito compositivamente compiuto raggiungibile attraverso output minimale, quello che Albers definì come «misura dell'arte: il rapporto tra energia impressa ed effetto»⁶⁰. *Materia, forma e struttura*: tre aspetti fondamentali nella pedagogia di Albers, condensati nell'esercizio di piegatura della carta inteso come processo di traslazione da una forma bidimensionale – il foglio – a una tridimensionale, verificando attraverso un *learning-by-doing* come proprietà come la stabilità, l'elasticità e la resistenza possano permanere o modificarsi all'avvenuto cambiamento di stato⁶¹.

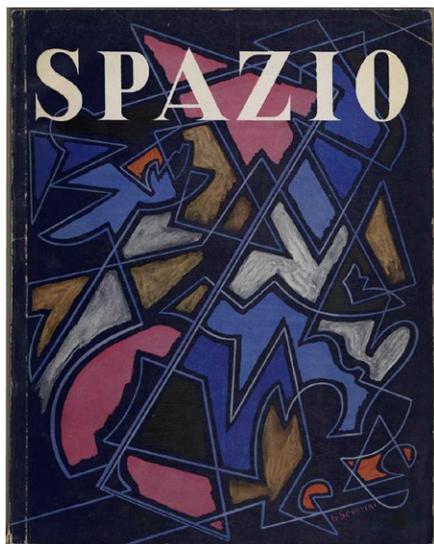
57. Josef Albers, *The First General Meeting of Black Mountain College*, The Josef and Anni Albers Foundation, Bethany 22 settembre 1941.

58. Hannes Beckmann, *Formative Years*, in Eckhard Neumann (a cura di), *Bauhaus and Bauhaus People*, New York 1970, p.196, citato in Jeffrey Saletnik, "Josef Albers, Eva Hesse, and the Imperative of Teaching", in *Tate Papers*, no.7, Spring 2007, <https://www.tate.org.uk/research/publications/tate-papers/07/josef-albers-eva-hesse-and-the-imperative-of-teaching> [10.06.2021].

59. Oliver Barker, "Experimentation, Not Replication: Josef Albers and the Vorkurs" in *Bauhaus Magazine*, 1, Marzo 2011.

60. I. L. Finkelstein, *The Life and Art of Josef Albers*, University Microfilms, Ann Arbor 1979, p.309.

61. Rainer K. Wick, *Teaching at the Bauhaus*, Hatje Cantz Verlag, Ostfildern-Ruit 2000.



sopra: Luigi Moretti, copertina di Gino Severini dal numero 6 di "Spazio", 1951-1952
 in basso: Luigi Moretti, *Struttura come forma*, pagine estratte dal numero 6 di "Spazio", elaborazioni grafiche e modelli di Guido Figus, 1951-1952

Le esplorazioni progettuali sulle superfici piegate interessarono anche l'architetto Luigi Moretti, che sul numero 6 della rivista *Spazio*, da lui diretta, pubblicò un reportage riccamente illustrato ad opera dell'architetto Guido Figus per accompagnare il suo saggio "*Struttura come forma*"⁶². Intesa come emergente da una serie di *relazioni* tra i diversi «valori plastici, valori costruttivi, e valori funzionali» la concezione di forma per Moretti sembra anticipare termini che verranno successivamente introdotti da Alexander e ripresi da Zuk e Clark: *forze* e *pressioni* come agenti attivi nella trasformazione della forma architettonica, che è definita dalla sua intrinseca natura strutturale. Scrive Moretti: «le aggettivazioni possono delimitare un soggetto ma non ne definiscono l'essenza. La quale è data dal complesso di relazioni in cui le aggettivazioni principali e secondarie, le forze e le modalità che le determinano e le governano, vivono contemporaneamente insieme; complesso di relazioni che costituisce quella struttura, intesa la dizione in senso logico-matematico, che sola e indipendentemente dal valore concreto delle aggettivazioni, costituisce e definisce il soggetto»⁶³. Le immagini presentano una serie di studi per una copertura di un teatro, immaginata come una superficie geometricamente definita da un pattern che ne regola la piegatura; un *origami* a tutti gli effetti, volto a ricercare, nel catalogo di possibilità formali offerte dalla tecnica, nelle

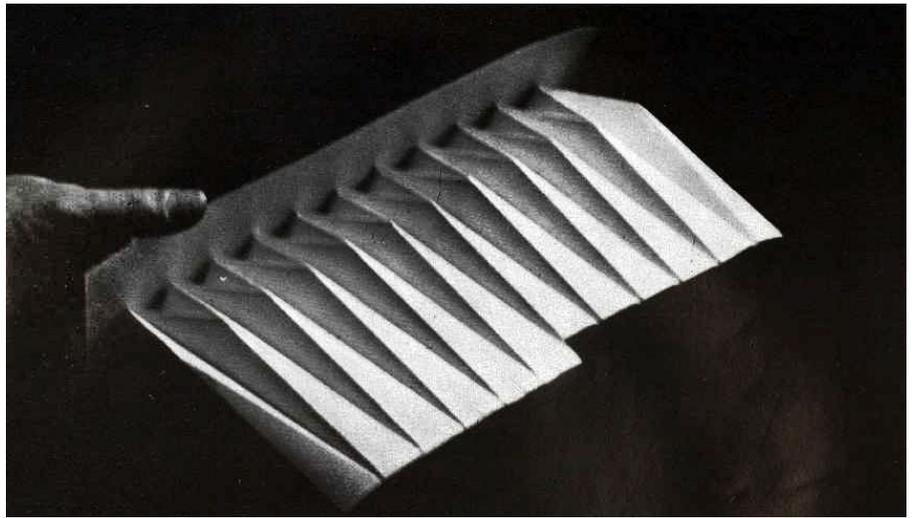


62. Luigi Moretti, "Struttura come forma" in *Spazio*, n. 6, Dicembre 1951-Aprile 1952, p. 21.

63. *Ibid.*

«Penso che oggi e nell'immediato futuro non sia possibile un'architettura se non nella direzione struttura—>forma. Cioè, con dizione non esatta ma forse efficace, nella struttura come forma. La stanchezza verso la direzione forma—>struttura, alla quale appartengono anche la quasi totalità dei maestri del razionalismo e dell'organicismo, sembra evidente e giustificata da due ordini di fatti. Primo: il basso tono attuale della volontà espressiva può trovare spinte efficaci nella atmosfera delle strutture, la sola ricca in partenza di immediati valori positivi e di ragionamento, unici stimoli che riescono a smuovere la nostra macchina spirituale. Secondo: per superare la scoraggiante pletera delle forme che, oramai, con il dilagare della cultura iconografica ci sta sommergendo, l'istinto ci porta a rifiutare in partenza quante più forme gratuite sia possibile. [...] la direzione funzione—>forma, nella quale convennero, teoricamente, l'architettura razionalista [...] si palesa come percorso limitatissimo nel campo dell'architettura. Difatti se per "funzione" intendiamo il complesso dei parametri determinativi degli spazi e dei loro concatenamenti, nonché delle condizioni e qualità dei materiali, si deve rilevare chiaramente l'alternativa: o questi parametri sono in numero limitato e partitamente ed esattamente conosciuti, e allora spazi e materiali si deducono con rigore scientifico [...] quella che io chiamo, e sostengo, "architettura parametrica"; o questi parametri sono numerosi e poco definibili e allora la funzione non può che indicare una forma approssimata, una pre-forma latissima, che soltanto il processo successivo della definizione della struttura costituisce in compiuta figura. E non è questo allora un processo tipico struttura—>forma?».

«I think that today and in the immediate future architecture is not possible except in the direction of structure—>form. That is, with a not exact but perhaps effective diction, in the structure as form. The tiredness towards the direction form—>structure, to which also almost all the masters of rationalism and organicism wish to attain, is evident and justified by two orders of facts. First: the current low tone of expressive will can find effective pushes in the atmosphere of structures, the only one currently rich in immediate positive values and reasoning, the only input that can move our spiritual machine. Second: to overcome the discouraging plethora of forms that, by now, with the spread of an overwhelming iconographic, the instinct leads us to reject as many unjustified forms as possible. [...] the direction function—> form, to which rationalist architecture theoretically agreed [...] appears to be a very limited path in the field of architecture. In fact, if by "function" we mean the complex of parameters determining the spaces and their concatenations, as well as the conditions and quality of the materials, one must clearly see the alternative: either these parameters are limited in number and partly and exactly known, and then spaces and materials are deduced with scientific rigor, [...] what I call, and sustain "parametric architecture"; or these parameters are numerous and little definable and then the function can only indicate an approximate form, a very latent pre-form, which only the subsequent process of the definition of the structure is capable of constituting the full figure. Isn't this then a typical process of structure—>form?»



parole di Moretti, «quella specie di punto magico capace di fermare una struttura nella perennità di una forma; di sublimare la materia in una forma astratta da tutto»⁶⁴. I modelli e i disegni che illustrano il saggio propongono diverse variazioni di pattern geometrici di superfici che si piegano a formare diamanti alternati o concatenati realizzati tramite modelli di carta e riportati su disegni bianchi su fondo nero. «Figus» scrive Moretti «si indirizzò verso le superfici corrugate e, conducendo le sue ricerche direttamente sui modelli prima che sul disegno, giunse dalle forme più semplici alle più complesse ed espressive. Sono tutte forme sviluppabili in piano, nate dall'intersecarsi di superfici piane e quindi secondo spigoli tutti rettilinei. L'essere sviluppabili in piano, il che di fatto consente di ricavare i modelli da un unico foglio con semplici piegature, conferisce loro un aspetto geometrico singolare. Ogni tema di forma viene stabilito dal numero e dalla dimensione dei corrugamenti poiché da questi scaturiscono il disegno e la curvatura dell'insieme»⁶⁵. Le geometrie che piegano le superfici, nel loro rendersi astratte, riassumono sia il carattere *rappresentativo* dell'architettura – amplificando attraverso il loro ritmo le qualità delle *sequenze spaziali* che Moretti individua nell'ultimo, noto editoriale di *Spazio*⁶⁶ – che quello reale, concreto della struttura intesa tecnologicamente e costruttivamente⁶⁷. La volta di copertura così generata enfatizza l'idea di continuità e variabilità dello spazio accentuandone gli aspetti tettonici guidando lo sguardo dell'osservatore da destra a sinistra nella lettura delle linee che segnano l'intradosso delle diverse pieghe. In tale ricerca, la geometria rappresenta per Moretti lo strumento che può avvicinare la forma verso una sua *perennità* attraverso la sua cristallizzazione in una espressione architettonica che sia logicamente ottenibile. Tale relazione va intesa come uno dei fenomeni fondamentali della storia dell'architettura: «il riscontrare i rapporti tra la struttura rappresentativa o ideale e la struttura reale (tecnologica)»⁶⁸. L'idea

64. Ivi, p. 110.

65. Ibid.

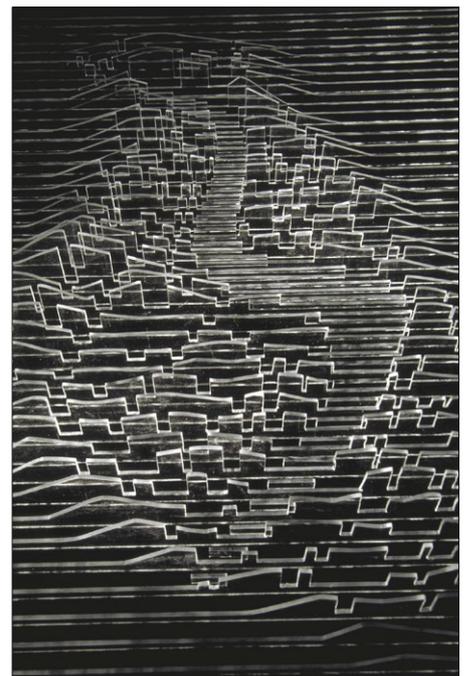
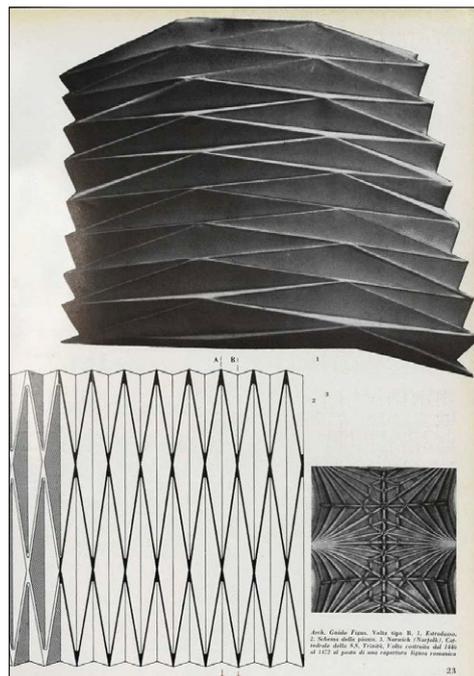
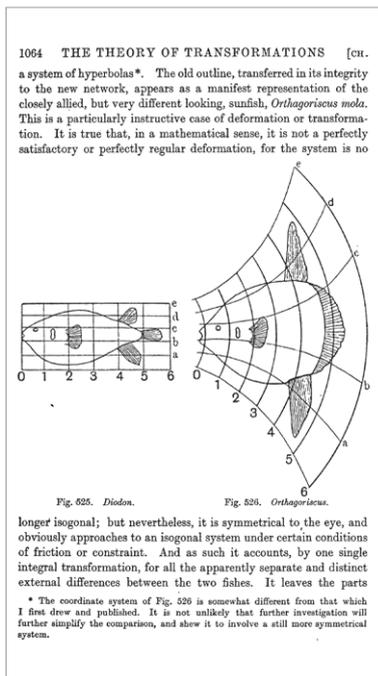
66. Luigi Moretti, "Struttura e sequenze spaziali" in *Spazio*, n. 7, Dicembre 1952-Aprile 1953.

67. Cfr. Luigi Moretti, "Le strutture ideali nell'architettura di Michelangelo e dei barocchi", in *50 immagini di architetture di Luigi Moretti*, De Luca, Roma 1968, e in Orsina Simona Pierini (a cura di) «*Spazio*». *Gli editoriali e altri scritti*, Marinotti, Milano 2019, p. 191.

68. Ivi, p. 193.

Patrik Schumacher, *Parametricism as Style*, London 2008
 «Contemporary avant-garde architecture is addressing the demand for an increased level of articulated complexity by means of retooling its methods on the basis of parametric design systems. The contemporary architectural style that has achieved pervasive hegemony within the contemporary architectural avant-garde can be best understood as a research programme based upon the parametric paradigm. We propose to call this style: Parametricism. Parametricism is the great new style after modernism. Postmodernism and Deconstructivism have been transitional episodes that ushered in this new, long wave of research and innovation».

di forma come struttura, intesa da Moretti come complesso di relazioni, si riallaccia ai principi esposti in *Crescita e Forma* di Thompson. L'interesse di Moretti per Thompson riguarda il più generale entusiasmo che a partire dal secondo Dopoguerra ha riguardato il testo del biologo scozzese, pubblicato per la prima volta nel 1917, e in particolare la possibilità che la "teoria delle trasformazioni" apriva nell'interpretazione delle modificazioni della forma degli organismi naturali. Gli esempi derivati dal campo della biologia citati da Thompson e ripresi da Moretti – la trasformazione del *Diodon* (pesce porcospino) in un *Ortogorisco* (pesce luna) attraverso deformazioni orizzontali iperboliche e verticali a cerchi concentrici – fanno riferimento a



sopra: D'Arcy W. Thompson, estratto da *On Growth and Form*, morfogenesi dell'*Ortogorisco*, 1917
 al centro: Luigi Moretti, *Struttura come forma*, pagina estratta dal numero 6 di "Spazio", elaborazioni grafiche e modelli di Guido Fregni, 1951-1952
 a destra: Zaha Hadid Architects, *One North Masterplan*, modello di studio, Singapore 2003

organismi che si sono sviluppati nel tempo attraverso una serie di variazioni morfologiche da cui è possibile, tuttavia, rintracciare la loro struttura originaria, che permane essenzialmente inalterata⁶⁹. La *struttura* era quindi discretizzabile in un sistema di coordinate cartesiane, esprimibile per mezzo di formule matematiche, anticipando l'utilizzo del concetto di *parametro* come operatore di base dell'operazione di generazione della forma architettonica tale da definire uno stile, il Parametricismo⁷⁰, che a partire dalla fine degli anni '90 ha vissuto un'altalenante fortuna critica⁷¹. Scrive Thompson: «Io penso che Cartesio, nel concepire questo metodo delle coordinate [...] volesse raggiungere uno scopo molto semplice: [...] quello di trasformare la forma di una curva in numeri e lettere. [...] con lo stesso metodo è possibile inscrivere in una rete di coordinate rettangolari, per esempio, il profilo di un pesce e tradurlo così in uno specchietto di numeri, dal quale possiamo nuovamente ricostruire il profilo»⁷². Su un primitivo *form-finding*, prosegue: «il procedimento [...] che interessa il morfologo

69. Thompson, *op. cit.*, p. 324.
 70. Patrik Schumacher, "In Defense of Parametricism", in *Styles: In Defense of... Parametricism*, Machine Books, London 2015.
 71. Cfr. Renato Capozzi, "Contro il parametricismo", in *Op. Cit. Selezione della critica d'arte contemporanea*, n. 169, settembre 2020.
 72. Thompson, *op. cit.*, pp. 293-294.

method of discontinuous development intensively involves external forces in the deformation of morphological types. [...] For instance, the enlargement of a fish's eye is represented by the flexing of a grid. This fluctuation, when compared with a previous position of the transformational type, establishes a relation between water depth and light intensity as those conditions are involved in the formal differences between fish. The flexing grid of relations cannot be arrested at any moment and therefore has the capacity to describe both a general type and the particular events which influence its development [...] The supple geometry of Thompson is capable of both bending under external forces and folding those forces internally. These transformations develop through discontinuous involution rather than continuous evolution».

«D'Arcy Thompson fornisce forse la prima descrizione geometrica della deformazione variabile come istanza di uno sviluppo morfologico discontinuo. Le deformazioni cartesiane che propone, e il loro uso della geometria topologica, flessibile come gomma, suggeriscono un'alternativa alle trasformazioni morfologiche statiche dei tipi architettonici. [...] Thompson è interessato a sviluppare una matematica delle specie naturali ma il suo sistema dipende da un insieme dinamico e fluido di relazioni geometriche. Le deformazioni di un tipo originario definiscono una costellazione flessibile di corrispondenze geometriche. Thompson usa il tipo originario come una semplice disposizione per un sistema dinamico di trasformazioni che avvengono in connessione con forze ambientali più ampie. Il metodo di sviluppo discontinuo di Thompson coinvolge intensamente le forze esterne nella deformazione dei tipi morfologici. [...] Per esempio, l'ingrandimento dell'occhio di un pesce è misurato dall'incremento di flessione di una griglia. Questa fluttuazione, se confrontata con la posizione precedente del tipo in trasformazione, individua una relazione tra la profondità dell'acqua e l'intensità della luce, poiché queste condizioni sono recepite e trasposte in differenze formali. La griglia di relazioni non può essere arrestata e quindi ha la capacità di descrivere sia il generale che gli eventi particolari che ne influenzano lo sviluppo [...] La duttile geometria di Thompson è capace sia di piegarsi in base forze esterne sia di ri-piegarle verso l'interno. Queste trasformazioni si sviluppano attraverso una involuzione piuttosto discontinue evoluzioni continue».

consiste nella deformazione del sistema di coordinate e nello studio della conseguente alterazione della figura inscritta nel diagramma così deformato»⁷³. La ricostruzione a posteriori del profilo originario della figura animale è assimilabile a quello della *ricerca della forma* che avviene computazionalmente, rintracciando nel database di soluzioni a disposizione del software quella più adatta e congruente⁷⁴. Moretti fu uno dei primi architetti a teorizzare la possibilità di un'architettura parametrica, e il primo a utilizzare tale terminologia⁷⁵, fino a fondare nel 1957 insieme a studiosi da altre discipline – ingegneri, matematici – l'IRMOU, Istituto per la Ricerca Matematica e Operativa per l'Urbanistica, e a presentare gli esiti delle sue ricerche in una specifica sezione della XII Triennale di Milano del 1960⁷⁶. In questa espone il suo noto progetto per uno stadio, applicando i principi dell'architettura parametrica per il quale individua una serie di parametri sulla base di due macro-criteri qualitativi – *appetibilità o informazione visiva*⁷⁷ ovvero la qualità dell'esperienza della visione a partire da un punto di vista fisso – a cui la “forma come struttura” era tenuta a rispondere: l'oggetto dell'informazione (attività); il tipo dell'informazione (visiva diretta); i caratteri della specifica classe di informazione nei riguardi del soggetto (lo spettatore)⁷⁸. Eliminati gli spazi a «basso rendimento visivo [...] gli spazi che rimangono sono quelli utilizzabili per gli spettatori. All'interno di questi ultimi spazi vengono identificate le superfici di *equiappetibilità o equiformazione visiva*»⁷⁹. La volontà di controllo della forma tale che essa possa essere resa «quantizzabile» nelle sue «interrelazioni [che] divengono così l'espressione, il codice, del nuovo linguaggio architettonico, la “struttura”, nel senso originario e rigoroso del vocabolo, definente le forme e i loro legamenti»⁸⁰, risultò nella definizione di parametri numerici frutto di dati tangibili da incasellare in scritte note – *algoritmi* – che diano una soluzione univoca (o che producano la soluzione più adeguata) a partire da un ventaglio di possibilità via via sempre più vincolate. Per Moretti, la scrittura di un “algoritmo” può descrivere «l'apparato di valori spaziali, costruttivi, plastici e di luce che, nel loro relazionarsi, costituiscono la struttura generale di un'opera o, in altre parole, la sua “forma”»⁸¹. Scrive Moretti: «un'opera di architettura è dunque in ogni suo punto realtà e rappresentazione, cioè ogni suo punto deve identicamente soddisfare due categorie di esigenze [...] Ogni punto è pertanto un fatto di ordine *tecnico e funzionale*, che sottostà cioè alle imposizioni parametriche della realtà e della tecnica, e un fatto *espressivo*. Si può tentare di chiarire dicendo che un'opera è architettura allora che una delle *n* strutture (in senso costruttivo)

73. Ibid.

74. Cfr. Mario Carpo, "Don't sort: search" in Id., *The Second Digital Turn*, op. cit., p. 23.

75. Cfr. Bruno Reichlin, Letizia Tedeschi (a cura di), *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività tra Barocco e Informale*, Electa, Milano 2010; Andrew Witt, "The Machinic Animal: Autonomic Networks and Behavioural Computation" in Goodhouse, *When is the digital in Architecture?*, op. cit., p. 245.

76. Gabriella Esposito De Vita (a cura di) *Luigi Moretti e La Fondazione Della Rocca. Urbanistica e ricerca operativa*, Fondazione Della Rocca, Roma 2009.

77. Ivi, p. 47.

78. Ibid.

79. Relazione manoscritta dello stesso Bertuglia alla Tavola Rotonda per una “Riflessione a più voci sulla poliedrica figura di Luigi Moretti”, archivio centrale dello Stato e Fondazione Aldo Della Rocca, Roma 2008, citato in Gabriella Esposito De Vita, op. cit.

80. Luigi Moretti, «*Moebius*», a.IV, n. 1, 1971.

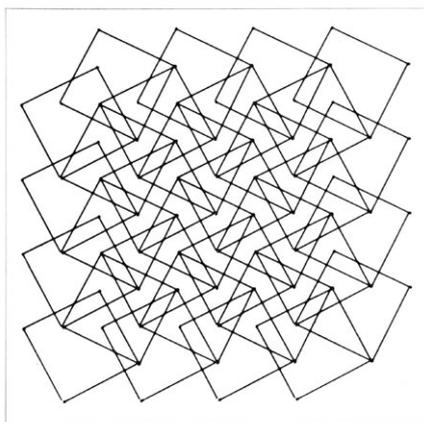
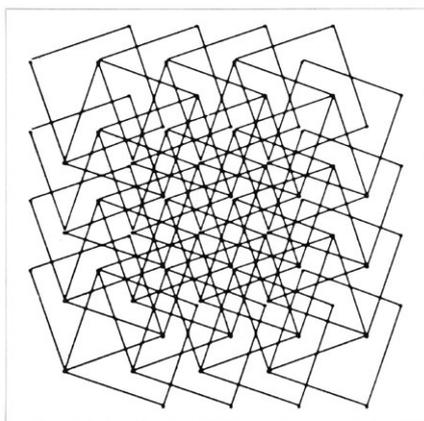
81. Federico Bucci, *Form, Structure, Space: Notes on the Luigi Moretti's Architectural Theory*, AMAG publisher, Matosinhos 2021, p.34.

a destra: Ron Resch con un modello del Resch Pattern, anni '60

sotto: Ron Resch, *Stills from a computer-animated film*, 1968

«A group of squares is transformed from a large checkerboard pattern into a single square and back to a checkerboard pattern. The pictures use a photographic reversal of a picture photographed from a cathode ray tube display. The display that was used in making the film is an "inhouse" display which was designed and built at Illinois in the Coordinated Science Laboratory. The computer used is CDC 1604. The programming language used is a low-level interpreters' language which was written by Ronald Resch with assistance from several programmers and is embedded in a standard Fortran II language. Programming time for sequences represented by these stills varies from two and a half hours to three months».

«Un gruppo di quadrati viene trasformato da un grande motivo a scacchiera in un singolo quadrato e di nuovo in un motivo a scacchiera. Le immagini utilizzano l'inversione fotografica di un'immagine fotografata da un display a tubo catodico. Il display che è stato usato per il film è un display progettato e costruito all'Illinois nel Coordinated Science Laboratory. Il computer utilizzato è il CDC 1604. Il linguaggio di programmazione usato è un linguaggio di basso livello che è stato scritto da Ronald Resch con l'aiuto di diversi programmatori ed è incorporato in un linguaggio standard Fortran II. Il tempo di programmazione per le sequenze rappresentate da questi fotogrammi varia da due ore e mezza a tre mesi».



possibili, coincide con una forma soddisfacente il gruppo di funzioni richieste e con una forma aderente ad un determinato andamento espressivo»⁸². I vincoli individuati sono imposti dall'architetto che resta la mente e la mano pensante dietro le fasi di progetto che gestisce il processo matematico e algoritmico⁸³. Non è un caso che le superfici piegate e le strutture cinetiche a *origami* che interessarono Moretti divennero poi circa cinquant'anni dopo uno dei temi in corso di sviluppo nell'ambito delle ricerche sull'architettura generata con gli strumenti digitali parametrici e di *form-finding*. Tra gli anni Sessanta e Settanta Ron Resch, artista, designer e ricercatore alla University of Utah dal 1969 fu tra i primi a esplorare le potenzialità dei pattern geometrici per la realizzazione di strutture tridimensionali attraverso l'utilizzo di software appositi. Nuovi *mainframes* come l'IBM 7090 aprirono nuove prospettive di ricerche finanziate da governi, università e grandi aziende *corporate* per sviluppare e assoggettare il nuovo potere di calcolo computazionale per gli scopi più disparati⁸⁴. Resch combinò la sua formazione artistica con l'utilizzo di strumenti computazionali, dimostrando come leggi geometriche possano essere trasposte dalla realtà fisica e racchiuse in una serie di variabili da computerizzare. Inteso come mezzo

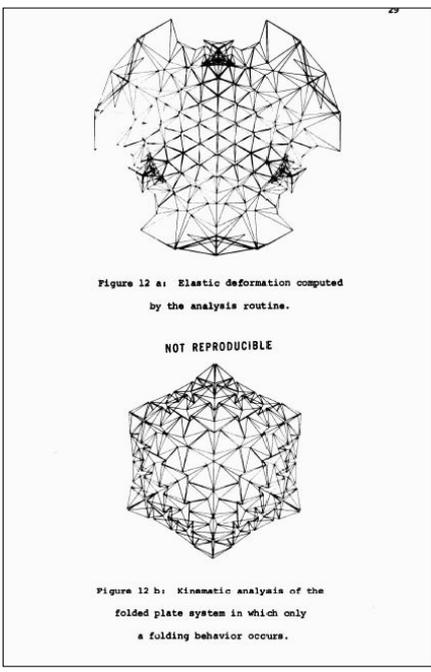
82. Moretti, "Struttura come forma", *op. cit.*, p. 30.

83. *Ibid.*

84. Andrew Witt, Eliza Pertigkiozoglou, *Computation as Design: Ron Resch and the New Media of Geometry*, (ebook), Canadian Centre for Architecture - Harvard University Graduate School of Design, Montréal - Cambridge (MA) 2019.

in basso: Ron Resch incontra Buckminster Fuller a Carbondale, Illinois, ca. 1960–1963
 in basso a destra: Intervista a Ron Resch, "Un nuovo campo di sperimentazione progettuale trovato in un foglio accartocciato", 1970
 sotto: Ron Resch, analisi cinematiche realizzate al computer, 1971

espressivo, il computer per Resch rappresentò innanzitutto uno strumento fondamentale di conoscenza attraverso cui imparare ad osservare trasversalmente l'ambiente, discretizzarlo in *variabili* per produrre soluzioni progettuali sottoforma di *feedback*, in un processo iterativo costruito per lenti e progressivi aggiustamenti. «Il dialogo con l'ambiente esterno, responsivo, può essere sostituito dal dialogo con l'ambiente computerizzato, responsivo anch'esso. Una volta che il modello fisico può essere simulato all'interno del



computer, siamo in grado di produrne e di studiarne una serie di variazioni piuttosto complesse [...] solo attraverso la simulazione computerizzata riusciamo a comprendere le variabili di tale relazione»⁸⁵. Resch fu tra i primi "specialisti" del design computazionale. Anticipando i tempi, Resch introdusse la possibilità di sistemi CAD che permettano la realizzazione di strutture fabbricate, configurate e gestite direttamente dall'utente: «credo che sia possibile [...] porre l'attenzione sulle piccole variazioni dei bisogni degli utenti; progettare oggetti come classi di soluzioni continuamente variabili, al variare dei diversi bisogni»⁸⁶. L'idea di variabilità e responsività, di modificazione e trasformazione morfologica – in questo caso topologica – per rispondere a esigenze in mutamento ritorna quindi anche in Resch, che trova nei sistemi architettonici un campo sperimentare dove testare le sue aspirazioni verso la sintesi tra computazione e aspirazioni artistiche. Resch, infatti, esplorò le possibilità della geometria attraverso un procedimento euristico, «orientato fenomenologicamente»⁸⁷. Il suo processo di avvicinamento alle strutture piegate e cinetiche avvenne tramite il rilievo e la discretizzazione delle pieghe randomiche che si ottengono accartocciando un foglio di carta. Da queste è possibile ricostruire le principali linee di forza dello schema di piegatura, così da ottenere un pattern di pieghe "rinforzate" che, da un'azione puramente

85. Ibid.
 86. Witt, Pertigkiogzoglou, *op. cit.*, sez. "Computation as Design: Ron Resch and the New Media of Geometry".
 87. Ibid.

a destra: Ron Resch, *Folded-paper study*, installazione alla mostra *Made with Paper*, 1967

sotto: Ron Resch, *Stills from a computer-animated film*, 1968

«Design is a kind of feedback between the artist and the environment, between the designer and some posed problem. It seems that the person is always in a position where he says, "What would happen if?" The environment responds with collapsing quite often at his proposed solution when he fabricates it and then he makes modifications and goes again. And this loop goes back and forth. It's my hope that the computer can become a medium in which these posed ideas and supposed solutions can be tested. The excitement for me is to try to develop the computer as a medium for exploration and as a medium for expression».

«Il progetto è una sorta di feedback tra l'artista e l'ambiente, tra il designer e qualche problema posto da esso. Sembra che le persone siano sempre in una posizione in cui chiedersi: "Cosa accadrebbe se?". L'ambiente risponde crollando molto spesso collassando sotto la soluzione proposta quando questa viene costruita, poi avvengono delle modifiche e si ricomincia di nuovo. E questo ciclo va avanti e indietro. La mia speranza è che il computer possa diventare un mezzo in cui queste idee poste e supposte soluzioni possano essere testate. L'eccitazione che provo sta nel cercare di sviluppare il computer come mezzo di esplorazione e come mezzo di espressione».



intuitiva, potevano essere regolarizzati in unità ripetibili a formare una geometria nel piano fatta da tasselli che nello spazio rivelano complesse strutture tridimensionali, dinamiche e trasformabili; uno tra i molteplici pattern di sua invenzione, il *Triangle Fold*, risulta uno dei più esplorati nelle simulazioni di applicazioni di *origami* all'architettura proprio per la sua adattabilità e trasformabilità⁸⁸. Intuizione e razionalizzazione trovano compiutezza nella geometria come strumento di esplorazione formale «grazie alla capacità [dei progettisti] di riconoscere i pattern intrinseci alla natura, ed estrapolare da essi applicazioni progettuali»⁸⁹, un principio sostenuto dallo stesso Buckminster Fuller che ebbe la possibilità di revisionare il lavoro di Resch in una serie di incontri⁹⁰. Tali premesse guideranno Resch nel suo più noto scritto del 1973, *"The Topological Design of Sculptural and Architectural Systems"*⁹¹, in cui descrive i principi della progettazione *topologica*, una metodologia basata sulla possibilità di individuare un "sistema" – concetto cardine comune a tutte le sperimentazioni di quegli anni – composto da parti dalla geometria e dalle dimensioni diverse che siano topologicamente uniformi, ovvero la cui *connettività* tra le parti garantisca l'uniformità della trasformazione: al variare di un elemento subisce una variazione l'intero sistema⁹². Un motivo tipico di quella stagione, che rimanda al concetto di responsività in architettura e, quindi, alla possibilità del suo movimento.

88. M. Giodice, *Modellazione parametrica e comportamento meccanico di superfici adattive in architettura: analisi e sperimentazione*, Tesi di Dottorato in Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", XXIX Ciclo, 2017.

89. «According to Fuller, this was because artists had resisted specialization and maintained their inherent ability to think independently, intuitively and comprehensively». Dana Miller, "Thought Patterns: Buckminster Fuller the Scientist-Artist," in *Buckminster Fuller: Starting with the Universe*, a cura di K. Michael Hays and Dana Miller, Whitney Museum of American Art, New York 2008, p. 23.

90. Witt, Pertigkiozoglou, *op. cit.*, sez. "Computation as Design: Ron Resch and the New Media of Geometry".

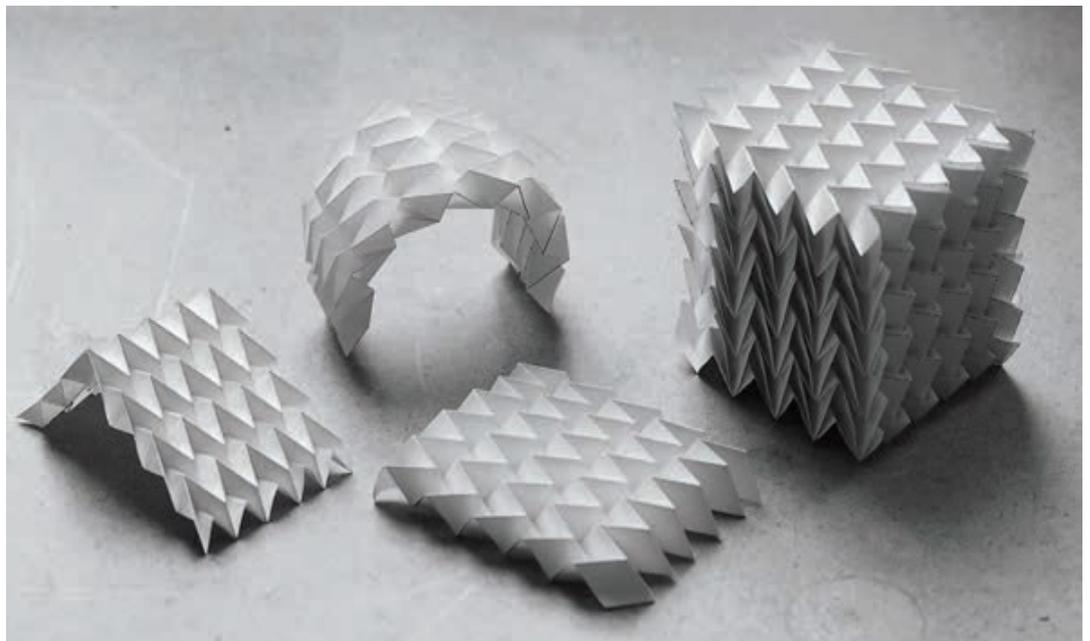
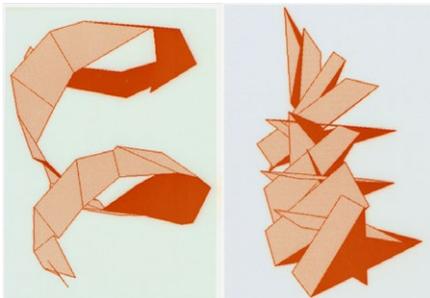
91. Ronald D. Resch, *The Topological Design of Sculptural and Architectural Systems* in *National Computer Conference and Exposition*, AFIPS Press, Montvale 1973.

92. *Ibid.*

Gli origami in architettura

Il concetto di trasformazione topologica proposta da Resch fu precursore di teorie che compariranno alcuni decenni dopo, con la prima *digital turn*, anticipando l'estetica della *smoothness* che diventerà poi la cifra espressiva di alcune architetture iconiche degli anni Novanta⁹³. Il ruolo della superficie assumerà nuovo rilievo: attraverso la sua scomposizione e ricomposizione sfaccettata attraverso la tecnica della tassellazione unirà gli avanzamenti tecnologici e industriali e nell'ingegneria delle costruzioni con la possibilità di una nuova espressività basata sulla continuità topologica. Come introdotto nei capitoli precedenti, l'aspirazione verso la generazione del movimento in architettura trovò in tali premesse terreno fertile per esplorazioni progettuali, in particolare nella scomposizione delle superfici in parti discrete da poter controllare e gestire attraverso il calcolo numerico. Tra le varie tipologie di superfici note per la loro applicazione all'architettura, le superfici ottenibili attraverso la piegatura della carta – scelta per le sue caratteristiche quale la possibilità di essere facilmente piegata e di avere uno spessore trascurabile – riguardano un settore che ha visto negli ultimi anni maturare intorno a sé un rinnovato interesse. L'attenzione verso gli *origami* ha visto la produzione di un gran numero di modelli complessi, le cui geometrie applicate a diversi campi (e solitamente non applicabili in architettura per la loro complessità costruttiva) ma riferibili a forme controllate attraverso procedimenti computazionali matematici. L'emergere di studi scientifici sugli *origami* basati sulla loro progettazione matematica ha definito un ambito noto come *computational origami*, con assiomi e teoremi conseguenti⁹⁴. Per la loro flessibilità di utilizzo e per i numerosi ambiti

in basso: alcuni esempi di applicazioni di pattern geometrici origami per la piegatura della carta
sotto: Daniel Libeskind, Cecil Balmond, *Victoria & Albert Museum Extension*, 1996



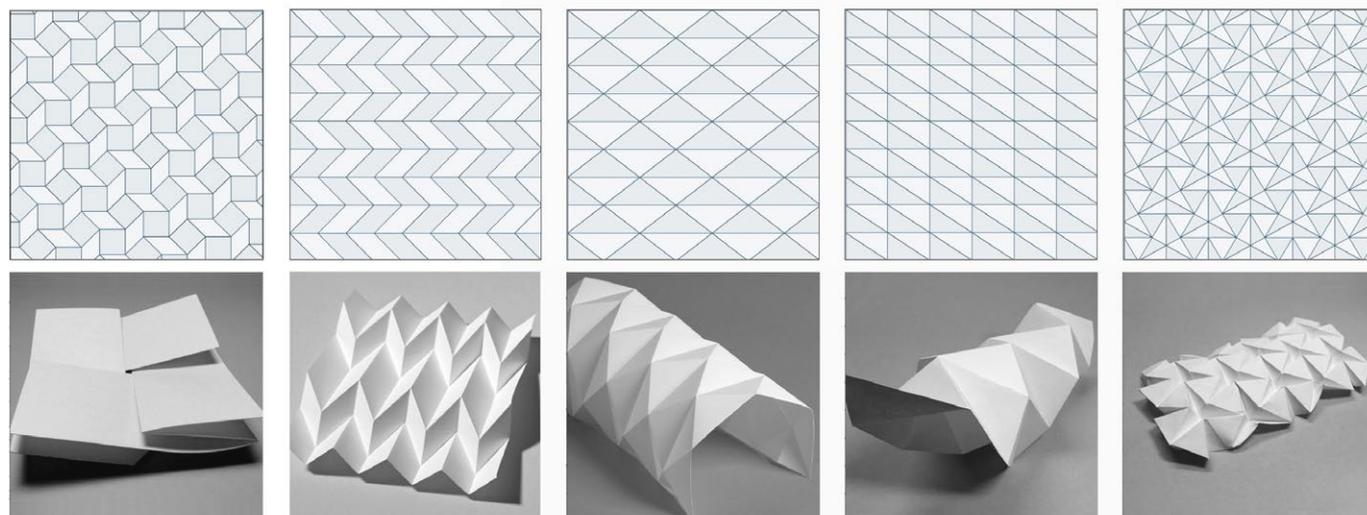
93. Witt, *op. cit.*, p. 276.

94. H. Huzita, "Understanding Geometry through Origami Axioms" in J. Smith (a cura di) *Proceedings of the First International Conference on Origami in Education and Therapy (COET91)*, London: British Origami Society, 1992, pp. 37–70.

Ai sei assiomi presentati al primo convegno sulla matematica degli origami tenutosi a Ferrara nel 1989 dal matematico italo-giapponese Humiaki Huzita ne fu aggiunto un settimo nel 2002 da parte del matematico Koshiro Hatori: «1. Dati due punti p_1 e p_2 , esiste un'unica piegatura che passi per entrambi; 2. Dati due punti p_1 e p_2 , esiste un'unica piegatura che porti p_1 su p_2 ; 3. Date due linee rette r_1 e r_2 , esiste sempre una piegatura che porti r_1 su r_2 ; 4. Dati un punto p e una retta r , esiste un'unica piegatura perpendicolare a r che passi per il punto p ; 5. Dati due punti p_1 e p_2 e una retta r , se esiste una piegatura passante per p_2 che porti p_1 su r allora tale piegatura può essere costruita; 6. Dati due punti p_1 e p_2 e due rette r_1 e r_2 , se esiste una piegatura che porti p_1 su r_1 e p_2 su r_2 , allora tale piegatura può essere costruita; 7. Dati un punto p e due rette r_1 e r_2 , esiste sempre una piegatura perpendicolare a r_2 che porti p su r_1 ».

di ricerca in cui possono essere applicati, gli *origami* hanno affascinato architetti, ingegneri e teorici che si sono interessati di geometria, e oggi rappresentano un argomento il cui avanzamento è strettamente legato allo sviluppo e all'applicazione di software di modellazione parametrica e alla fabbricazione digitale⁹⁵. La piegatura della carta, in questo ambito, può contribuire alla generazione, all'analisi e comprensione di forme complesse attraverso il procedimento di piega e successivo dispiegamento – *folding/unfolding*⁹⁶. La comprensione dei processi generativi è quindi intesa come un «disvelamento dei pattern»⁹⁷ codificati sotto forma di algoritmi che soggiacciono le forme naturali e quelle generate in ambiente digitale. Molti pattern sono stati proposti nel tempo per la generazione di *origami*, con diversi gradi di adattabilità e facilità di realizzazione. Le tassellazioni *origami* possono assumere infinite configurazioni a partire dal pattern di piegatura che si impone sul piano. Il pattern si compone attraverso la ripetizione periodica di una figura geometrica (solitamente triangoli, quadrati, parallelogrammi e rombi) che individuano le pieghe di monte e di valle. Tra i pattern di più comune applicazione troviamo il pattern *Square Twist*, composto da un modulo quadrato centrale collegato a quattro rombi; il pattern *Miura Ori-Herringbone*, presentato nel 1970 per dimostrare il modo in cui pannelli solari per i satelliti avrebbero potuto piegarsi e occupare poco spazio ed essere trasportati agevolmente, è ottenuto tramite l'affiancamento di una serie di parallelogrammi lungo il lato corto posti, in modo da alternare le pieghe di valle e monte; il pattern *Diamond-Yoshimura* che si basa sulla configurazione a diamanti (rombi) piegati lungo la diagonale a formare cilindri o volte una botte dopo essere stato piegato; il pattern *Diagonal*, affine al *Diamond*, si compone di rettangoli o parallelogrammi piegati lungo la diagonale; il *Ron Resch pattern*, a base triangolare o quadrata, è composto dalla ripetizione geometrica della forma di base e dalle pieghe che si sviluppano intorno ad esse, compattando la superficie e rendendola uniforme topologicamente⁹⁸. Le superfici generate attraverso

sopra: Bruno Taut, *Reworked Mountain Peaks*, 1919
in basso, da sinistra: *Square Twist pattern*, *Miura Ori-Herringbone pattern*, *Diamond-Yoshimura pattern*, *Diagonal pattern*, *Ron Resch pattern*



95. Cfr. Andrea Casale, Graziano Mario Valenti, Michele Calvano et al., *The Shape of the Folded Surfaces: Drawing Control and Analysis*, FrancoAngeli, Milano 2019.

96. Cfr. Kostas Terzidis, *Expressive Form. A Conceptual Approach to Computational Design*, Spon Press, London 2003.

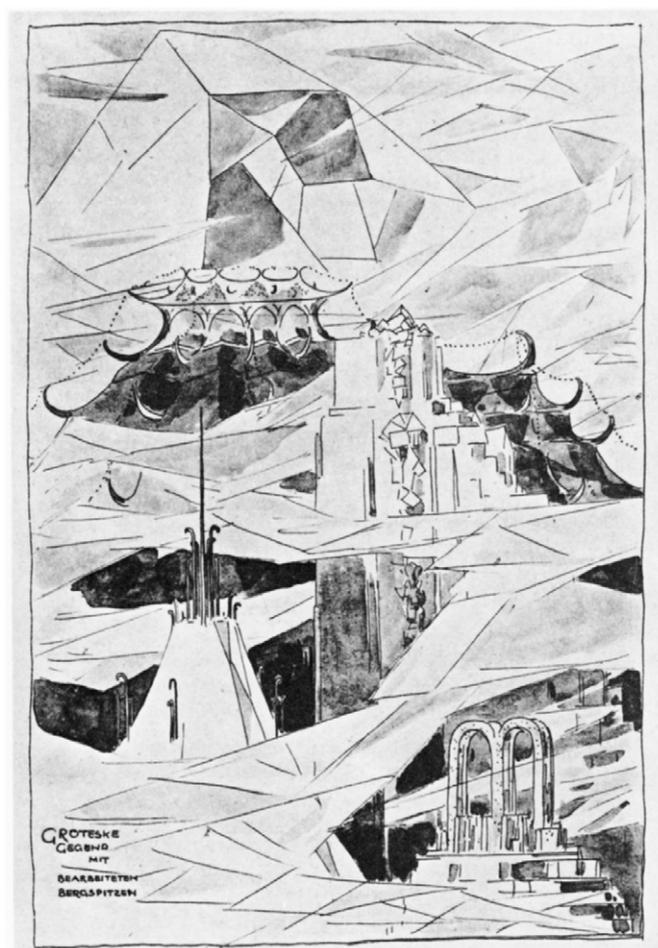
97. Ibid.

98. Cfr. Giodice, *op. cit.*



sopra: Samira Boon, *Archi Folds*, 2017

sopra a destra: Bruno Taut, *Reworked Mountain Peaks*, 1919



pattern *origami* risultano essere quelle più adatte alla movimentazione cinetica, presentando una serie di vantaggi che le hanno rese uno dei campi di sperimentazione più frequentati per le ricerche sulla cinetica in architettura. Queste superfici, infatti, una volta assunta la loro configurazione finale a seguito dell'azione cinetica, risultano *corrugate* nello spazio. Nelle strutture generate a partire da un pattern *origami*, la corrugazione permette di ottimizzare le sezioni in relazione ai carichi e una migliore redistribuzione degli sforzi su tutta la struttura, assolvendo a due compiti principali: un aumento della resistenza meccanica in virtù della sua forma; il miglioramento della movimentazione cinetica dovuta alla possibilità di utilizzare le pieghe della superficie che meccanismi per generare il movimento⁹⁹. La relazione col cinematismo non è tuttavia automatica. La maggior parte delle opere realizzate con questa tecnica si presentano in condizione *statica*: ovvero nella configurazione finale, o aperta, senza effettivamente subire un'azione cinetica¹⁰⁰. La piega, nella conformazione di *monte* e *valle*, è il luogo principale dove le proprietà dell'*origami* si determinano, generando la forma che la superficie assume e le sue proprietà fisiche e costruttive. Tra le varie conformazioni che un *origami* può assumere, si determina quindi uno specifico stato, fisso, scelto proprio l'aspirazione a voler rappresentare attraverso la geometria un certo livello di complessità, tradotta in una

99. Ibid.

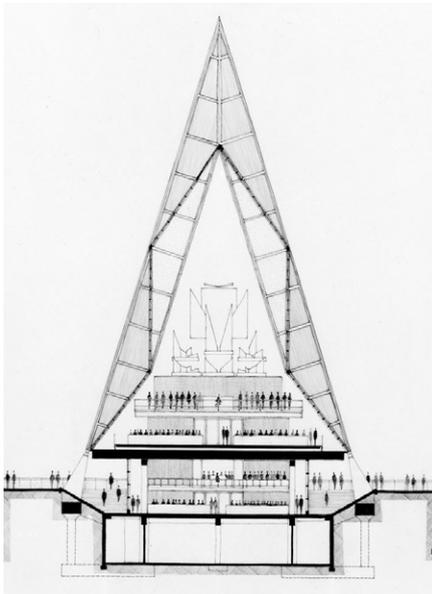
100. Ibid.

in basso: Skidmore, Owings & Merrill, Cadet Chapel, sezione, 1958

in basso a destra: Skidmore, Owings & Merrill, Cadet Chapel, 1958

«The culminating element of the Air Force Academy's design is the Cadet Chapel. In stark contrast to the low, rectilinear forms of the rest of the campus, this monumental building features a succession of 17 glass-and-aluminum spires – each composed of 100 tetrahedrons – that reach upward as if to pierce the sky. Continuous panels of brilliant stained glass clad the tubular tetrahedrons, enabling diffused light to enter the building. The result is a structure that has become a powerful symbol of the Air Force and an enduring example of the expressive possibilities of Modernist architecture. [...] Standing 150 feet tall, the building rises above the rest of the campus on a podium located adjacent to the Court of Honor. The program required three distinct chapels: a 900-seat Protestant chapel, a 500-seat Catholic chapel, and a 100-seat Jewish chapel, each with a separate entrance. The main floor Protestant chapel is enclosed by tetrahedrons clad in extruded aluminum separated by continuous colored glass panels, with windows of special laminated glass. The terrace-level Catholic chapel is characterized by precast masonry forming the ceiling pattern, with side walls of amber glass and strip windows of faceted glass».

caratterizzazione formale corrugata, visivamente dinamica. La piega, inoltre, assurta a dispositivo tettonico che condensa un modo di fare architettura che ha origine con la diffusione della cultura digitale in architettura, è legata ad una precisa idea di scansione dello spazio architettonico e di volontà rappresentativa di un mondo in evoluzione, multidimensionale e non univocamente definibile in una forma tradizionalmente intesa come cristallizzazione di un'idea architettonica. Le superfici piegate sono state utilizzate in architettura per ragioni che spesso hanno riguardato la ricerca di un carattere scultoreo delle forme – come *cristalli*, memori dell'influenza della *Glasarchitektur*¹⁰¹ di Paul Scheerbart e Bruno Taut degli anni Venti – altre volte per ragioni meramente legate alla performance della superficie, modellata per resistere meglio a sollecitazioni strutturali o per accogliere sistemi tecnologici specifici¹⁰². All'interno di questa ampia famiglia, le tassellazioni *origami* riconducibili a pattern noti rappresentano un insieme finito¹⁰³. Osório e Paio distinguono gli *origami* per l'architettura in statici (*static origami*), statico-dispiegabili (*deployable fixed*) e cinetico-dispiegabili (*deployable kinetic*)¹⁰⁴. Gli *static origami* riguardano architetture realizzate attraverso una pattern che permane fisso nel corso del tempo. Tra i primi esempi a richiamare l'utilizzo di *origami* statici c'è la *Cadet Chapel* di Skidmore, Owings & Merrill (1958). I diciassette cavalletti alti 45 metri che compongono la struttura a “capanna” dello spazio per la preghiera del campus per i cadetti dell'aeronautica statunitense sono realizzati attraverso la sovrapposizione di una serie di tetraedri in acciaio rivestiti da una scocca di alluminio, disegnando una geometria che nasce dall'intersezione di due pattern a diamante alternati: uno più basso a conformare lo spazio dell'aula, il secondo più alto a puntare a scandire il

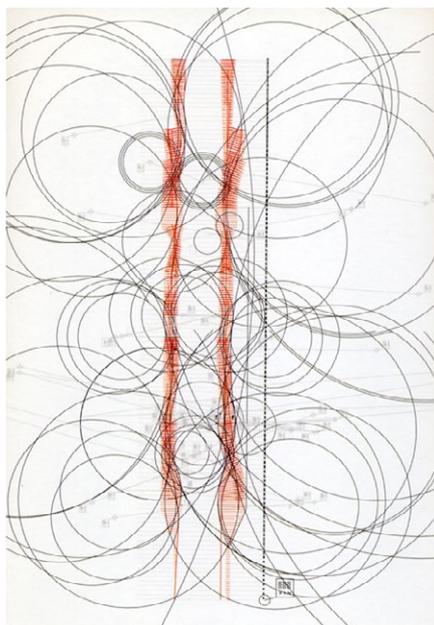


101. Cfr. Paul Scheerbart, *Glasarchitektur*, Verlag der Sturm, Berlino 1918, trad. it. *Architettura di vetro*, Adelphi, Milano 1982.

102. Nenad Šekularac, Jelena Ivanovic-Sekularac, “Folded Structures in Modern Architecture” in *Facta Universitatis. Series Architecture and Civil Engineering*, 10(1), Gennaio 2012, pp. 1-16.

103. Arzu Gönenc Sorguç, Ichiro Hagiwara and Semra Arslan Selçuk, “Origamic in Architecture: A Medium of Inquiry for Design in Architecture” in *Metu Jfa*, n. 2., 2009.

104. Filipa Osório, Alexandra Paio, Sancho Oliveira, “Kinetic Origami Surfaces. From Simulation to Fabrication”, in *Proceedings of CAADFutures 17*, Istanbul Technical University, Institute of Science, Engineering and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing Graduate Program, 2017.



sopra: FOA, *Yokohama International Port Terminal*, pieghe dello spazio interno, 2002
 in alto: FOA, *Yokohama International Port Terminal*, diagramma delle geometrie che sottendono il disegno in pianta, 1995

ritmo della struttura verso il cielo. Nei punti di contatto tra i due pattern, alla base, dove gli elementi in acciaio incontrano i plinti trapezoidali su cui si poggiano, la struttura si svuota per accogliere vetrate colorate che illuminano lo spazio in interno. Se la *Cadet Chapel* ha rappresentato un punto di riferimento per l'utilizzo di pattern geometrici in architettura negli anni Cinquanta come "reazione" espressiva a all'imperante International Style delle *corporate*¹⁰⁵, diventando un simbolo del progresso tecnologico dell'epoca, circa quarant'anni dopo, il *Yokohama International Passenger Terminal* (1995) ha condensato allo stesso modo alcuni principi geometrici sviluppatisi nel corso degli anni Novanta in un approccio formale totalmente rinnovato. Progettato da FOA (Foreign Office Architects, fondato da Farshid Moussavi e Alejandro Zaera-Polo), il terminal si inserisce su una piattaforma della baia di Yokohama come un corpo orizzontale, quasi schiacciato al suolo, il cui spazio principale è caratterizzato da un sistema di copertura generata a partire da un *Diagonal pattern* che grazie alla sua configurazione piegata riesce a coprire le ampie luci interne. «La superficie del piano di calpestio si flette su sé stessa, formando una serie di pieghe che danno resistenza alla struttura, come una costruzione a *origami*. La separazione classica tra l'involucro dell'edificio e la struttura portante scompare. L'utilizzo di elementi "segmentati" [puntuali] come colonne, muri o solaio è stato evitato a favore di un avvicinamento a un tipo di materialità dove la differenziazione degli sforzi strutturali non è determinata da elementi codificati, ma da diverse *singolarità* interne a un *continuum* materico»¹⁰⁶. Come già introdotto nel I capitolo, il progetto per il terminal ha avuto grande influenza ed è riconosciuto come uno dei «più significativi esiti dell'età digitale»¹⁰⁷ volto a dimostrare la possibile risoluzione tra le posizioni decostruttiviste – tese alla frammentazione – e l'approccio alla teoria delle *curvilinearità* discendente da una cultura del *digitale* che in quegli anni andava rafforzandosi; una sintesi che trova nella possibilità di un pattern geometrico continuo la ragione della sua espressione formale.

Nel lavoro dell'architetto spagnolo Carlos Ferrater, la geometria da strumento che governa le logiche della composizione evolve in un vero e proprio elemento sintattico, leggibile come cifra espressiva in tutta la vasta produzione di OAB¹⁰⁸. Nel progetto per la *Stazione intermodale di Saragozza* (2001-2003), il sistema di copertura è composto da una tassellazione geometrica regolare le cui pieghe sono rette da grandi travi diagonali d'acciaio a formare una griglia di triangoli equilateri; una «scomposizione di superfici in elementi discreti»¹⁰⁹. Alternandosi tra opachi e trasparenti, i tasselli acquisiscono consistenza tridimensionale sollevando uno dei vertici dal piano: un'operazione che evoca un cinematismo che si cristallizza a uno stadio preciso del processo di apertura e dispiegamento.

105. *Oral History of Walter Netsch*, intervista di Betty J. Blum, Chicago Architects Oral History Project, The Ernest R. Graham Study Center for Architectural Drawings, Department of Architecture, The Art Institute of Chicago, 1997-200.

106. Foreign Office Architects, "Yokohama International Port Terminal", in *Architectural Design*, 66, Luglio-Agosto 1996, pp 76-77.

107. Carpo, *The Digital Turn in Architecture*, op. cit., p. 57.

108. Cfr. Ignacio Paricio, *Geometric Taxonomy. Carlos Ferrater & OAB*, Actar Publishers, Barcelona 2021.

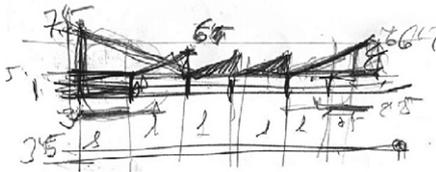
109. Ivi, p. 49.

dall'alto in basso: Carlos Ferrater, *AA House*, schizzo, ortofoto, fotografia dell'esterno, 2010

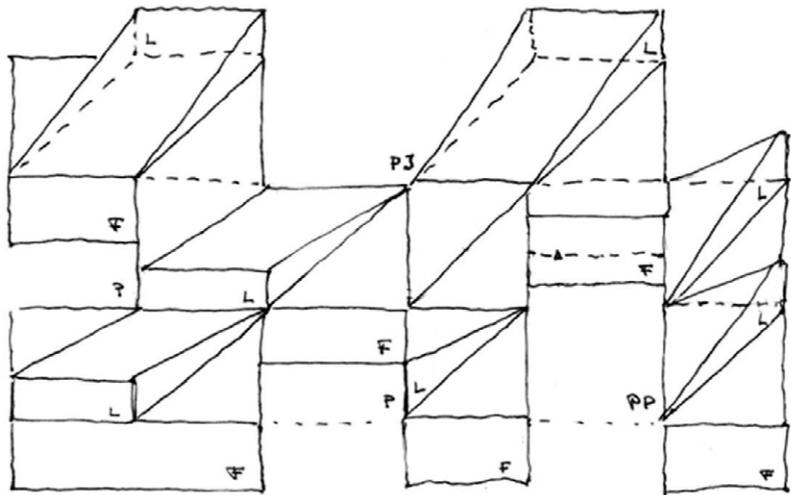
al centro: Carlos Ferrater, *AA House*, schema delle pieghe della copertura, 2010

«The house follows some basic and very simple rules of geometry, which is where the strength of the project lies: a 7x7-metre orthogonal network on which the diagonals of this network are overlaid as in a musical staff, the base on which the composition of the project is formed. The 45° diagonals are the generatrices for the expansions occurring on the roof – skylights in some cases and double heights in others – to produce an artificial topography that rises above that of the terrain».

«La casa segue alcune regole geometriche molto semplici, ed è qui che sta la forza del progetto: una rete ortogonale di 7x7 metri su cui si sovrappongono le diagonali come in un pentagramma musicale, la base su cui si forma la composizione del progetto. Le diagonali a 45° sono le generatrici delle espansioni che avvengono sul tetto – lucernari in alcuni casi e doppie altezze in altri – per produrre una topografia artificiale che si eleva sopra quella del terreno.».



La grande massa del tetto è così svuotata da tetraedri vetrati, permettendo così alla luce di illuminare lo spazio d'arrivo dei treni. Lo stesso procedimento verrà utilizzato da Ferrater progetti a scala minore come la *Vineria Frontaura* (2007) o la *AA House* (2010). Nel modello della *Vineria* è evidente il richiamo al pattern *Diamond*: le celle quadrate che disegnano l'edificio vengono divise in due e orientate lungo le diagonali formando un pattern periodico e simmetrico a disegnare un nuovo paesaggio di pinnacoli, così come nella *AA House* le diagonali solcano le unità minime rettangolari di cui si compone la casa individuando doppie altezze e lucernai. Negli anni della sua formazione, Ferrater ha certamente avuto modo di osservare le opere e le vicende di alcuni maestri dell'architettura in Spagna della seconda metà del Novecento (de Oíza, Fisac, de la Sota, per citarne solo tre) per i quali l'applicazione di determinate geometrie all'architettura – di derivazione Modernista e filtrate successivamente attraverso una concezione organicistica – insieme allo studio delle tecniche costruttive, l'attento utilizzo dei materiali e la riscoperta del vernacolare assunsero un ruolo fondamentale per una cultura architettonica che in

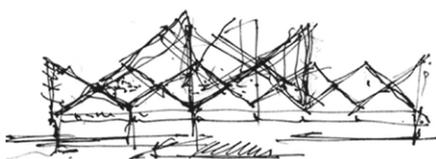
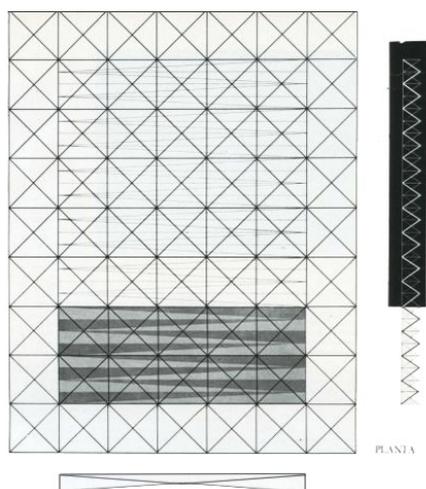


quegli anni cominciava ad emergere in Europa nei suoi tratti distintivi¹¹⁰. Nel progetto per una *Capilla en el camino de Santiago* (1954) di Francisco Javier Sáenz de Oíza, sviluppato insieme a Luis Román e l'artista Jorge Oteiza un parallelepipedo realizzato con una struttura reticolare in alluminio bianco è sospeso su quattro sottili colonne d'acciaio. Lo spazio interno è racchiuso da un solo, possente muro di pietra decorato dallo scultore basco con un bassorilievo a tema religioso, che si piega su sé stesso ma non si chiude, oltrepassando per un breve tratto il perimetro esterno e segnalare in questo modo l'accesso¹¹¹. L'alluminio che disegna il volume di copertura è «utilizzato con una purezza da ingegnere che non si occupa di architettura, che è quando la *pura architettura* – o forse l'architettura di oggi, del nostro secolo – emerge»¹¹², accentuando il contrasto tra l'attacco

110. Gabriel Ruiz Cabrero, *The Modern in Spain: Architecture after 1948*, MIT Press, Cambridge (MA) 2000.

111. *Arquitecturas Ausentes del siglo XX / Absent Architecture of the 20th Century*, mostra di architettura, CIVA, Bruxelles 26.02.2010 – 18.04.2010.

112. Alejandro de la Sota, "A Chapel on the Way of St. James" in *Revista Nacional de Arquitectura*, n. 161, Dicembre 1955, p. 24, citato in Alejandro de la Sota, *In Defence of Logical Architecture and Other Essays*, König Books, Londra 2020.



in alto: Francisco Javier Sáenz de Oíza, Jorge Oteiza, *Capilla en el camino de Santiago*, pianta, sezioni della copertura e prospettiva dall'esterno, 1954
 al centro: Carlos Ferrater, *Vineria Frontaura*, schizzo e collage, 2007

a terra, segnato dalla pietra, e la struttura metallica smaterializzata. Tra il volume di alluminio e lo spazio dell'aula definito dal muro, il terzo elemento dell'opera consiste nel sistema di chiusura orizzontale dello spazio interno: una sottile membrana, piegata seguendo un pattern geometrico *Diagonal* che si sviluppa lungo il lato corto, sospesa alla copertura. «La copertura» scrive Oíza «è concepita come una superficie leggera, piegata a zig-zag»¹¹³ che insieme al muro e al volume compone una triade di elementi la cui definizione formale è dettata da geometrie pure: il piano orizzontale, il sostegno verticale, il volume di copertura. La superficie di copertura interna rappresenta l'unica parte dell'edificio che sembra assumere un carattere dinamico, necessario per scandire il passo delle campate interne della

113. Scrive Oíza: «En breves palabras, la arquitectura parte de una estructura geométrica espacial formada por elementos lineales metálicos, aristas de una ideal malla poliédrica, que, apoyándose en limitados puntos de una planta, sitúa en el espacio una red múltiple de puntos fijos, que pueden servir de apoyo y soporte, mejor diríamos suspensión o sostén, a la cubierta, concebida como una superficie ligera y plegada en zigzag. Independientemente de estructura y cubierta, y sin tocar a ésta última (pues ni para una ni para otra serviría), se dispone un muro de piedra de cinco metros de altura que, delimitando en parte el recinto interior, es, a su vez, lugar de desarrollo de un tema simbólico o leyenda del Apóstol, según bocetos del escultor Jorge Oteiza», in *Revista Nacional de Arquitectura*, op. cit., p. 14.

in basso a destra: Renzo Piano, *Fabbrica mobile per l'estrazione dello zolfo*, sezione longitudinale e foto dall'esterno, 1966

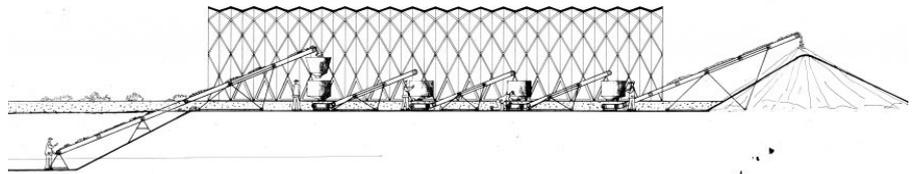
in basso: Renzo Piano, *Laboratorio di falegnameria*, foto dall'interno, 1965

«The early works were projects that experimented with different materials and construction methods, reflecting on the flexibility of space, and that sought transparency and lightness; the early years were a journey, a process of learning about the complexity of architecture through real hands-on experience of the step by step basics of construction on site. These projects were also an opportunity to further consider the relationship between structure and function. One area of study was investigating how best to use new and non-traditional construction materials – such as polyester and its derived products, including fibreglass. The physical properties of materials were studied and experimented with lightness, strength, flexibility, facility of fabrication and assembly. [...] Linked to this was the idea of designing a building that was highly adaptable to changing needs: the sulphur extraction plant in Pomezia, consisted of a lightweight, modular structure that moved around the excavation site».

«I primi lavori riguardarono progetti che sperimentarono diversi materiali e metodi di costruzione e la flessibilità dello spazio, e che cercavano trasparenza e leggerezza; i primi anni sono stati un viaggio, un processo di apprendimento della complessità dell'architettura attraverso una reale esperienza pratica delle basi passo dopo passo nella costruzione in cantiere. Questi progetti furono anche un'opportunità per ragionare ulteriormente sulla relazione tra struttura e funzione. Un'area di ricerca è stata l'utilizzazione al meglio dei nuovi materiali da costruzione non tradizionali – come il poliestere e i suoi derivati, compresa la fibra di vetro. Le proprietà fisiche dei materiali sono state studiate e sperimentate con leggerezza, forza, flessibilità, facilità di fabbricazione e assemblaggio. [...] Connessa a questa c'era l'idea di progettare un edificio che fosse altamente adattabile al mutare delle esigenze: l'impianto di estrazione dello zolfo a Pomezia, ad esempio, consisteva in una struttura leggera e modulare che si spostava nel sito di scavo».

cappella; un elemento che anche in sezione dichiara la sua indipendenza formale e il suo carattere di vero “tetto” dell'aula; qualità che il volume in alluminio volutamente non raggiunge, per destinarla alla membrana piegata che separa l'interno dall'esterno.

Il secondo gruppo comprende strutture che sfruttano le possibilità di resistenza per forma degli *origami* e la capacità di essere ripiegati in forma compressa, trasportabile e riasssemblabile altrove. Sono strutture in grado di reggere loro stesse grazie alla conformazione corrugata, e le più diffuse in ambito sperimentale per la possibilità di essere realizzate agevolmente con materiali leggeri come cartone, legno o tessuto, in quanto non richiedono meccanismi di funzionamento per il funzionamento del cinematismo, che viene generato scomponendo la struttura in parti e rimontandola o dispiegandola nello spazio. La *Fabbrica mobile per l'estrazione dello zolfo* (1966) a Pomezia di Renzo Piano, ad esempio, utilizza un *Diamond pattern* che modula la struttura permettendo il suo sviluppo nel senso della lunghezza. La scelta del *Diamond pattern* deriva dalla buona adattabilità che il pattern offre nella realizzazione di “volte” a botte corrugate, in grado di resistere ai carichi verticali. A ciò si legò l'idea di progettare un'architettura che fosse adattabile alle esigenze dell'impianto di estrazione. Il padiglione è stato progettato da Piano in modo da poter essere facilmente trasportato su nuovi punti di estrazione dello zolfo, attraverso lo smontaggio e il rimontaggio progressivo dei “diamanti” che si piegano adattandosi al pattern prestabilito.





in alto: Tom Emerson, *Cardboard Banquet*, 2009
sopra: Luigi Alini, *Cardboard Pavilion*, 2009

Insieme ad altri lavori della metà degli anni Sessanta¹¹⁴ che utilizzarono lo stesso approccio – come il *Laboratorio di falegnameria* (1965) – la *Fabbrica mobile* rappresentò uno dei progetti più importanti che Piano realizzò a seguito di una serie di sperimentazioni con materiali come la vetroresina o il poliestere, per sfruttarne le proprietà di trasparenza e leggerezza, oltre che di facile fabbricabilità e assemblabilità, aspetti che concorreranno a definire la poetica espressiva che porterà avanti nei decenni successivi.

La costruzione di padiglioni assemblabili sulla base di pattern *origami* è stata sperimentata in varie esperienze di progetto tenute nell'ambito di corsi universitari, workshop e attività di ricerca accademica. Tra gli esempi, il workshop all'Università di Cambridge dal Rentaro Nishimura, Tom Emerson e Max Beckenbauer in cui gli studenti insieme hanno realizzato il *Cardboard Banquet* (2009)¹¹⁵. un padiglione in cartone rigido realizzato su un disegno basato su un *Diamond pattern*. Capace di ospitare ottanta persone, e realizzato in soli tre giorni, il padiglione è scomponibile in una serie di tasselli indipendenti che montati insieme a formare lo spazio "voltato" permettono lo sviluppo potenzialmente infinito del padiglione lungo la sua direzione principale. Attraverso vari tentativi, *imparando facendo*, gli studenti sono giunti alla realizzazione del prototipo. Tra le regole del workshop, infatti, quella di non poter usare il computer e gli strumenti di modellazione digitale. Anche in questo caso, la piega *origami* è utilizzata come un modello di sperimentazione euristica per cui a un procedimento intuitivo segue una successiva sistematizzazione in un codice condivisibile, in questo caso, tra gli studenti e a fini didattici. L'utilizzo del cartone – materiale di facile reperimento, leggero, tagliabile e modificabile anche senza l'utilizzo di macchine a controllo numerico o attrezzature da falegnameria – è stato esplorato anche nel progetto *Cardboard Pavilion* (2009)¹¹⁶ di Luigi Alini, professore all'Università di Catania. Il padiglione è stato realizzato con lo stesso principio della sovrapposizione di tasselli in cartone a singola onda, scelto perché sufficientemente flessibile e resistente per permettere l'operazione di piegatura, successivamente impermeabilizzati e resi coesi tra loro tramite connettori meccanici in plastica nei punti di contatto. Il progetto è stato gestito attraverso la parametrizzazione di una serie di dati che ne hanno successivamente definito la geometria basandosi su due tipi di pattern *origami*, il *Diamond* e il *Miura Ori*. Tra i parametri selezionati, la capacità di carico e la resistenza allo strappo, che hanno permesso di gestire la performance strutturale del padiglione e si sono tradotti nelle geometrie dei tasselli. Il terzo gruppo, invece, riguarda pattern *origami* che sono soggetti ad un'azione cinetica nello spazio, utilizzati principalmente per componenti applicate all'architettura: pareti riconfigurabili, sistemi di ombreggiatura, superfici per migliorare l'acustica di uno spazio, per installazioni artistiche. Il cinematismo è solitamente abilitato a livello dei singoli tasselli che vengono attivati da meccanismi

114. Cfr. Lorenzo Cicarelli, *Renzo Piano prima di Renzo Piano. I maestri e gli esordi*, Quolibet, Macerata 2017.

115. Luigi Alini, *Paper Architecture. Sperimentazioni in corso*, in Alfonso Acocella (a cura di), *Paper Design*, Altralinea Edizioni, Firenze 2014, pp. 130-151.

116. Ibid.

sopra: AHR, *Torri Al Bahr*, 2012
in alto: Buckminster Fuller, Montreal Biosphere, fotografia
di cantiere, fase di montaggio del sistema responsivo di
chiusura, 1967



governati da un sistema che elabora gli input provenienti dall'esterno per generare il cinematisimo: un sistema, appunto, cinetico-responsivo. Osório fornisce un'ulteriore suddivisione di questo insieme¹¹⁷, individuando i sistemi che agiscono per *moduli*, ovvero quelli composti da un numero ridotto di facce il cui movimento si riduce ad uno, massimo due gradi libertà, e quelli individuabili in *superfici* cinetico responsive, il cui movimento è molto più complesso e che risultano omogenee e continue.

Tra gli edifici più noti a presentare *moduli* a *origami* cinetici troviamo il rivestimento delle *Torri Al Bahr* (2012) ad Abu Dhabi. Il sistema di protezione delle facciate si compone di un pattern di elementi triangolari, a loro volta scomposti in sei facce cinetico-responsive. All'occorrenza, queste vengono attivate da un pistone centrale a cui sono connesse che lascia scorrere le facce attraverso una serie di cerniere di collegamento, così da proteggere l'edificio dall'eccessiva radiazione solare e dalle tempeste di sabbia. Il pattern segue il profilo curvo delle torri densificandosi nei fronti più soleggiati. In molte delle sue opere, David Letellier lavora con elementi modulari cinetici, come nel caso di *Versus* (2011), in cui elementi responsivi realizzati attraverso una una piega di tipo *origami* si muovono sulla base degli input sonori proveniente dall'ambiente dove sono installati attraverso pistoni che piegano fogli d'acciaio e li fanno scorrere gli uni sugli altri. Tra i pattern *origami* cinetici intesi come *superfici*, invece, troviamo un'opera realizzata da Skidmore, Owings & Merrill, la *Kinematic Sculpture* (2018-2019)¹¹⁸. Il padiglione è composto da 99 pannelli in legno collegati tra loro da cerniere in acciaio a formare una superficie a doppia curvatura, sospeso ad una struttura d'acciaio da dei cavi che mettono in tensione la superficie. Grazie alla sua conformazione la superficie può essere "allargata" o "ristretta" generando un cinematisimo responsivo sulla base del numero di persone che accedono allo spazio. Gli esempi di superfici cinetiche a *origami* sono tendenzialmente rintracciabili nel disegno di elementi o componenti, meglio controllabili ad una scala ridotta. Tachi, docente all'università di Tokyo, che da molti anni studia gli *origami* e le loro possibili applicazioni in architettura e in ingegneria. Con il suo gruppo di ricerca ha sviluppato il *Kinetic Wall* (2011), un *origami* basato su un pattern *Miura Ori* utilizzabile come elemento parete in grado di piegarsi rigidamente senza presentare deformazioni del materiale. L'obiettivo per Tachi era quello di ottenere una superficie continua e senza "tagli" dovuti ai punti in cui i tasselli dell'*origami* si incontrano e dove, solitamente, sono posizionate le cerniere che abilitano il movimento. Le superfici cinetiche sono state spesso utilizzate per modificare e migliorare la performance acustica di alcuni spazi. Gli esempi di Letellier con *Tessel* (2010), di Fishtnk con la *Tunable Sound Cloud* (2010) e *Resonant Chamber* (2012) di RVTR affrontano questi temi, proponendo superfici cinetiche in sospensione, attivate da sistemi elettronici che migliorino la performance acustica e allo stesso tempo costituiscano dei dispositivi spaziali "attivi" in grado di modificare la percezione dello spazio da parte dell'osservatore.

117. Filipa Osório, *Origami Surfaces for Kinetic Architecture*, tesi di dottorato, 2019.

118. Descrizione del progetto ricevuta via mail dallo studio SOM, Chicago, 2021.

Skidmore, Owings & Merrill, *Kinematic Sculpture*, 2017

«The origami-like art installation explores kinematics – the science of motion and is inspired by the mathematical relationships between force and motion. Through geometric design, the surface can be moved and flexed into various shapes from its original geometry with the application of minimal pressure or load. The structure remains rigid throughout its pattern of movement. The idea was to create a structure that can be moved in a single smooth continuous motion without deforming any of the individual panels and with minimal human effort. To accomplish this without the structure “binding up” as motion is attempted, special mathematical rules must be used in the geometric design, and the engineering details must prevent unwanted deformations. SOM’s research and design process for the sculpture included designing the geometric form, conducting analyses to understand the behavior of the structure’s movement, materials testing, and constructing scaled models to refine design solutions for strength, serviceability, and constructability. [...] The sculpture is a manifestation of how a small idea inspired by ancient origami techniques can become part of an artistic creation, highlighting the longstanding relationship between art, engineering, and architecture. Beyond remarkable artwork opportunities, future structures could be designed to morph based on programmatic needs learned from the process of constructing the Kinematic Sculpture».

«L’installazione artistica di tipo origami esplora la cinematica – la scienza del movimento e si ispira alle relazioni matematiche tra forza e movimento. Attraverso il progetto della geometria, la superficie può essere spostata e flettersi in varie forme in base alla sua geometria originale con l’applicazione di una pressione o di un carico minimo. La struttura rimane rigida durante tutto il suo movimento. L’idea era di realizzare una struttura mobile in un unico movimento continuo senza deformare nessuno dei singoli pannelli e con uno sforzo umano minimo. Per ottenerlo senza che la struttura si “impacchetti” quando si tenta il movimento, si devono usare speciali regole matematiche nel disegno geometrico e i dettagli ingegneristici devono prevenire deformazioni indesiderate. Il processo di ricerca di SOM per la scultura ha riguardato la progettazione della forma geometrica, la conduzione di analisi per comprendere il comportamento del movimento della struttura, la prova dei materiali e la costruzione di modelli in scala per perfezionare le soluzioni di progettazione per la resistenza, la funzionalità e la costruibilità. [...] La scultura è una manifestazione di come una piccola idea ispirata da antiche tecniche di origami possa diventare parte di una creazione artistica, evidenziando la lunga relazione tra arte, ingegneria e architettura. Al di là delle notevoli opportunità per la produzione artistica, le strutture future potrebbero essere progettate per trasformarsi in base alle esigenze programmatiche apprese dal processo di costruzione della scultura cinematica».



Le tre strutture sospese si articolano in elementi triangolari; la dinamica delle superfici e il loro lento movimento costituiscono un’interfaccia tra osservatore, spazio e suono, realizzando un dialogo tra cinetica, geometria e le caratteristiche mutevoli di uno spazio. Recenti ricerche, tra cui quelle di Tachi¹¹⁹, Capone et al,¹²⁰ Casale et al.¹²¹, Rivas Adrover,¹²² hanno provato ad approfondire le possibilità di applicazione degli *origami* in architettura sia da un punto di vista della resistenza strutturale che da quello dell’azione cinetica. Tomohiro Tachi e il suo gruppo all’Università di

119. Tomohiro Tachi, “Simulation of Rigid Origami”, in *Origami4: The Fourth International Conference on Origami in Science, Mathematics, and Education*, a cura di Robert Lang, 2009., pp. 175-187.

120. Mara Capone, Emanuela Lanzara, Laura Marsillo, Carlos Alejandro Nome Silva, “Responsive Complex Surfaces Manufacturing Using Origami”, in José Pedro Sousa et al. (a cura di), *Proceedings of 37 eCAADe and XXIII SIGraDi Joint Conference, “Architecture in the Age of the 4Th Industrial Revolution”*, Blucher, São Paulo 2019.

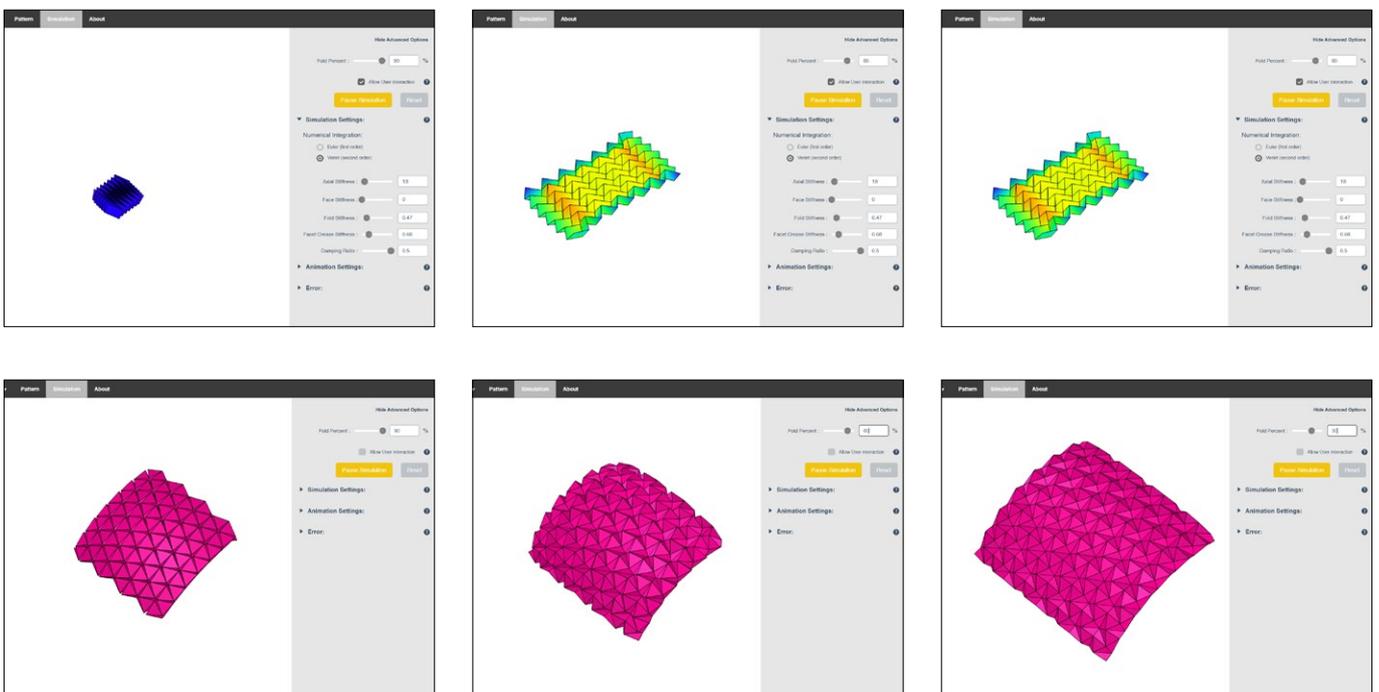
121. Michele Calvano, Andrea Casale, Mario Valenti, *The Shape of the Folded Surfaces. Drawing Control and Analysis*, FrancoAngeli, Milano 2019.

122. E. Rivas Adrover, “Origami-Scissor Hinged Geometry Method”, in *The Proceedings from the 7th International Meeting on Origami in Science, Mathematics, and Education*, 2018.



sopra: David Letellier, *Versus*, 2011
 in basso: Screenshot dal sito web <https://origamisimulator.org/>, pattern *Miura-Ori* e *Ron Resch* rispettivamente al 30, 60, e 90% di apertura.

Tokyo rappresentano un punto di riferimento per le ricerche sugli *origami*. Uno dei suoi studi più noti riguardanti l'applicazione degli *origami* in architettura riguarda la possibilità di sviluppare un sistema di pannelli “spessi”, con particolare attenzione agli aspetti legati alla fabbricazione dei tasselli, come ad esempio attraverso una loro rastremazione (*tapered*) o a spessore costante (*constant thickness*) che, conservando il comportamento *teorico* delle superfici a spessore nullo, riescano a trovare forma in possibili configurazioni architettoniche, o nel caso dello sviluppo di soluzioni per evitare le collisioni dei pannelli durante il cinematismo, in particolare con i metodi *Axis Shift* e *Movable Fold*¹²³. L'*origami* sviluppabile in piano inteso come modello matematico si assume a spessore nullo; le simulazioni in ambiente digitale utilizzano questa approssimazione per poter concentrare lo studio sui movimenti cinetici generabili attraverso il sistema di pieghe. La realizzazione di prototipi, ovvero la trasposizione di tale modello concettuale in una possibile applicazione concreta necessita di un attento controllo dello spessore dei tasselli dell'*origami* per evitare collisioni e interpenetrazioni che non permetterebbero il regolare sviluppo della struttura nello spazio. Gli studi di Tachi hanno anche riguardato lo sviluppo di tools per la generazione di pattern *origami* come *Origamizer* e *FreeFormOrigami*¹²⁴, su cui poter caricare i propri modelli tridimensionali e ottenere pattern sviluppabili, che hanno successivamente ispirato altre ricerche sull'ottimizzazione e la simulazione attraverso browser come l'*Origami Simulator*¹²⁵ con l'obiettivo di rendere più accessibile a progettisti e designer le procedure per l'utilizzo degli *origami*. Tra gli altri studi più recenti sul tema, si segnalano due tesi di dottorato seguite da Paulino al Georgia Institute of Technology



123. Osório, *op. cit.*, p. 168.

124. Accessibile al sito web <https://origami.c.u-tokyo.ac.jp/~tachi/software/>, [10.05.2021].

125. Amanda Ghassaei, Erik D. Demaine, Neil Gershenfeld, “Fast, Interactive *Origami* Simulation using GPU Computation”, in *Origami7: Proceedings of the 7th International Meeting on Origami in Science, Mathematics and Education (OSME 2018)*, vol. 4, Oxford 2018, pp. 1151–1166.

sulla relazione tra ingegneria strutturale¹²⁶, la tesi tra *origami* e robotica di Gardiner¹²⁷ e la tesi di Osório all'Instituto Universitario de Lisboa¹²⁸.

A partire da un approccio multidisciplinare fino all'utilizzo degli *origami* in architettura, dalla piega di una superficie piana è possibile generare forme dalle geometrie complesse in relazione a una configurazione progettata o, in alcuni casi, scoperta e prodotta nell'atto stesso della piega. In questo senso, la piega si dimostra un vero e proprio strumento di progetto, processo univoco e non assimilabile al suo inverso: «*piegare* implica una trasformazione continua, mentre la sua funzione inversa, il *dis-piegare*, non lo è [...] in questo contesto, il *dis-piegare* è inteso in opposizione al concetto di intricatezza e tortuosità. Il *dis-piegare* è associato alla rivelazione di un pattern»¹²⁹. Se la piega serve quindi a generare espressioni formali di nuova complessità, il suo inverso – la comprensione delle sue origini – ne disvela i procedimenti alla base, chiarendone le premesse e individuandone i futuri sviluppi.

in basso: David Letellier, *Terrain*, 2009



126. Ke Liu, "Origami and tensegrity: structures and metamaterials", tesi di dottorato, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 2019; Evgueni T. Filipov "Tailoring stiffness of deployable *origami*", tesi di dottorato, Department of Civil and Environmental Engineering, UIUC, 2016.

127. Matthew R. Gardiner, "ORI+. On the Aesthetics of Folding and Technology", tesi di dottorato, University of Newcastle, Australia, 2018.

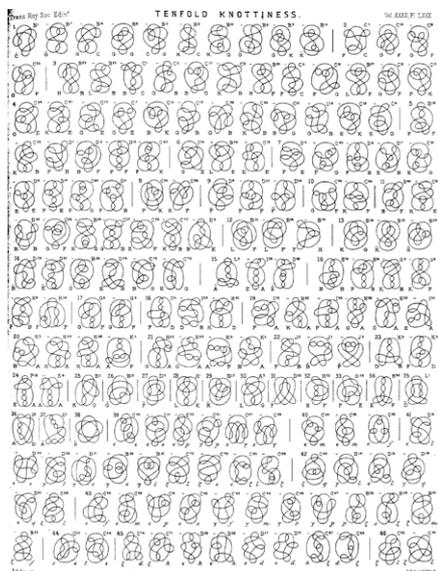
128. Osório, Paio, *op. cit.*, p. 168.

129. Terzidis, *op. cit.*, p. 51.

Parte II – Strumenti

IV. Leggere la cinetica

«Technology is the answer – but what was the question?».
Cedric Price, 1966



in alto: Peter Guthrie Tait, *The First Seven Orders of Knottiness*, 1884
sopra: Peter Guthrie Tait, *The First Seven Orders of Knottiness*, 1885

Dalle strutture portatili e dispiegabili alle *Walking Cities*¹ la cinetica è sempre stata integrata agli edifici come una modalità prettamente corporea attraverso cui l'uomo interagisce con l'architettura. Data la vastità della portata di tale implicazione e i vari aspetti che coinvolge, molti architetti, ingegneri e studiosi del fenomeno del movimento di un'opera costruita o di alcune delle sue parti costituenti hanno provato a elencare e descrivere le possibili caratteristiche attraverso cui mappare, classificare e interpretare la cinetica in architettura. Orientarsi in questo ampio ambito richiede strumenti precisi di ricognizione e scandagliamento. L'atto cinetico in architettura assume molteplici sfaccettature che intervengono a diversi livelli: dalla scala a cui avviene il movimento, al tipo di relazione che questo instaura con chi vi interagisce. Classificare significa prendere posizione rispetto a un determinato criterio di scelta e selezione: tutti gli approcci tassonomici posseggono una dimensione strategica, amplificando, omettendo, valorizzando o censurando alcuni punti di vista in sfavore di altri. La maggior parte delle tassonomie utilizza una serie di criteri comuni per evidenziare alcuni temi specifici: tipologia e direzione del movimento, sistemi coinvolti e loro ubicazione, qualità dei sensori che abilitano il movimento, caratteristiche tecnologiche degli elementi in movimento, requisiti funzionali a cui assolvono; poche di queste si occupano di classificare aspetti qualitativi legati ai cambiamenti di stato che il movimento è in grado di generare nello spazio, e quindi sul coinvolgimento esperienziale.

In questa seconda parte, si è provato quindi a segnare i punti d'intersezione della serie di traiettorie indipendenti tracciate da diversi modi di interpretare il fenomeno cinetico. La ricerca di invarianti che permettano di raggruppare per categorie diversi *tipi* di architettura per poi discretizzarle, analizzarle – rendendole così trasmissibili attraverso la ricomposizione in nuovi progetti – ha una storia consolidata all'interno della disciplina. Approfondire alcune delle tassonomie proposte nel corso del tempo intorno all'architettura cinetica si è rivelato uno strumento metodologico essenziale per comprendere come possibili modalità di mappatura e interpretazione – passando per la descrizione e la classificazione di opere costruite – possano contribuire ad una possibile lettura del fenomeno cinetico *sub specie* compositivo-spaziale, individuando in questo ambito ancora poco indagato invarianti che possano ricostruire una filogenesi del fenomeno cinetico. Emergono così, attraverso la classificazione tassonomica, possibili modalità di descrizione che costruiscono un paesaggio di *azioni* – spesso convergenti, talora divergenti – che accomunano il progetto della cinetica per l'architettura nei suoi diversi cambiamenti di stato.

1. Ron Herron, *Walking City on the Ocean*, MoMa, New York 1966.

Tassonomie cinetiche

Per individuare permanenze e differenziazioni tra modalità di classificazione, le metodologie proposte e gli obiettivi a cui sottendono, si è fatto riferimento alla disamina dei diversi tipi di tassonomie redatte da Fenci e Currie², all'indagine cronologica proposta da Osorio³ e alla sintesi schematica di Megahed⁴, che ricapitolano i vari approcci alla classificazione delle architetture cinetiche raggruppandoli sulla base dei criteri di classificazione proposti.

Tra le tassonomie citate si trovano:

Zuk e Clark (1970)⁵: il primo tentativo di catalogazione della cinetica in architettura sulla base di esempi costruiti, strutturata secondo aspetti strutturali e criteri funzionali di applicazione (*kinetically controlled static structures, dynamically self-erecting structures, kinetic components, reversible architecture, incremental architecture, deformable architecture, mobile architecture, disposable architecture*);

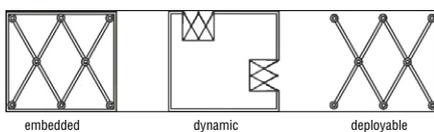
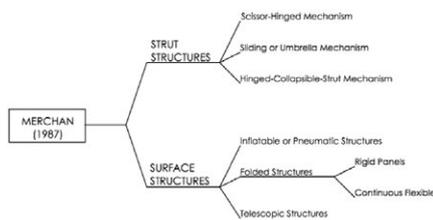
Frei Otto (1971)⁶: l'interesse di Frei Otto all'ILEK si concentrò sulle coperture dispiegabili, suddivise sulla base del movimento che generano (*bunching, sliding, rolling, folding, rotating*) e sulla possibilità che la struttura si muova o resti stazionaria.

Merchan (1987)⁷: una tassonomia di possibili usi a cui le architetture dispiegabili possono essere applicate (situazioni in cui emerge la necessità di uno spazio protetto temporaneo e da spostare altrove, strutture realizzati in luoghi di difficile accessibilità, strutture protettive per attrezzature speciali, strutture protettive per resistere alle intemperie, strutture realizzabili a basso costo, per impalcature, e, infine, come strutture dispiegabili da portare in loco e "dispiegare" per un uso permanente) e un'ulteriore specificazione a seconda dei sistemi meccanici di connessione corrispondenti: *strutture a montanti* (meccanismi a forbice, meccanismi a ombrello, meccanismi collassabili), *strutture a "superfici"* (strutture pneumatico/gonfiabili, strutture piegate, strutture telescopiche). La tesi di Merchan rappresenta il primo caso in cui le strutture piegate e le strutture gonfiabili vengono classificate. Inoltre, emerge il tentativo di connettere gli usi delle architetture con le modificazioni fisiche che generano;

Fox e Yeh (2000): l'interesse degli autori è nell'individuare un ambito che coinvolga cinetica e responsabilità, definendo gli *intelligent kinetic systems*. Come criterio di discretizzazione vengono assunti i sistemi di controllo e attuazione del movimento. Le architetture cinetiche possono essere così classificate in tre macrocategorie definite dalla localizzazione e dal funzionamento degli attuatori nel sistema: *embedded, deployable e dynamic*.

Hanaor e Levy (2001)⁸: la classificazione è organizzata seguendo

BAUWEISE/ CONSTRUCTION SYSTEM	AUF DER BEWEGUNG/ TYPE OF MOVEMENT	BEWEGUNGSRICHTUNG/DIRECTION OF MOVEMENT
MEMBRANEN, TRAGKONSTRUKTION BESTEHEND AUS MEMBRANEN/ SUPPORTING STRUCTURE STATIONARY	RAFFEN/ BUNCHING	PARALLEL/PARALLEL, ZENTRAL/CENTRAL, ZIRKULÄR/CIRCULAR, PERIPHÄR/PERIPHERAL
	ROLLEN/ ROLLING	
MEMBRANEN, TRAGKONSTRUKTION BESTEHEND AUS MEMBRANEN/ SUPPORTING STRUCTURE MOVABLE	SCHIEBEN/ SLIDING	
	KLAPPEN/ FOLDING	
	ERHEBEN/ ROTATING	
STREBE KONSTRUKTIONEN/ RIGID CONSTRUCTIONS	SCHIEBEN/ SLIDING	
	KLAPPEN/ FOLDING	
	ERHEBEN/ ROTATING	



dall'alto verso il basso: Frei Otto, classificazione di coperture retraibili, ILEK, 1972

Merchan, classificazione di architetture estensibili, 1987

Fox e Yeh, sistemi cinetici, 2000

- Giulia Fenci, Neil Currie, "Deployable Structures Classification: A Review", in *International Journal of Space Structures*, vol. 32(2), 2017, pp. 112-130.
- Osório, *op. cit.*
- N. Megahed, "Understanding Kinetic Architecture: Typology, Classification, and Design Strategy", in *Architectural Engineering and Design Management*, 2016.
- Zuk e Clark, *op. cit.*
- Frei Otto, *IL 5 Wandelbare Dächer/Convertible Roofs*, Wittenborn and Company, New York 1972.
- Merchan, *Deployable structures*, Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (MA), 1987.
- A. Hanaor, R. Levy, "Evaluation of deployable structures for space enclosures" in *International Journal of Space Structures*. vol 16, 4, 2001.

		Morphology			
		Lattice		Continuous	
		DLG	SLG	Spine	Plates
Kinematics	Rigid links	Pantographic (scissors)			Folded Plates
		Peripheral Scissors 19	Angulated scissors (retractable roofs) 74	Masts and arches 56	Linear deployment 110
		Radial scissors 55	Others 75	Others 98	Radial deployment 5
		Bars		Curved surface	
		Aarticulated joints 60	Ruled surface 63	Others 100	
		Reciprocal grids (Dismountable) 85	Others 93		
Deformable	Struct-cable systems	Fabric		Pneumatic	
		Tensegrity 68	Hybrid 88	Low pressure 124	
		Others 69	Ribbed	High pressure	

Mechanical concept	Rotation	Rotation and translation	Translation
Architectural type	Panel Alternately	Panel	Flip
	Roll	Fold	Scissor-fold
	Slide parallel	Slide vertically	
Simple movements of surfaces	Horizontal	Vertical	Level
	Horizontal	Vertical	Level

1-dimensional object	Stretch	Roll	Bend	Shear	Flutter	Free and gather	Other (stretch)	Other (roll)	Other (bend)	Other (shear)	Other (flutter)	Other (free and gather)
2-dimensional object												
3-dimensional object												

in alto: Hanaor e Levy, Tassonomia cinetica tra morfologia e movimento, 2001

al centro: Schumacher, Schaeffer, Vogt, movimento di elementi rigidi ed elementi deformabili, 2010

la tecnologia costruttiva delle diverse strutture analizzate nelle due macrocategorie di *deformable* e *rigid links*, suddividendole ulteriormente sulla base delle componenti tecnologiche che generano il cinematismo.

Korkmaz (2004)⁹: in questa tassonomia viene introdotto come variabile per la scelta e la catalogazione della architetture il fattore *tempo*. Distinguendo in due gruppi – *edifici a geometria e movimenti variabili*, *edifici a collocazione variabile e movibili* – intende sottolineare come l'atto cinetico sia ciò che influenzi la forma e il successivo uso. Il primo gruppo comprende architetture il cui movimento agisce una volta che la geometria della struttura è fissata e definita, emergendo dal suo uso. È ulteriormente suddiviso in *soft forms* (attivate dal materiale) e *rigid forms* (attivate dalla loro struttura). Il secondo gruppo, invece, riguarda edifici *portable, relocatable o demountable*, e in essi il movimento agisce prima dell'uso;

El Razaz (2010)¹⁰: la matrice proposta dall'autore definisce l'architettura cinetica come *statica* o *dinamica*, prendendo per la prima volta in considerazione la possibilità che il movimento possa essere generato attraverso una serie di azioni "compositive" astratte che portano alla generazione della forma. L'analisi che affronta è di tipo comparativo e basata su immagini e fotografie di esempi che vengono confrontati considerando le "forze interattive" che agiscono su di essi.

Schumacher, Schaeffer, Vogt (2010): aggiornata nel 2020¹¹; raccolgono le strutture cinetiche sulla base dei diversi tipi di movimento attraverso un approccio *cinematico* volto a svincolare il movimento dal supporto fisico e a renderlo un criterio schematizzabile in diverse voci, applicabile a due grandi famiglie di materiali: rigidi e deformabili. Se i tipi di movimento per i materiali rigidi consistono in termini già utilizzati in altre classificazioni, inedita risulta l'analisi dei movimenti per i materiali deformabili. Questi vengono distinti in *stretch, roll, bend, shear, flutter, free and gather* e soprattutto incasellati secondo la loro possibilità di agire in una, due o tre dimensioni;

Stevenson (2011)¹²: intende descrivere l'architettura cinetica *sub specie* morfologica, intesa come trasformazione globale dell'organismo architettonico. Per questo motivo, incrocia la trasformazione globale dell'edificio (movimenti sferici, circolari tangenziali, radiali, rotatori, mono-assiali, biassiali, multi-assiali) con quelli a livello delle componenti (deformazione, piega, distensione, ritrazione, scorrimento, rivoluzione), sottolineando l'importanza del pattern geometrico che conforma la relazione di interdipendenza tra i due ambiti;

Moloney (2011)¹³: il suo studio si riferisce specificatamente alle facciate cinetiche, restringendo quindi l'ambito di analisi in cui agisce, limitando le definizioni di movimento a tre trasformazioni geometriche: *traslazione, rotazione e ridimensionamento (scala)* a cui aggiunge il movimento ottenibile attraverso la *deformazione* del materiale in virtù delle sue

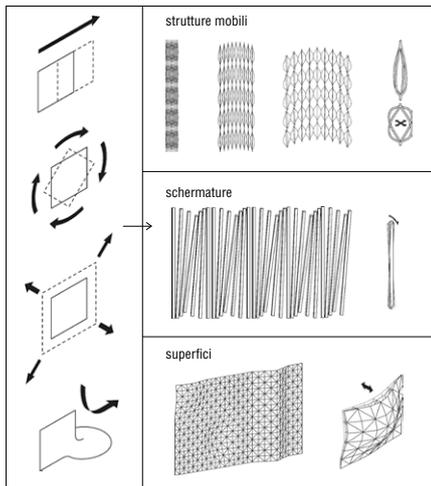
9. K. Korkmaz, *An Analytical Study of The Design Potentials in Kinetic Architecture*, Izmir Institute of Technology, 2004.

10. Z. El Razaz, "Sustainable Vision of Kinetic Architecture", in *Journal of Building Appraisal*, 5, 2010, pp. 341-356.

11. Cfr. M. Schumacher, M. Vogt, L. Cordón Krumme, *New Move: Architecture in Motion, New Dynamic Components and Elements*, Birkhäuser, Basilea 2020.

12. Carolina Stevenson, "Morphological Principles: Current Kinetic Architectural Structures" in *Proceedings of the International Adaptive Architecture Conference*, 2011.

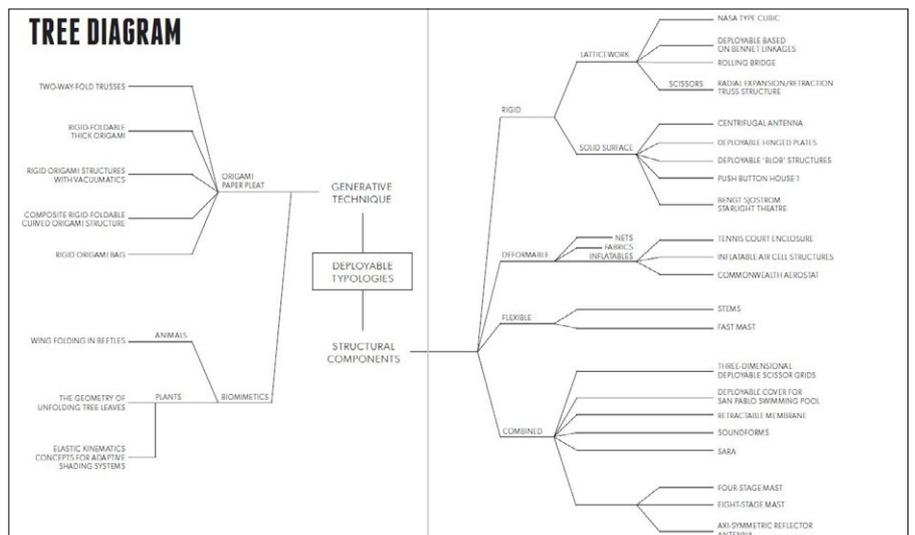
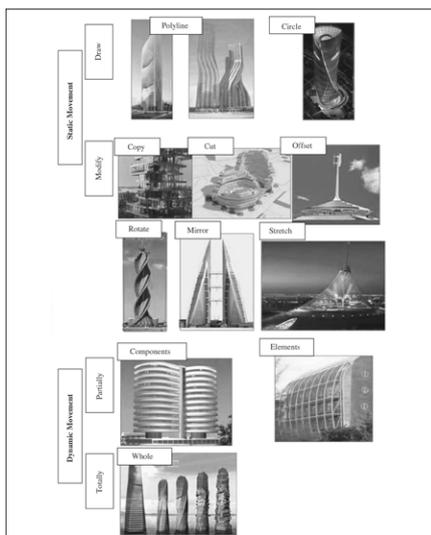
13. Jules Moloney, *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*, Routledge, Londra 2011.



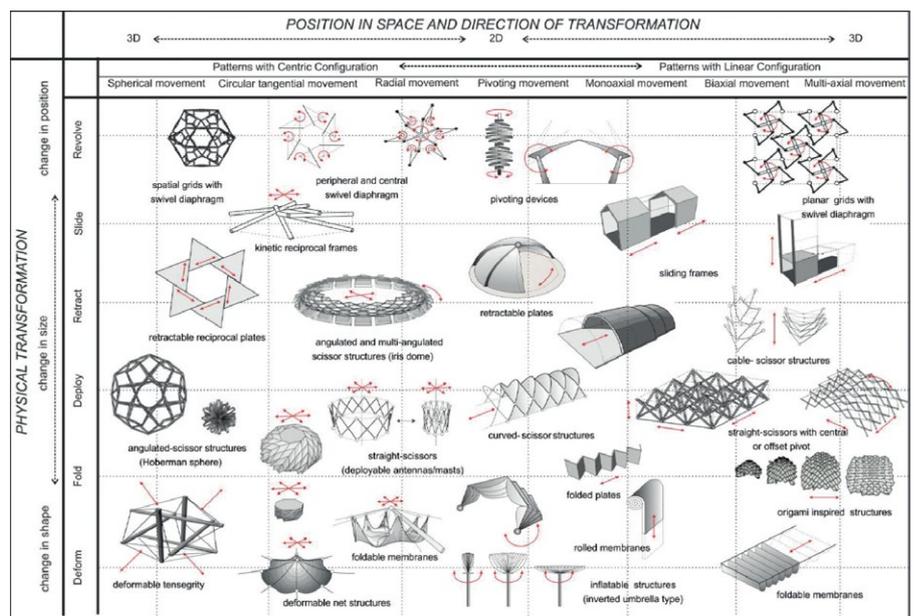
caratteristiche fisico-chimiche. Tali definizioni vengono applicate a tre famiglie di facciate per come definite da Moussavi e Kubo in *The Function of Ornament*¹⁴: *strutture* (facciate portanti), *schermi* (facciate composte da layer che separano l'interno dall'esterno), *superfici* (facciate totalmente indipendenti dallo spazio interno);

Rivas Adrover (2015): si classificano architetture dispiegabili individuando l'origine del loro cinematismo in due ampi ambiti: *componenti strutturali*, ovvero i meccanismi che generano il dispiegamento; *tecniche generative*, ovvero architetture ispirate alla natura e alle superfici piegate a *origami*. Il framework proposto da Rivas Adrover individua per la prima volta negli *origami* uno "strumento" progettuale che individui un percorso indipendente e definito per la generazione di strutture cinetiche.

Alcune altre tassonomie che non compaiono in Osorio, Fenci e Currie e Megahed sono:

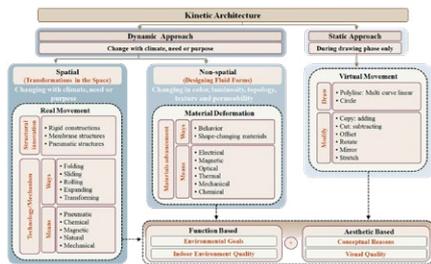


in alto: Jules Moloney, tassonomia cinetica secondo movimenti e apparati tecnologici, 2011
 al centro: El Razaz, movimento dinamico e movimento statico degli edifici, 2010
 Rivas Adrover, tassonomia secondo componenti strutturali o tecniche generative, 2015
 a destra: Carolina Stevenson, Tassonomia secondo principi morfologici, 2011



14. F. Moussavi, M. Kubo, J. Hoffman, *The Function of Ornament*, Actar, Barcellona 2006.

Requirement category	Type of movement	Folding			
	Direction of movement	Parallele	Central	Circular	Peripheral
Security	Intrusion resistance				
Usability	Flexibility (space adaptability)				
Comfort	Solar radiation/lighting control				
	Noise control/soundproofing/absorption				



Category	Subcategory	Symbol	Type(s) of Movement	Degrees of Freedom	Type of Joints	Type of Links
Simple Mechanisms	Hinges			1	Revolute or Cylindrical	Rigid
	Rotary Bearings			1	Revolute	Rigid
	Translational Bearings			1	Prismatic	Rigid
	Open or closed circuits of Ropes, Belts or Cables on Pulleys or Tactiled Wheels (includes winches)			1	Revolute and Prismatic	Rigid and Flexible
Linkages	Non-Planar Graphical Linkages			depends on the geometry of the linkage	Revolute, Cylindrical and/or spherical	Rigid
	Straight Translational			1	Revolute	Rigid
	Straight Polar			1	Revolute	Rigid
	Angulated			1	Revolute	Rigid
Smart Materials as Mechanisms	Hygroscopic			depends on material's intrinsic properties	-	-
	Shape Memory Alloys (SMA) or MetaLab			depends on material's intrinsic properties	-	-
	Programmable Matter			depends on material's properties and code	depends on material's properties and code	-
Pressure as Mechanism	Flexible Materials (includes Pneumatic)			depends on material's intrinsic properties and geometry of the inflatable element	-	Flexible

in alto: Rodonò, Sapienza, tipo di movimento e requisiti, 2016
 al centro: Megahed, framework concettuale per l'architettura cinetica, 2016
 sopra: Osorio, comparazione dei meccanismi cinetici per l'applicazione in architettura, 2019
 pagina accanto, in alto: Megahed, analisi comparativa delle classificazioni cinetiche esistenti, 2016
 pagina accanto, in basso: Zuk, Clark, diagramma di forze in un sistema adattivo controllato ciberneticamente, 1970

Lee (2012)¹⁵: la tassonomia di progetti, raccolti cronologicamente dall'autore, si struttura secondo una raccolta eterogenea di definizioni e termini che nel corso del tempo si sono condensati intorno al concetto di architettura cinetica: *adaptable, kinetic, responsive, transformable*. L'incidenza di questi termini è analizzata nella letteratura scientifica con l'intento di definire ambiti di ricerca fornire definizioni univoche;

Rodonò e Sapienza (2016)¹⁶: la tassonomia viene sviluppata sotto forma di matrice che incrocia i tipi di movimento (*scorrimento, piega, rotazione*) e la loro direzione (*parallela, centrale, circolare, periferica*) con una serie di requisiti funzionali e prestazionali (*resistenza all'intrusione, flessibilità/adattabilità, controllo della radiazione solare, controllo della radiazione sonora*). La tassonomia restringe ulteriormente il campo concentrandosi sull'azione della *piega* e delle superfici a *origami*.

Dei tre testi che si propongono di sviluppare una panoramica sulle tassonomie cinetiche, solo due ne propongono una alternativa:

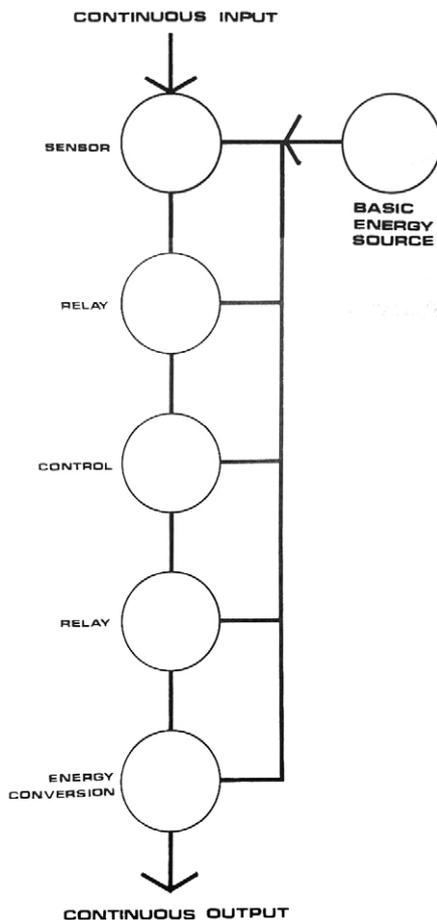
Megahed (2016)¹⁷: l'autore elenca cronologicamente varie figure che si sono occupati di catalogare la cinetica in architettura, diversi per approccio e per gruppi di classificazione, proponendo un «framework concettuale» attraverso cui fornire una classificazione definitiva. Per la prima volta si tenta di discernere la cinetica in architettura in base a trasformazioni *spaziali* e *non spaziali*, definite in virtù di un *movimento reale* o di una *deformazione del materiale*. Emerge da questo approccio il debito nei confronti di Frank Popper e della sua classificazione delle opere d'arte cinetica¹⁸, che verrà approfondita più avanti;

Osorio (2019)¹⁹: nella matrice proposta dall'autore si riprendono le categorie essenziali individuate da Fox (*modi* e *mezzi* per ottenere il movimento cinetico). In *modi*, troviamo le definizioni di movimento di Moloney (*traslazione, rotazione*) uniti alla *rototraslazione* proposta Schumacher. I *mezzi*, invece, si compongono dai *meccanismi* abilitanti i cinematismi, le *trasformazioni chimiche* del materiale e le *proprietà chimiche*. Osorio applicherà successivamente le categorie di *modi* e *mezzi* alle superfici piegate attraverso pattern origami.

Ognuna di queste modalità di classificazione ha riguardato punti di vista mirati e orientati a far emergere determinati aspetti della cinetica in architettura che, visti nel loro insieme, danno l'idea della complessità dell'operare una discretizzazione di un fenomeno tanto frequente in architettura quanto inconsapevolmente affrontato e risolto nella pratica quotidiana del progetto. Poche di queste si occupano delle conseguenze del movimento sullo spazio, delle sue potenzialità negli effetti sulla percezione, o della loro trasferibilità in azioni compositive, e solo la più recente di Osorio affronta specificatamente il tema delle superfici piegate di tipo *origami* in relazione al suo possibile utilizzo in architettura. A

15. J. Lee, *Adaptable, Kinetic, Responsive, and Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design* (M.Sc. thesis), The University of Texas at Austin, Austin 2012.
 16. Vincenzo Sapienza, Gianluca Rodonò, "Kinetic Architecture and Foldable Surface", in *Athens Journal of Architecture*, 2, 2016, pp. 223-236.
 17. Megahed, *op. cit.*, p. 5.
 18. Frank Popper, *L'arte cinetica. L'immagine del movimento nelle arti plastiche dopo il 1860*, Einaudi, Torino 1970.
 19. Osório, *op. cit.*, p. 42.

Year	Authors	Approach	Classification groups
1968	Popper	Understanding kinetic methods and movement in art	<ul style="list-style-type: none"> Virtual or real movement Spatial or non-spatial Predictable via mechanical methods or unpredictable via natural forces
1970	Zuk and Clark	Investigating kinetic architecture through architectural applications and structural aspects	<ul style="list-style-type: none"> Dynamically self-erecting structures Mechanisms or kinetic components Reversible or non-reversible assembly Incremental architecture Deformable or transformable structures Mobile or disposable architecture
1972	Otto and Birkhaert	Using lightweight structures, convertible roofs in particular	<ul style="list-style-type: none"> Tense structures Membrane structures
1992	Brooker and Grech	Investigating the types of structures in portable architecture from a prefabrication perspective	<ul style="list-style-type: none"> Flat-packed Panograph Membrane systems Pneumatics Tensile structures Pods or capsules
2000	Fox and Yeh	Exploring kinetic systems on the basis of three key elements: structural engineering, sensor technology, and adaptable architecture	<ul style="list-style-type: none"> Dynamic (mobile, transformable, and incremental kinetic systems) Deployable Embedded
2005	Sanchez-del-Valle	Understanding adaptive kinetic structures with digital tools	<ul style="list-style-type: none"> Simulation-based design Performance-based design Digital prototyping
2010	Asif	Investigating the types of transformable roof structures that respond to the user's requirements	<ul style="list-style-type: none"> Self-supported and non-self-supported structures Permanent or temporary architecture Tensile and tense principles
2010	El Razaq	Exploring the sustainable vision of kinetic architectural structures	<ul style="list-style-type: none"> Dynamic Static
2011	Friedman and Farkas	Investigating different types of movable roof structures either for enabling quick and/or safe construction, or in order to adapt the structure to external stimulations	<ul style="list-style-type: none"> Retractable roofs with rigidly moving parts Retractable/deployable panograph structures Deployable tensile structures Retractable/deployable membrane structures Pneumatic structures
2011	Moloney	Exploring architecture that changes with time	<ul style="list-style-type: none"> Geometric translation in space Material deformation
2012	Lee	Classifying kinetic structures or components that have actual variable mobility, location, and/or geometry	<ul style="list-style-type: none"> Adaptable Kinetic Responsive Transformable
2013	Dungirns	Classifying kinetic techniques and mechanisms appropriate for transformable-adaptive structures	<ul style="list-style-type: none"> Building components where transformability can be applied Transformation of peripheral parts
2014	Kronenberg	Exploring the philosophical and technological issues raised by kinetic experimental and futuristic prototypes	<ul style="list-style-type: none"> Portable and transportable buildings Demountable and temporary architecture



partire dall'approfondimento di alcune tra queste modalità di classificazione e dal loro confronto, si proveranno a tracciare una serie di categorie che intersecandosi riescano a individuare come l'approccio al progetto della cinetica in architettura sia riconducibile a famiglie di "azioni" che ne influenzino gli aspetti formali alla ricerca di uno spazio in *trasformazione*.

Il testo *Kinetic Architecture* di Zuk e Clark ha rappresentato il primo testo specificatamente mirato all'elaborazione del concetto di architettura cinetica in relazione a un campo di applicazione sistematizzato e circoscritto da esempi concreti e riferimenti multidisciplinari. Introducendo il tema, gli autori suddividono le architetture cinetiche in una prima classificazione in applicazioni *strutturali, reversibili, incremental, deformabili, mobili, monouso*; queste vengono integrate da una tassonomia specifica propriamente dedicata ai tipi di *macchine* che muovono il movimento. Le *macchine* si dividono quindi in quattro livelli: 1. capaci di svolgere un'unica funzione, emerse dalla prima rivoluzione industriale, come mulini o macchine a vapore; 2. capaci di svolgere più funzioni, nate nel XIX secolo, come macchine per cucire, per scrivere; 3. caratterizzate da sistemi di controllo automatici parziali o totali sulle operazioni che svolgono; 4. caratterizzate da sistemi di controllo automatici collegati a un computer che possiede capacità d'apprendimento. È nota la fortuna che il termine macchina in relazione all'architettura ha avuto a partire dai primi decenni del XX secolo²⁰, che Zuk e Clark declinano secondo le possibilità del loro movimento e la loro capacità di adattamento, individuando in esse i principi base della cinetica riadattabili all'architettura²¹. Scrivendo nel 1970, Zuk e Clark furono affascinati dall'evoluzione della teoria cibernetica e dal concetto di *feedback loop* per come preconizzato in quegli anni da Norbert Wiener e successivamente da Gordon Pask²², sostenendo anticipando i tempi che i computer sarebbero stati in grado di imparare dalle azioni passate e dall'esperienza, proprio come accade nei più recenti esempi di esperimenti di *Artificial Intelligence* e di *Machine Learning*,²³ fino alla promessa di «macchine che costruiranno interi edifici completamente e automaticamente, a macchine che saranno in grado di ripararsi da sole e che forse si riprodurranno»²⁴, sulla scia del generale entusiasmo di quegli anni nei confronti del progresso scientifico e tecnologico²⁵. La scelta di assimilare gli edifici a macchine affascinò una generazione di studiosi, ma perse di consistenza quando gli edifici cominciarono a incorporare componenti elettroniche. Utilizzando come riferimento e riattualizzando la categorizzazione proposta da Zuk e Clark, Fox e Yeh²⁶ scendono nello specifico disciplinare dell'ambito dell'architettura cinetica approfondendo attraverso una casistica di

20. Cfr. L. Stalder, M. Gleich, *Architecture/Machine: Programs, Processes, and Performances*, gta, Zurigo 2017.

21. Zuk, Clark, *op. cit.*

22. Cfr. Gordon Pask, *op. cit.*

23. Cfr. Tom Mitchell, *Machine Learning*, McGraw-Hill, New York 1997. Tom Mitchell definisce il *Machine Learning* come «lo studio di algoritmi informatici che consentono ai programmi per computer di migliorare automaticamente attraverso esperienza».

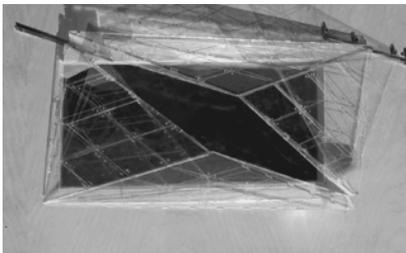
24. Ivi, p. 26.

25. Cfr. Larry D. Busbea, *The Responsive Environment. Design, Aesthetics, and the Human in the 1970s*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2019.

26. M. Fox and B. P. Yeh, "Intelligent Kinetic Systems in Architecture", in P. Nixon, G. Lacey, S. Dobson (a cura di), *Managing Interactions in Smart Environments: First International Workshop*, Springer, Londra 2000, p. 99.

in basso: Fox, Yeh, prototipi dell MIT Kinetic Design Group, 2000

«La sequenza di piega implica un movimento relativo dei componenti, cioè la rotazione intorno a qualsiasi asse e/o la traslazione (spostamento) in qualsiasi direzione, o una combinazione di entrambi. Il fatto che i componenti si muovano l'uno rispetto all'altro implica che i telai pieghevoli devono essere progettati non solo da un punto di vista statico e costruttivo (stabilità e capacità portante), ma anche secondo aspetti cinematici. I telai devono essere costruiti in modo da permettere rotazioni e traslazioni relative. Durante la piegatura, il telaio forma un meccanismo composto da barre e giunti, e può trasformarsi in una struttura stabile alla fine della sequenza di piega bloccando i giunti. Considerando un telaio come un meccanismo, entriamo in un'area molto ampia della tecnologia. In definitiva, possiamo considerare questo meccanismo come una "macchina"».



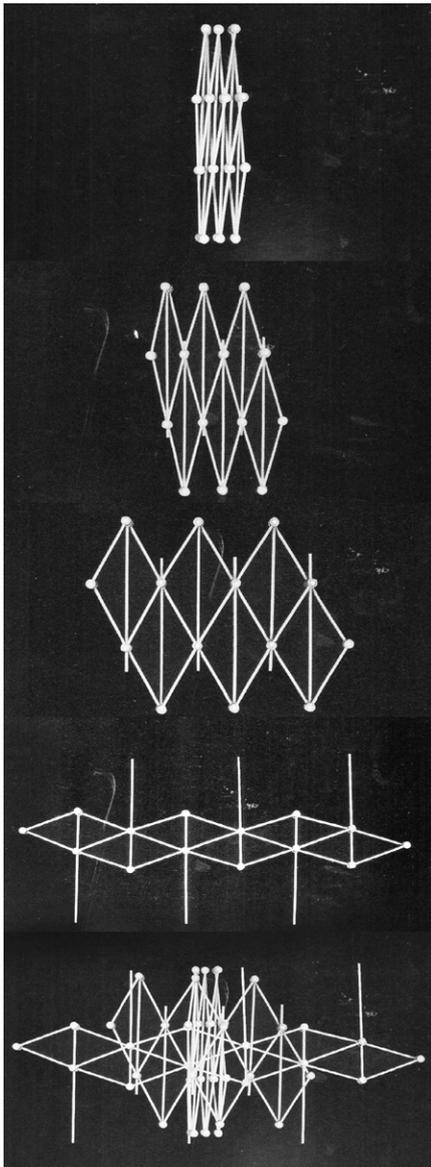
prototipi ed esperimenti realizzati nell'ambito del *Kinetic Design Group* al Massachusetts Institute of Technology una classificazione basata sui sistemi di controllo che governano i cinematici, discretizzati in sei diversi livelli di complessità: *controllo interno*: il cinematico avviene attraverso cerniere meccaniche, scorrimenti e rotazioni governate internamente; *controllo diretto*, il cinematico è attuato da una fonte di energia esterna; *controllo indiretto*, il cinematico è generato da un sistema di sensori e feedback; *controllo indiretto responsivo*, il cinematico è generato dall'ottimizzazione del feedback di più sistemi di sensori; *controllo indiretto diffuso-responsivo*, il cinematico è generato da sistemi di sensori e attuatori che agiscono autonomamente in un insieme interconnesso che risponde a un algoritmo predittivo; *controllo indiretto euristico-responsivo*, il cinematico è generato da sistemi di sensori e attuatori che agiscono come autonomi o interconnessi e rispondono a un algoritmo con capacità di apprendimento. Conoscere e classificare i sistemi di controllo per l'attuazione del movimento cinetico risulta necessario per poterne comprendere le possibilità compositive e le sue applicazioni in architettura, poiché questi ne influenzano l'effettiva capacità di movimentazione e la sua conseguente percezione da parte del soggetto interagente. I sistemi di controllo più recenti integrano i vari livelli di complessità proposti da Fox in un approccio olistico offrendo diversi gradi di libertà capace di generare effetti spaziali mutevoli in base alle condizioni imposte. I gradi di controllo vengono generalizzati da Fox in tre categorie essenziali di strutture cinetiche, le *deployable kinetic structures*, ovvero quelle che per loro natura hanno una durata limitata nel tempo e possono essere facilmente rimosse, spostate e rimontate in altri luoghi; le *dynamic kinetic structures*, invece, sono caratterizzate dalla possibilità di muoversi indipendentemente senza influenzare l'oggetto architettonico nel suo complesso; le *embedded kinetic structures*, ovvero quelle per cui l'edificio o la struttura cinetica subiscono una trasformazione di tipo globale e possono essere assimilate ad un insieme di parti che reagiscono alle sollecitazioni in maniera coordinata. In questi termini, le tre categorie *deployable*, *dynamic*, ed *embedded* rappresentano approcci non solo molto diversi da un punto di vista formale, ma segnano anche una netta distinzione tra campi di ricerca e applicazione della cinetica in architettura.

La categoria *deployable* comprende principalmente strutture cinetiche con una configurazione formale conclusa il cui movimento interessa la struttura globalmente. Implicano la scelta di geometrie generative precise, come pattern di piegatura, o di meccanismi strutturali che permettano al sistema di assumere diverse configurazioni – come *scissor joints*, o connettori meccanici a cerniera, come in alcune recenti sperimentazioni con polimeri²⁷ – generando un cinematico globale che si ripercuote sull'intero organismo architettonico. Nel suo testo sulle strutture *deployable*, Rivas Adrover descrive nel dettaglio i due possibili ambiti d'interesse precedentemente introdotti in riferimento alla relazione tra geometria e cinetica: «the first

27. IAAC - Institute for Advanced Architecture of Catalonia, lavori su pattern Ron Resch, <https://www.archdaily.com/546834/iaac-students-develop-material-system-with-responsive-structural-joints> [01.10.21].

in basso: Santiago Calatrava, *On the Foldability of Space Frames*, tesi dottorale, 1979

«The folding sequence implies a relative movement of components, i. e. rotation about any axis and/or translation (displacement) in any direction, or a combination of both. The requirement for components to move in relation to one another means that foldable frames must be designed not only according to the statics and constructional points of view (stability and load-bearing capacity), but also according to additional kinematic aspects. Frames should be constructed so as to permit relative rotation and translations. During folding, the frame forms a mechanism composed of bars and joints, and can be changed into a stable structure at the end of the folding sequence by relocking the connections. By regarding a frame as a mechanism, we enter a very wide area of technology. Ultimately, we can regard this mechanism as a "machine"».



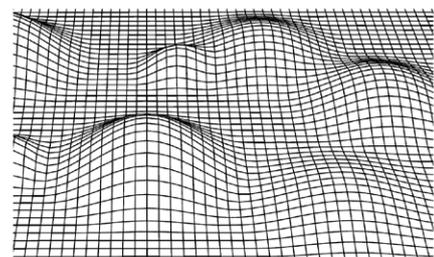
one is based on the structural components of the deployable mechanism: structures using this approach are classified under *Structural Components*. The second concentrates on movement and form inspired by various sources; these structures are described under the heading *Generative Technique*²⁸. Rimandando alle conclusioni riportate dall'autrice nel testo, l'aspetto interessante della classificazione/ramificazione dei diversi approcci è proprio la riduzione a due famiglie tecnologico-formali che restituiscono l'ampio spettro delle possibilità compositive e realizzative delle *deployable structures*, permettendo di percorrere la filogenesi dei progetti analizzati fino all'origine del loro cinematismo.

La categoria *dynamic*, invece, riguarda componenti prevalentemente tecnologiche o climatico-responsive, basate sulla risposta del sistema a stimoli locali nella risoluzione di un problema specifico per cui il cinematismo è stato progettato. Questi intervengono principalmente sulle caratteristiche fisico-ambientali dell'architettura che tuttavia influenzano la percezione sensoriale di uno spazio come luce, temperatura, suono, tessitura, costituendo un rapporto consequenziale tra input e cinematismo attraverso una più o meno accentuata *responsività*. Quest'accezione venne inizialmente analizzata negli studi di Frei Otto all'ILEK (*Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren*) dove organizza una prima tassonomia di sistemi cinetici applicati ai tetti convertibili, individuati sulla base del sistema tecnologico e divisi per tipo e direzione di movimento²⁹. Sebbene i sistemi di copertura classificati da Frei Otto possano essere assimilati a superfici che si piegano in base a determinate sollecitazioni riconfigurandosi nello spazio e nel tempo, i cinematismi che generano sono vincolati a strutture che restano fisse, reagendo alle operazioni di chiusura e apertura solo quando attivati e in maniera indipendente. Un approccio più descrittivo è stato intrapreso da Moloney. Nell'aprire la sua trattazione affronta i modi in cui la cinetica si manifesta nei sistemi di facciata, assimilabili alla categoria *dynamic*, filtrando vari esempi attraverso tre possibili modalità di movimento: *translation*, *rotation*, *scaling*, a cui aggiunge una quarta: *deformation*³⁰. La deformazione in una struttura cinetica è resa possibile attraverso un complesso apparato di elementi di supporto strutturale, sensori per la ricezione degli input, computer per l'elaborazione dei dati in entrata, attuatori per generare il movimento in uscita, e infine, la superficie semovente. Come dimostrato dal progetto *Hygroskin* di Menges, il cinematismo può avvenire anche sfruttando le caratteristiche fisiche del materiale stesso. Esempi più recenti sfruttano le possibilità elastiche dei tessuti per poter generare movimento, come nel caso del *Kinetic Wall* (2014) di Barkow Leibinger, dove un sistema di pistoni ortogonali al piano verticale modificano la topografia della pelle elastica generando una superficie che tendendosi disegna un rilievo responsivo. La categoria *embedded* comprende strutture o superfici cinetiche in grado di modificare la loro conformazione fisica rispondendo

28. E. Rivas Adrover, *Deployable Structures*, Lawrence King, Londra 2015, p.16.

29. Frei Otto, *op. cit.*

30. Moloney, *op. cit.*, p.7.



in alto: Janis Pönisch, *Dynamic Terrain*, 2006

sopra: Janis Pönisch, *Analytical drawing of Dynamic Terrain*, 2006

Fox, Kemp: «Much of our daily existence and experience with architecture is made up of different types of routines and rituals. Adaptive control of an interactive space allows for enhancing and simplifying these daily tasks and creates a sense of active participation with the environment. Considering some of the different types of interactivity that take place relative to daily routines, we see that many of the projects to date have focused on enhancing pragmatic activities. It is important to recognize that, in many cases, the more an object or space has the ability to vary, the more difficult it becomes for the object to satisfy a particular need or accomplish a specific goal. There is also the possibility that the intent or identity of the object may be lost. For example, if a table is designed to be able to bend in six different places to vary its height relative to an activity, it may no longer have the flatness that is required to perform the specific task. It is still as important as ever for users to ultimately have the ability to communicate with a system to define their activities and desires».

«Gran parte della nostra dell'esperienza che facciamo dell'architettura è composta da diversi tipi di routine e rituali. Il controllo adattivo di uno spazio interattivo permette di agevolare e semplificare i compiti quotidiani e creare un senso di partecipazione attiva con l'ambiente. Considerando alcuni dei diversi tipi di interazione che hanno luogo durante la nostra giornata, vediamo che ad oggi molti progetti si sono concentrati sul miglioramento delle attività pragmatiche. È importante riconoscere che, in molti casi, più un oggetto o uno spazio ha la capacità di variare, più difficile diventa per l'oggetto soddisfare un particolare bisogno o realizzare un obiettivo specifico. C'è anche la possibilità che l'identità di quell'oggetto possa andare perduta. Per esempio, se un tavolo è progettato per potersi piegare in sei punti diversi per variare la sua altezza rispetto a un'attività, potrebbe non avere più la planarità richiesta per eseguire il compito specifico. È sempre importante che gli utenti abbiano la capacità di comunicare con un sistema per definire le loro attività e i loro desideri».

alle sollecitazioni secondo una logica sistemica di risposta coordinata. Esempi sono la *Aegis Hyposurface* di dECOi e il *Dynamic Terrain* di Pönisch, ovvero superfici tassellate nel primo caso, membrane elastiche mosse da pistoni nel secondo, che assumono diverse curvature nello spazio sulla base di input raccolti da sensori. Superfici assimilabili a questa categoria e che meglio riescono ad accogliere i cinematismi sulla base della loro piega sono quelle generate attraverso pattern origami. Chiariti i vantaggi introdotti i vantaggi delle superfici origami e le possibili applicazioni in architettura, Osorio e Oliveira³¹ applicano la metodologia definita da Fox di *modi e mezzi* della cinetica (*ways and means*) allo specifico ambito degli origami rigidi (ovvero le cui facce non assumono deformazioni nell'atto cinetico), individuando come *modi* lo *slittamento* e la *rotazione* in tre possibili accezioni che dipendono dalla direzione di trasformazione: *nel piano, fuori dal piano a curvatura singola, fuori dal piano a doppia curvatura*; come *mezzi*, invece, i meccanismi a forbice (*scissor systems*), aste scorrevoli, binari e cavi tesi. In base ai diversi pattern – *diamond, diagonal, miura ori, waterbomb*, ecc – è possibile leggere come il sistema origami sia in grado di assorbire globalmente la sollecitazione e trasformarsi nella sua interezza, subendo una serie di trasformazioni morfologiche che ne individuano le possibili applicazioni in architettura. Le considerazioni sviluppate da Stevenson e la tassonomia che ne consegue inquadrano il fenomeno cinetico da un punto di vista morfologico-spaziale. Considerando il movimento cinetico come il progetto della trasformazione coordinata dei vari elementi della composizione per l'ottenimento di un determinato effetto, Stevenson intende ricercare un possibile *tipo* nell'architettura cinetica, classificando architetture simili che dimostrino possibili invarianti a partire dalla loro descrizione e comparazione. La natura dei dispositivi cinetici è identificata sia dal materiale con cui sono realizzati e sia dal modo in cui le diverse parti in movimento sono connesse tra loro. Individua quindi materiali *rigidi* (metalli, plastica legno), *flessibili* (tessuti e cavi), *smart* (in grado di cambiare), e *pattern* che generino il movimento. Questi, *centrici* o *lineari*, sottendono il cinematismo che è attuato da una serie di movimenti: *deformazioni, pieghe, dispiegamenti, ritrazioni, scorrimenti, rotazioni*³². Stevenson realizza così una matrice in cui intersecare le informazioni sui materiali, i tipi di movimento e le azioni fisiche per il suo ottenimento, senza tuttavia individuare una casistica di opere rappresentative di queste caratteristiche morfologiche, né tentando un'analisi qualitativa degli effetti di tali azioni sullo spazio architettonico.

La ricerca di una serie di criteri che possano individuare categorie *altre* rispetto a quelle legate ad aspetti puramente tecnologico-funzionali o soltanto descrittivi del tipo di movimento in questione è rintracciabile in tre approcci che individuano criteri tassonomici legati a sollecitazioni da parte dell'ambiente esterno, a "forze" che agiscono sulla forma imponendo attraverso il movimento una modificazione, e a possibili principi guida

31. Osório e Oliveira, *op. cit.*

32. Stevenson, *op. cit.*, p.9.

in basso: Diller Scofidio + Renfro, *Blur Building*, 2002

«The Blur Building is an architecture of atmosphere—a fog mass resulting from natural and manmade forces. Water is pumped from Lake Neuchâtel, filtered, and shot as a fine mist through 35,000 high-pressure nozzles. A smart weather system reads the shifting climatic conditions of temperature, humidity, wind speed and direction and regulates water pressure at a variety of zones. Upon entering Blur, visual and acoustic references are erased. There is only an optical “white-out” and the “white-noise” of pulsing nozzles. Contrary to immersive environments that strive for visual fidelity in high-definition with ever-greater technical virtuosity, Blur is decidedly low-definition. In this exposition pavilion there is nothing to see but our dependence on vision itself. It is an experiment in de-emphasis on an environmental scale. Movement within is unregulated. Water is not only the site and primary material of the building; it is also a culinary pleasure. The public can drink the building».

«Il *Blur Building* è un'architettura atmosferica, una massa di nebbia risultante da forze naturali e artificiali. L'acqua viene pompata dal lago di Neuchâtel, filtrata e sparata come una fine foschia attraverso 35-000 ugelli ad alta pressione. Un sistema meteorologico intelligente legge le mutevoli condizioni climatiche di temperatura, umidità, velocità e direzione del vento e regola la pressione dell'acqua in diverse zone. Entrando in *Blur*, i riferimenti visivi e acustici vengono cancellati. C'è solo un "white-out" ottico e il "white-noise" degli ugelli pulsanti. Contrariamente ad ambienti immersivi che mirano all'alta risoluzione visiva con virtuosismi tecnici sempre maggiori, *Blur* è volontariamente a bassa definizione. In questo padiglione espositivo non c'è nulla da vedere se non la nostra dipendenza dalla visione stessa. È un esperimento di de-enfasi su scala ambientale. Il movimento all'interno è sregolato. L'acqua non è solo il luogo e il materiale primario dell'edificio; è anche un piacere culinario. Il pubblico può bere l'edificio».

da seguire per approdare al progetto della cinetica in architettura, rispettivamente proposti da Rodonò e Sapienza, El Razaz e Megahed.

Criteri ambientali. L'aspetto innovativo nella classificazione che forniscono Rodonò e Sapienza riguarda una serie di parametri di carattere «esigenziale»³³ raccolti in una matrice che gli stessi definiscono «classificazione tipologica»³⁴, seppure non tenti di individuare invarianti spaziali o permanenze di forma, quanto una corrispondenza tra tipi di movimenti e la rispettiva risoluzione di un problema di carattere ambientale. Nella matrice che propongono vengono inserite una serie di opere – dagli impianti sportivi a meccanismi cinetici di facciate – differenti per scala e uso, ma legate dalla rispondenza a quattro criteri: «la resistenza alle intrusioni, con sistemi di protezione per l'involucro; la flessibilità e adattabilità degli spazi; il controllo del fattore solare e del flusso luminoso; il controllo del rumore e l'isolamento o l'assorbimento acustico»³⁵. Rispetto alla genericità della «flessibilità» e l'eccessiva specificità della «resistenza alle intrusioni» (che risulta troppo stringente per individuare una categoria legata allo spazio architettonico), i criteri legati al comfort e in generale alla discretizzazione dell'influsso dell'ambiente esterno risultano utili per costruire una mappatura in quanto rappresentano alcuni dei motivi originari per lo sviluppo della cinetica in architettura – la responsività ad un ambiente in cambiamento – definendone il linguaggio architettonico che ne è risultato. Luce, suono, temperatura si configurano così come punti di passaggio obbligati per poter ricollegare il fenomeno cinetico al cambiamento di stato di uno spazio.

Criteri morfologico-compositivi. Per El Razaz l'architettura cinetica si basa sul «progetto di strutture meccanizzate o automatizzate che possano agire sulla *forma* dell'edificio in modo da rispondere ai bisogni delle persone all'*interno*, adattandone la struttura *esterna*»³⁶. Torna, anche in questo caso, il



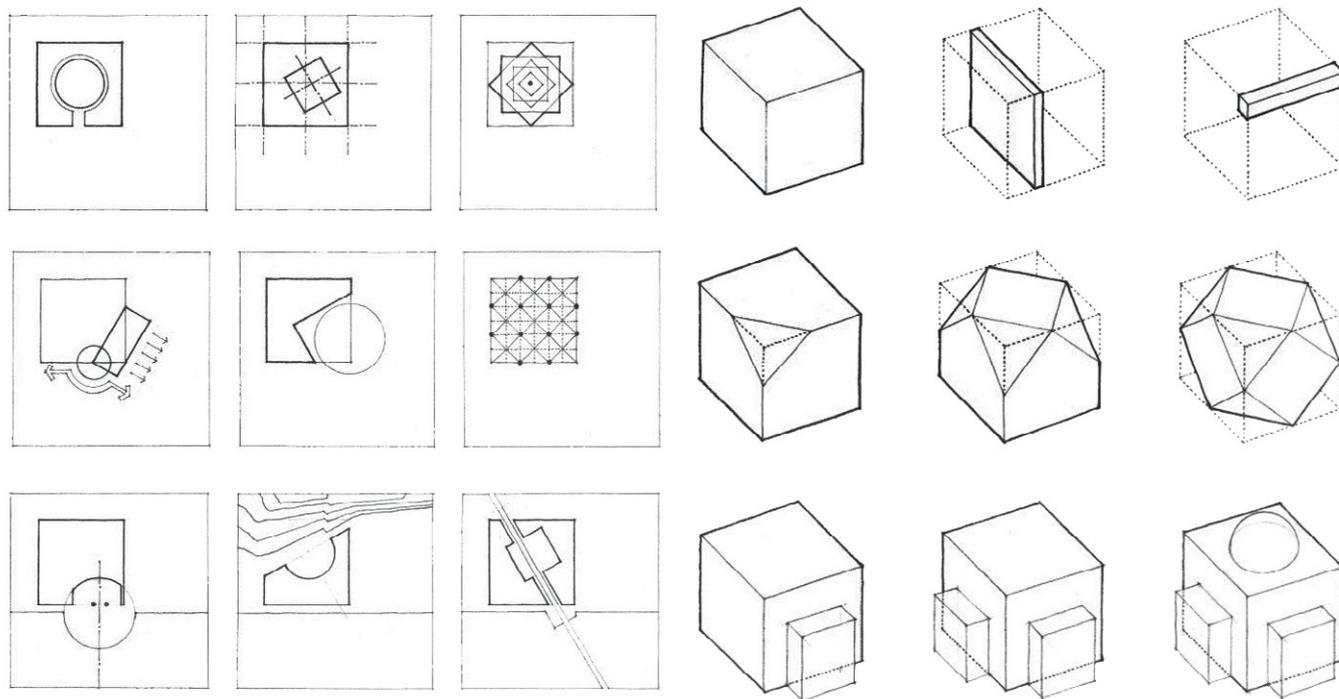
33. Gianluca Rodonò, Vincenzo Sapienza, “KREO - Kinetic Responsive Envelop by Origami” in *TEMA: Technologies Engineering Materials Architecture*, vol. 2, n. 2, 2016.

34. Ibid.

35. Rodonò e Sapienza, *op. cit.*

36. El Razaz, *op. cit.* p. 355.

concetto di "forze interattive" a costruire le azioni cinetiche che impattano sul progetto, dal disegno all'esecuzione. Tra queste, oltre al movimento cinetico che può applicarsi parzialmente o all'intera struttura, El Razaz elenca una serie di operazioni compositive "basilari" applicate nel processo progettuale utilizzando software CAD che «causano modificazioni del progetto – i suoi movimenti – soltanto nella fase di *disegno*»³⁷. Nella trattazione, che aspira allo sviluppo di una «scienza del progetto»³⁸, è interessante notare come in questo tipo di tassonomia operazioni compositive applicabili alla scala dell'intero edificio rappresentino il mezzo per raggiungere, secondo l'autore, un'architettura cinetica *sostenibile*. Nel suo caso la cinetica è intesa come atto progettuale volto alla modificazione della forma attraverso un procedimento di causa-effetto che tuttavia, una volta assorbite le diverse forze e messe in opera, permane cristallizzata e fissa; come già introdotto, una vocazione assiduamente esplorata negli anni della *digital turn* alla ricerca delle «frozen geometries»³⁹. La *deformazione*, la *giustapposizione*, la *sovrapposizione*, l'*assenza*, la *frizione* e l'*esagerazione*⁴⁰ avvengono tramite operazioni che riguardano il *disegnare* (*polilinea, cerchio*) e il *modificare* (*copiare, tagliare, effettuare un offset, ruotare, specchiare, distendere*) e corrispondono a una serie di esempi proposti che afferiscono a un certo tipo di architettura *iconica* – grandi edifici come torri o arene – che fa dell'*high-tech* la sua cifra espressiva predominante. Al di là della fascinazione per questo tipo di linguaggio, dall'approccio di El Razaz risulta utile estrapolare il rapporto di interdipendenza dichiarato tra forza, forma e spazio, esplicitato nelle azioni fisiche che si impongono, ovvero i *movimenti* o atti cinetici: a tutti gli effetti "pressioni", per come introdotte in *Kinetic Architecture* da Zuk e Clark.

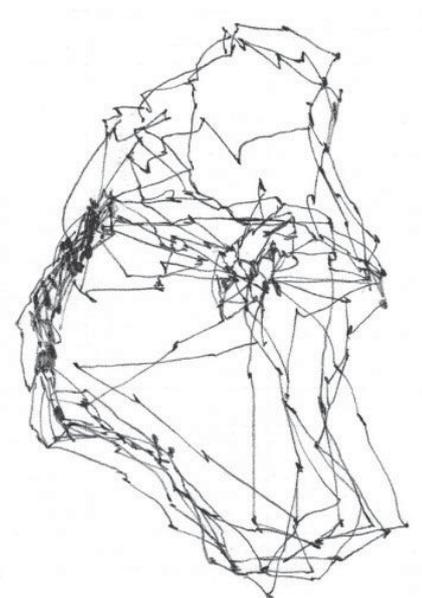


37. Ibid.

38. Ibid.

39. Picon, *op. cit.*

40. El Razaz, *op. cit.*



Criteri strategico-progettuali. Megahed offre una lista dei diversi studiosi che nel corso del tempo hanno approcciato all'architettura cinetica, offrendo un riepilogo dei diversi approcci sotto forma di un *conceptual framework* che espande e dettaglia la categoria deputata al *movimento dinamico* da El Razaz, tralasciando quella statica e ottenuta dal disegno. Nel far ciò utilizza due termini introdotti da Frank Popper nel suo testo sull'arte cinetica⁴¹: *spatial* e *non-spatial*, rispettivamente legate al *movimento reale*, concreto, tangibile e misurale di una struttura cinetica e da cui discendono tutti i vari tipi di movimenti (rotazione, slittamento, deformazione, ecc.), e alla *sensazione di movimento* (ottenuta da modificazioni di colore, luminosità, tessitura, permeabilità fisica e visiva, ecc.). Se le prime modificazioni si riferiscono quindi al corpo dell'architettura e alle sue diverse parti, le seconde interagiscono percezione e all'esperienza dell'utente che percepisce attraverso cambiamenti delle condizioni al contorno – impalpabili fisicamente ma percepibili attraverso i sensi – in moda da «influenzare fortemente l'esperienza del soggetto»⁴². Le categorie che l'autore individua vengono successivamente inserite in una logica processuale volta una serie di *strategie del progetto cinetico*, ognuna perseguibile a partire da approcci disciplinari diversi. Delle cinque proposte, la strategia basata sulla “formalizzazione” sembra essere l'unica che si occupa dell'analizzare aspetti legati alla definizione di uno spazio, alla sua forma ed espressione. Suddivisa in tre fasi, *concept, module, morphology*, la strategia tenta di discernere possibili passi da fare nel tentativo di progettare un'architettura cinetica. Passi da percorrere anche a ritroso per poterne capire la generazione di quelle già costruite. Le diverse metodologie di classificazione della cinetica in architettura hanno approfondito varie tipologie di criteri per tentare di raggruppare questo complesso fenomeno in insiemi più o meno coerenti che possano comprendere di volta in volta aspetti non analizzati e aggiornarsi in base allo sviluppo di nuove applicazioni in architettura. Per costruire una tassonomia, quindi, la definizione dei criteri rappresenta un aspetto fondamentale da tarare in virtù degli obiettivi e delle questioni a cui si intende rispondere.

in alto: Alfred L. Yarbus, busto di Nefertiti/pattern del movimento oculare di una persona che osserva il busto di Nefertiti.

a destra: ONL, schizzo digitale per *Trans-Port*, 1999



41. Popper, *op. cit.*, p. 154.

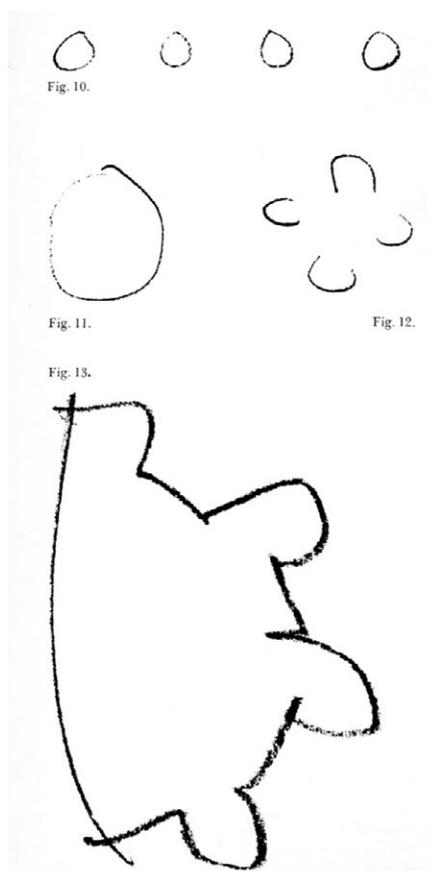
42. Megahed, *op. cit.*, p. 7.

Definire criteri. *Pressioni, forze, azioni*

«GL: [...] Architects were looking at media, interactivity and all kinds of atmospheres, like sound. At the extreme end of this, you were attempting to produce a dynamic object. But in architecture today, it seems that all you hear about is fabrication. [...] When did everybody get so fixated on fabrication rather than dynamics?

KO: [...] if you're technically skilled and you're able to do this [...] then you drift away from architecture. [...] there's less interest in physical architecture, as well. It's difficult for me to understand [...] These younger designers are not necessarily interested in having their work implemented in a building.»

Greg Lynn interviews Kas Oosterhuis, 2014



in alto: Christopher Alexander, applicazione del metodo relazione ad un soggiorno, 1966

Le varie modalità con cui è stata classificata l'architettura cinetica discutono solo marginalmente le possibilità compositive e gli effetti spaziali raggiungibili attraverso il movimento. Queste si concentrano su aspetti quantitativi e controllabili del processo progettuale, in particolar modo su quelli tecnologici e funzionali, e soltanto in alcune delle tassonomie raccolte è possibile rintracciare categorie che tentino di rileggere il fenomeno cinetico da un punto di vista dello spazio e dei modi della sua trasformazione. Le motivazioni alla base della progettazione dei cinematismi perdono l'aspirazione originaria del movimento come generatore in perenne mutazione, in favore di approcci che vedono nella risposta sensibile ed empatica di chi abiterà o utilizzerà lo spazio in questione una conseguenza collaterale a considerazioni di carattere tecnico.

Si intende quindi reinterpretare, attingendo dalle classificazioni esistenti e introducendone delle nuove, alcune categorie che riescano a costruire una nuova tassonomia in grado di tenere insieme una serie di architetture cinetiche, proponendone una rilettura che rintracci invariante e differenze a partire non tanto dalle componenti fisiche che abilitano il movimento, quanto dalle modificazioni che lo spazio subisce a seguito di stimoli esterni (*forze, pressioni*) assumendo nuove conformazioni. Una serie di *azioni*, in definitiva, che caratterizzano la capacità della cinetica di coinvolgere l'osservatore, l'utente o l'interagente in un meccanismo circolare di interazione biunivoca che avviene nell'atto del cambiamento di stato: dalla stasi, al movimento.

Per poter immaginare una classificazione del fenomeno complesso delle architetture cinetico-responsive risulta necessario rintracciare l'origine del concetto di "pressioni" che Zuk e Clark individuano nelle premesse di "*Kinetic Architecture*" come il principale motore generativo della forma cinetica. Il termine fa riferimento all'ambito estetico che nasce dalla cultura della *macchina* assurda a simbolo dell'inarrestabile processo scientifico: tutte le *pressioni* devono obbligatoriamente passare dal filtro della tecnologia per potersi realizzare pienamente⁴³. Il concetto di *pressione* deriva dalle posizioni introdotte da Christopher Alexander nel noto saggio "*From a set of Forces to a Form*". Parte di un volume collettaneo curato da Gyorgy

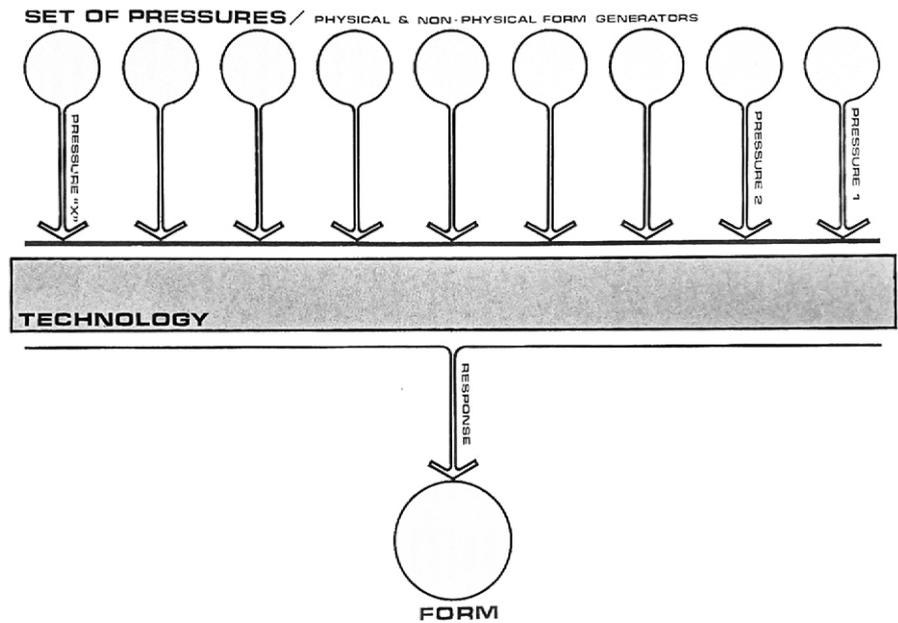
43. Zuk, Clark, *op. cit.*

a destra: William Zuk, Roger H. Clark, Pressioni fisiche e non fisiche che agiscono sulla forma attraverso il filtro della tecnologia, 1970

Christopher Alexander, *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge (MA) 1964, p. 15.

«The ultimate object of design is form. The reason that iron filings placed in a magnetic field exhibit a pattern – or have form, as we say – is that the field they are in is not homogeneous. If the world were totally regular and homogeneous, there would be no forces, and no forms. Everything would be amorphous. But an irregular world tries to compensate for its own irregularities by fitting itself to them, and thereby takes on form. D'Arcy Thompson has even called form the "diagram of forces" for the irregularities. More usually we speak of these irregularities as the functional origins of the form. The following argument is based on the assumption that physical clarity cannot be achieved in a form until there is first some programmatic clarity in the designer's mind and actions; and that for this to be possible, in turn, the designer must first trace his design problem to its earliest functional origins and be able to find some sort of pattern in them. [...] It is based on the idea that every design problem begins with an effort to achieve fitness between two entities: the form in question and its context. [...] There is a wide variety of ensembles which we can talk about like this. [...] The rightness of the form depends, in each one of these cases, on the degree to which it fits the rest of the ensemble».

«L'oggetto ultimo del progetto è la forma. La ragione per cui la limatura di ferro posta in un campo magnetico mostra un pattern – o prende forma, diremmo noi – è che il campo in cui si trova non è omogeneo. Se il mondo fosse totalmente regolare e omogeneo, non ci sarebbero forze né forme. Tutto sarebbe amorfo. Ma un mondo irregolare cerca di compensare le proprie irregolarità adattandosi ad esse, e così prende forma. D'Arcy Thompson ha persino definito la forma come "diagramma delle forze" delle irregolarità. Più comunemente si parla di queste irregolarità come delle origini funzionali della forma. La seguente argomentazione si basa sul presupposto che la chiarezza fisica non può essere raggiunta in una forma finché non c'è prima una certa chiarezza programmatica nella mente e nelle azioni del progettista; e che affinché questo sia possibile, a sua volta, il progettista deve prima rintracciare il problema di progetto nelle sue prime origini funzionali ed essere in grado di trovare una sorta di pattern in esse. [...] Si basa sull'idea che ogni progetto inizi con uno sforzo per raggiungere l'accordo tra due entità: la forma in questione e il suo contesto. [...] Esiste una grande varietà di insiemi di cui possiamo parlare in questo modo. [...] La giustezza della forma dipende, in ognuno di questi casi, dal grado in cui si adatta al resto dell'insieme».



Kepes, *"The Man-Made Object"*⁴⁴, il testo di Alexander parte da un assunto in principio molto semplice: la forma è generata da una serie di forze. Queste riguardano sia forze provenienti dalla natura – Alexander propone l'esempio della spinta del vento che agisce sulle dune – ma anche forze sociali, legate alle preferenze e ai modi di vita dell'uomo. Per chiarire la validità del suo *modus operandi*, Alexander introduce un confronto tra tre approcci per la generazione della forma: il *metodo numerico*, il *metodo analogico* e il *metodo relazionale*. Alexander sostiene che i primi due metodi, utilizzati comunemente dalle scienze che si occupano di progettare l'ambiente in cui viviamo, siano del tutto insufficienti per gestire le complessità dei bisogni del nostro quotidiano. Il concetto di *bisogno*, sottolinea l'autore, ovvero la domanda di cambiamento a cui l'architettura è tenuta a rispondere, non è sufficientemente ampio da includere tutti i possibili fattori che influenzano la *morfogenesi*. È inoltre inattivo, passivo, e non può agire come *generatore*. È un termine che va sostituito, in questo caso, con il termine *forza*: «una forza è un'invenzione. È il potere generativo che raccoglie tendenze ricorrenti e inesorabili che siamo in grado di osservare in natura»⁴⁵. L'ultimo, il *metodo relazionale* supera i due precedenti. Alexander invita ad approfondire tutte le diverse forze che concorrono alla definizione di un progetto e mettendole, appunto, in relazione: «ogni forza ha un'implicazione fisica; dato quindi un set di forze, possiamo ottenere una forma che sia quanto più stabile in relazione ad esse?»⁴⁶. Come dato di partenza Alexander assume che ogni forza possieda una sua necessaria implicazione fisica connotante e che questa possa essere astratta dal "tipo" di forza. Applicato il procedimento a tutte le forze, la forma si ottiene per *fusione*⁴⁷. L'esempio che presenta Alexander per l'applicazione del metodo relazionale riguarda l'individuazione di un arteria

44. Gyorgy Kepes (a cura di), *The Man-Made Object*, George Braziller, New York 1966.

45. Christopher Alexander "From a Set of Forces to a Form" in Ivi, p. 96

46. "Each force as certain physical implication [...] Given a set of forces, with no restriction on their variety, can we generate a form which is stable with respect all of them?", Ibid.

47. Ivi p.101.



dall'alto in basso: dECOi, *Aegis Hyposurface*, 1999
 Studio INI, *Urban Imprint*, 2019
 RAUM, *La Ville Molle*, 2010

autostradale, ma la generazione formale per *fusione* sembra applicabile anche ad alcuni esempi di architetture cinetico-responsive quando, ad esempio, più sistemi di movimentazione concorrono alla generazione del cinematismo. Nel caso di opere come *Aegis Hyposurface* di dECOi, o di *Urban Imprint* di Studio INI, gli input forniti dalla presenza di persone o cose – una *forza* a tutti gli effetti – corrispondono a risposte nate dalla *fusione* delle risposte dei singoli pezzi: il materiale, con la sua tessitura, i meccanismi, con il loro movimento, e così via. La sovrapposizione di pattern volti a coinvolgere più forze sembra anche trovare affinità con le superfici piegate per cui sovrapponendo pieghe orientate diversamente è possibile rispondere a più forze collaterali, come ad esempio l'esigenza di ombreggiatura e la possibilità di variare la destinazione d'uso di uno spazio. L'architettura non è più immaginata, disegnata e costruita ma *emerge* come esito di un metodo relazionale, ovvero della commistione di più forze che insieme collaborano e si sovrappongono definendo una forma. Queste forze non si limitano soltanto a deformazioni fisiche che in tal caso scadrebbero in approcci formalistici fini a sé stessi. Alexander stesso concede la difficoltà di poterle astrarre dal loro contesto di riferimento per poterle risolvere singolarmente⁴⁸. Di varia natura e genesi, le forze hanno influenzato l'emergere dell'architettura cinetica rispecchiando un preciso momento storico in cui alla complessità del mondo con cui «ci interfacciamo» scrivono Zuk e Clark «le risposte che ci sono richieste riguarderanno plurime tipologie e *layer* di bisogni che mutano. Gli ambienti che progettiamo avranno successo soltanto se rispondiamo a queste complesse necessità e ai cambiamenti che le attraversano»⁴⁹. È evidente come per gli autori i parametri con cui leggere l'architettura della storia e l'ambiente costruito siano ormai insufficienti e inadeguati alla rapidità del progresso della società. Per Zuk e Clark, quindi, la risposta ai bisogni tramite l'architettura cinetica – intesa come modificazione di una forma e i suoi conseguenti effetti sullo spazio – può passare soltanto attraverso la risposta a una forza propulsiva descritta solo in termini energetici: una *pressione*.

Sul concetto di forza come energia aveva già scritto D'Arcy Thompson nel suo trattato sulla crescita e lo sviluppo delle forme in natura: «Un'altra volta, e con il massimo profitto, passiamo con rapidità e facilità dal concetto matematico di forma nei suoi aspetti *statici* alla forma nei suoi aspetti *dinamici*: ci solleviamo dalla concezione della forma alla comprensione delle forze che la determinano; e nella rappresentazione della forma [...] vediamo in un caso un diagramma di forze in equilibrio, nell'altro caso l'intensità e il verso delle forze che hanno trasformato una forma nell'altra. E così, poiché i cambiamenti della forma materiale sono solo conseguenza di spostamenti della materia, possiamo ancora riferirci all'assioma *Ignorato motu ignoratur Natura*»⁵⁰. Per Alexander le

48. Applicando il metodo relazionale a un secondo esempio, stavolta su un soggiorno di un appartamento, Alexander scrive: «I ask the reader to ignore the fact that these three forces are artificially isolated – in a real living room there are perhaps a hundred forces which must all be studied simultaneously. [...] Neither the individual implications nor the fusion can be accurately defined, because at present we still lack any universal way of expressing them». Alexander, *op. cit.*, p. 105.

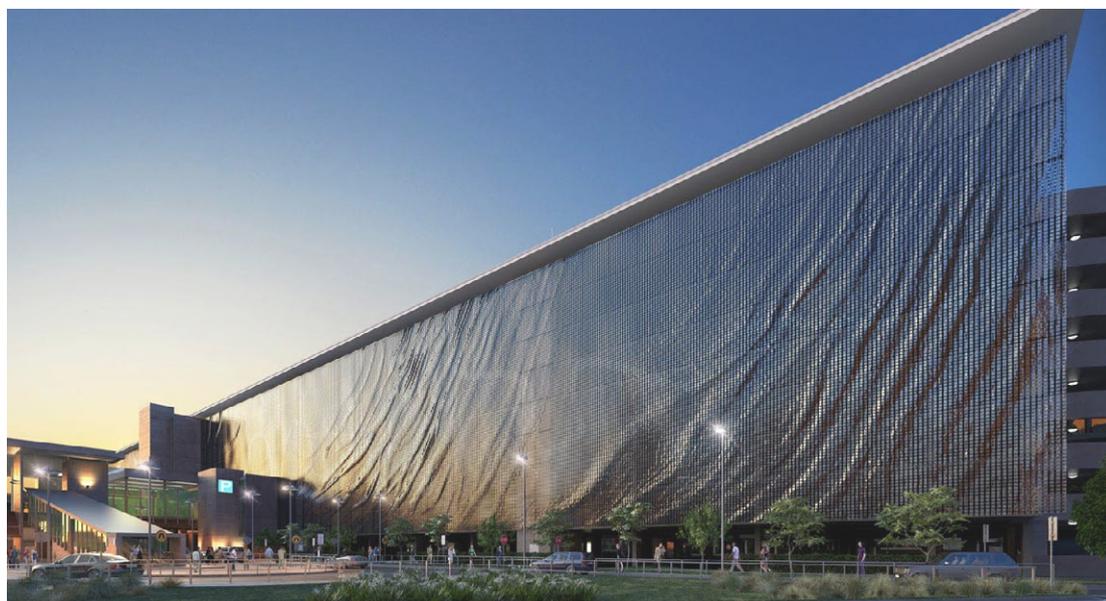
49. Zuk e Clark, *op. cit.*, p. 5.

50. Thompson, *op. cit.*, p. 292.



in alto: Christopher Alexander, *Le dune di sabbia* come esempio di “forze” che generano una forma, 1966
sopra: WhiteVoide, *Flare*, sistema di facciata, 2008
sotto: Ned Kahn, *Wind Veil*, 2010

forze possono riguardare sia fenomeni naturali che i bisogni immateriali, le esigenze e le attitudini estetiche degli uomini, per Thompson – a cui Alexander si ispira – le forze sono di carattere eminentemente fisico e guidano lo sviluppo della forma lungo una linea evolutiva riverberandosi nella struttura degli organismi che si è in grado di osservare⁵¹. Sul tema delle forze o pressioni esterne che agiscono sulla struttura formale di un organismo, Rudolf Arnheim cita Kandinskij che «analizzando le proprietà di punto, linea e superficie» introduce il concetto di *tensione guidata* in sostituzione a quello di movimento: «la tensione è la *forza* inerente all'elemento; come tale è soltanto una delle componenti del movimento attivo. Ad essa va aggiunta la direzione “di guida”»⁵². La *direzione di guida* citata da Arnheim sembra esser ciò che vincola le architetture cinetiche nella loro movimentazione. Queste, infatti, come emerso dall'analisi delle classificazioni, raccolgono una serie di input per cui si dispongono in un determinato modo nello spazio secondo direzioni privilegiate. Le *tensioni guidate* intese come forze generano dunque un cambiamento di stato del sistema in risposta a sollecitazioni. L'apparente “casualità” del movimento che assume il sistema non è mai un parametro di progetto: anche se alcune architetture cinetiche si muovono sospinte elementi naturali – come, ad esempio, le pareti mosse dal vento di Ned Kahn – il movimento resta comunque progettato dall'architetto, che prefigura in anticipo la modificazione in atto. «La tensione guidata» continua Arnheim «è una proprietà inerente alle forme, ai colori e alla *locomozione*»⁵³. In questa emerge *l'espressione dinamica* – tema chiave della sua teoria della percezione⁵⁴ – che quindi non dipende da esperienze sopite nell'osservatore o i suoi ricordi⁵⁵, ma è tutta interna all'architettura osservata. «Le varie caratteristiche delle immagini prodotte dal senso della vista non sono statiche. [...] L'esperienza visiva è dinamica [...] è prima di tutto una interazione tra *tensioni guidate*.



51. Sean Keller, *Automatic Architecture Motivating Form after Modernism*, The Chicago University Press, Chicago 2017, p. 34.

52. Rudolf Arnheim, *Art and Visual Perception. A Psychology of the Creative Eye*, University of California Press, Berkeley 1954, tr. it. *Arte e percezione visiva*, Feltrinelli, Milano 1962, p. 338.

53. Ibid.

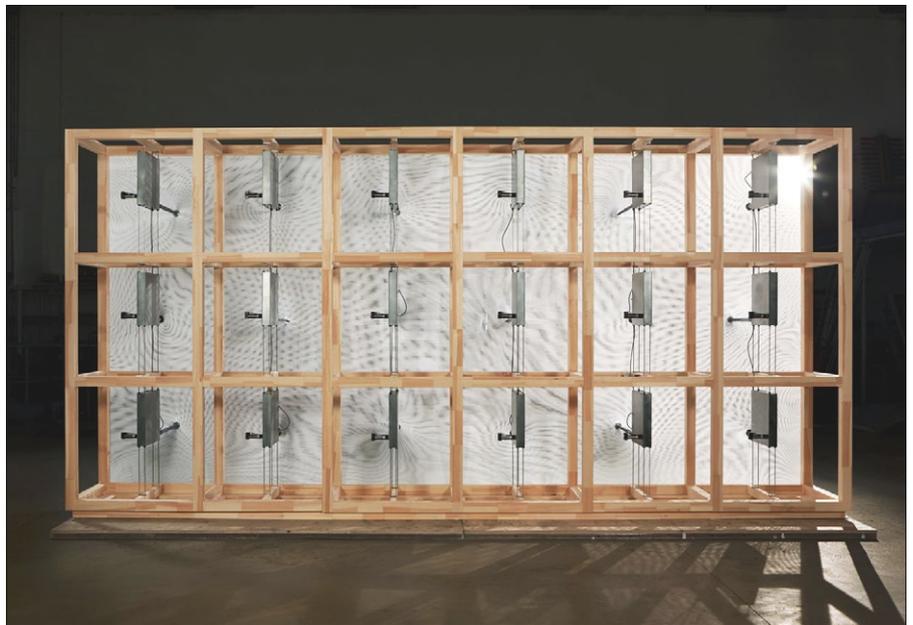
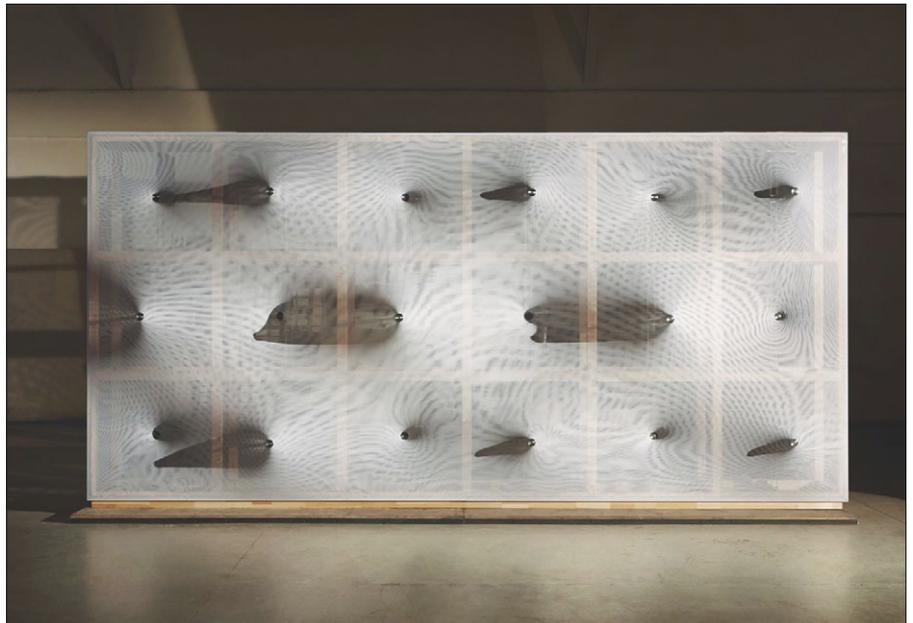
54. Cfr. Rudolf Arnheim, *The Dynamics of Architectural Form*, University of California Press, Berkeley 1977, tr. it. *La dinamica della forma architettonica*, Feltrinelli, Milano 1981.

55. Ibid.

a destra: sopra: Barkow Leibinger, *Kinetic Wall*, prospetto laterale e prospetto frontale, 2014

«The *Kinetic Wall* revisits the utopian dream of an architecture that can move, kinetically [...] Surface (wall) movement is activated by a series of motorized points which extend and retract that transform an elastic (stretched) translucent synthetic fabric into a topographical section of peaks and valleys. This movement transforms the exhibition visitor's corridor between the *Kinetic Wall* and the adjacent (glass) partition wall into a differentiated arch-like space. The limited and changing width of the passage ensures an immediate, intimate, and corporal relationship with the viewer/visitor experientially. A digitally controlled choreography enables endless surface patterns, which emerge slowly then recede and change. This visual/surface effect is further enhanced by the two layers of gridded fabric which when shifted over each other produce a moiré effect, a second scale of movement, that is translucent/ephemeral. A *Kinetic Wall* offers an alternative future, an architecture that is materially and spatially dynamic of both natural and synthetic/recycled materials».

«Il *Kinetic Wall* rivisita il sogno utopico di un'architettura che possa muoversi, cineticamente [...] Il movimento della superficie (muro) è attivato da una serie di punti motorizzati che si estendono e si ritraggono e che trasformano un tessuto sintetico traslucido, elastico e teso, in una topografia di picchi e valli. Questo movimento trasforma il corridoio dei visitatori della mostra tra il *Kinetic Wall* e l'adiacente parete divisoria (in vetro) in uno spazio differenziato di forma arcuata. La larghezza limitata e mutevole del passaggio assicura un rapporto immediato, intimo e corporeo con lo spettatore/visitatore a livello esperienziale. Una coreografia controllata digitalmente permette infiniti modelli di superficie, che emergono lentamente e poi si ritirano e cambiano. Questo effetto visivo superficiale è ulteriormente rafforzato dai due strati di tessuto a griglia che, sovrapponendosi l'un l'altro, producono un effetto moiré, un ulteriore movimento ad una scala più piccola, traslucido ed effimero. Un *Kinetic Wall* offre un futuro alternativo, un'architettura che siamaterialmente e spazialmente dinamica fatta da materiali sia naturali che sintetici o riciclati».



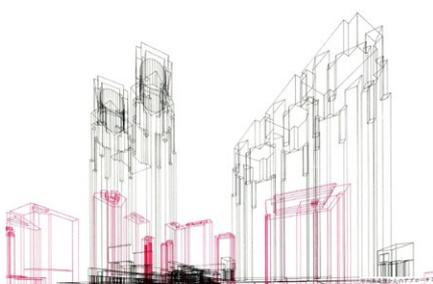
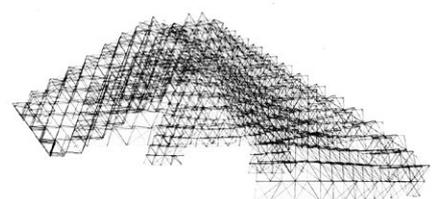
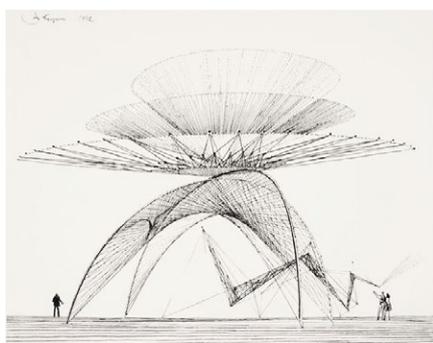
Tensioni che non sono un contributo aggiunto dall'osservatore, per ragioni sue, a immagini statiche, ma che fanno parte di ogni percepito tanto quanto la dimensione, la forma, la posizione, il colore di un corpo»⁵⁶. Riferendosi alle opere d'arte, Arnheim scrive che queste sono "create" dalle forze fisiche a cui corrispondono: «anche se la dinamica visuale fosse dovuta alla manifestazione visibile delle forze fisiche, questo non giustificerebbe l'effetto percettivo del prodotto finale sulla mente dell'osservatore, effetto che non è dovuto alla sua conoscenza della causa»⁵⁷.

Ebbene, per alcuni esempi di architettura cinetica, in particolare quelle caratterizzate da superfici in grado di assumere molteplici configurazioni nello spazio, tale assioma risulta vero solo in parte.

56. Arnheim, *Arte e Percezione Visiva*, op. cit., p. 32.

57. Ivi, p. 341.

Alcune opere, infatti, si rivelano direttamente all'osservatore nella loro natura meccanica, elettronica o digitale, ovvero mostrando i loro sistemi *anatomici*. Mettono in mostra meccanismi, congegni, sensori, in un apparato complesso che rimanda alla fascinazione per la *machine aesthetic* e ponendosi in analogia con il corpo umano, che conosciamo e siamo in grado di riconoscere nell'architettura in movimento. Infatti, citando Heinrich Wölfflin, Arnheim descrive l'esperienza che abbiamo di noi stessi e del nostro corpo come primo termine di paragone attraverso cui spiegare alcune caratteristiche fondamentali dell'architettura che alimentano la nostra percezione: «l'organizzazione dei nostri corpi è la forma che determina il nostro apprendimento di tutti i corpi fisici»⁵⁸. Scrive Wölfflin: «abbiamo portato gravi pesi e abbiamo conosciuto pressioni e contropressioni. Siamo crollati al suolo quando non abbiamo più avuto l'energia occorrente per opporci alla attrazione verso il basso esercitata dal peso del nostro corpo. Ecco perché abbiamo potuto apprezzare l'orgogliosa felicità di una colonna, e capire la tendenza di tutta la materia a espandersi senza forma sul terreno» e ancora «colonne poderose producono in noi tensioni energetiche e l'ampiezza o l'angustia delle proporzioni spaziali controllano la respirazione»⁵⁹. Per le architetture dispiegabili, ad esempio, il sistema di aste e nodi può essere assimilabile a un sistema muscolare in tensione, che si espande nell'atto di raggiungere una nuova configurazione tesa, come per le strutture di Hoberman o Pérez Piñero; in altri casi, il movimento si riduce a nuclei pulsanti alla scala di un sistema neurale responsivo, come nel caso delle opere di Sabin e Beesley, affascinati dalla biomimetica; in altri ancora, il materiale assume la consistenza di un epidermide «variabile, adattabile, flessibile all'infinito»⁶⁰ in grado di tendersi e flettersi sulla spinta degli altri sistemi, evidente nei progetti di Achim Menges, Barkow Leibinger o Ned Kahn. Mostrando i meccanismi che abilitano i cinematismi, questi esempi rendono evidente le forze, o pressioni, che abilitano l'interazione col soggetto. Il conseguente l'effetto sull'osservatore è mediato dall'apparato tecnologico che filtra – talvolta *perturbando*⁶¹ – la nostra percezione. La relazione che si instaura tra uomo e la percezione del movimento sono state esplorate a partire dagli inizi del XX secolo da un gran numero di artisti, architetti. Studi e ricerche in questo ambito sono rintracciabili principalmente nel campo dell'arte. L'arte cinetica ha anticipato l'utilizzo dei cinematismi in architettura attraverso alcune opere e autori fondamentali che hanno rintracciato in rinnovate categorie estetiche una cifra interpretativa del loro tempo. “*L'arte cinetica*” di Frank Popper rappresenta un testo di riferimento per approfondire premesse ed esiti di quella stagione. Popper compie una ricognizione onnicomprensiva di artisti e opere cinetiche dagli esperimenti del Futurismo fino agli anni Cinquanta e Sessanta in cui l'arte cinetica e programmata assume un carattere di “corrente” ben distinto e definito sul panorama internazionale. Per la prima volta, in



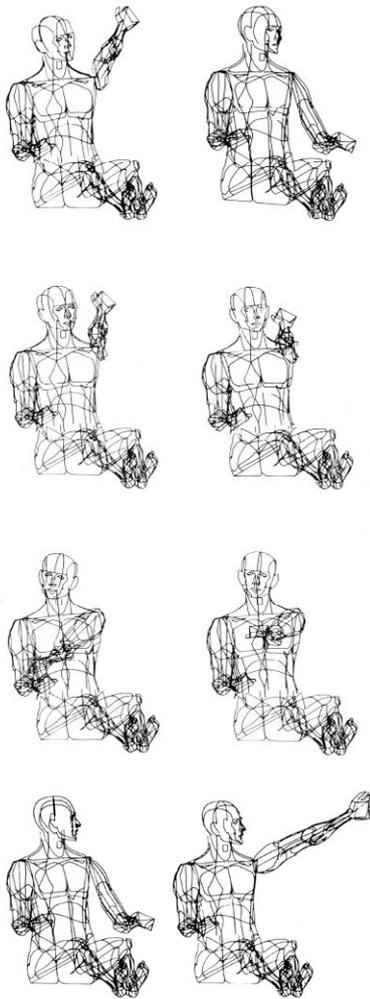
in alto: Lev Nussberg, *Untitled*, 1962
 al centro: John Frazer, *Gymnasium*, progettato con il sistema di chiusura Reptile Flexibile, 1970
 sopra: Kenzo Tange, *New Tokyo City Hall*, 1986

58. Arnheim, *La dinamica della forma architettonica*, op. cit., p.237.

59. Ivi, p. 238.

60. Alexander Tzonis, Liane Lefavre, “Il rigorismo epidermico: un nuovo non-stile internazionale” in *Casabella*, LX, 630, gennaio-febbraio 1996.

61. Cfr. Vidler, op. cit.



sopra: Boeing Computer Graphics, illustrazioni per la mostra *Cybernetic Serendipity*, 1968 Human figure. «This was the outgrowth of human engineering needs for a means of determining human capabilities in cockpit configurations. It is used for studies to determine cockpit instrument location and arrangement for easier use of control. Due to the inability of the programme to eliminate hidden lines at this time, we have a transparent figure. This figure is now a seven-system figure. Each moveable part is a system- the head and neck, the torso, the legs, right upper arm, left upper arm, right lower arm, left lower arm. The aim is to have a 21-system man where the complete figure can be manipulated».

«Figura umana. Output dei bisogni ingegneristici dell'uomo per determinare le capacità umane nelle diverse configurazioni dell'abitacolo. È usato per studiare e definire la posizione e la disposizione degli strumenti dell'abitacolo per un più facile controllo del velivolo. A causa dell'impossibilità del programma di eliminare le linee nascoste, l'uomo appare come una figura trasparente. Questa è una figura fatta da sette sistemi. Ogni parte mobile costituisce un sistema: la testa e il collo, il torso, le gambe, il braccio superiore destro, il braccio superiore sinistro, il braccio inferiore destro, il braccio inferiore sinistro. L'obiettivo è di avere un uomo composto da 21 sistemi per cui la sua figura completa possa essere manipolata».

questo testo si tenta di classificare e distinguere vari tipi di arte cinetica come un'arte sfaccettata e dalle molteplici implicazioni, a partire dalla qualità del movimento che offre all'osservatore: *virtuale o apparente/reale*: le opere virtuali o apparenti sono affini all'arte statica, «il cui movimento, o tempo, diventa discernibili soltanto dopo un processo di intensa percezione e contemplazione. Sono classificabili tra le arti cinetiche perché l'intenzione principale [...] è la sensazione del movimento reale»⁶²; *spaziale/non spaziale*: opere che compiono movimento attraverso vere e proprie modificazioni spaziali, contro opere la cui «terza dimensione è indicata soltanto con valore di simbolo o illusione»⁶³; *prevedibile/non prevedibile*: nel primo caso, «le opere poste in un movimento meccanicamente controllato e dirette dall'esterno «a partire da un motore fabbricato dall'uomo»⁶⁴, le seconde sono le opere «agitate da forze naturali, senza intervento obbligatorio e prevedibile dell'uomo»⁶⁵. Popper sceglie di classificare le tipologie del movimento con ciò che definisce «procedimenti semplici d'espressione del movimento nelle arti plastiche»⁶⁶, raccogliendo trentuno procedure divise in otto categorie: *Raffigurazione del movimento*; *Rappresentazione del movimento*; *Suggestioni formali*; *Suggestioni percettive precise*; *Procedimenti "fotografici"*; *Procedimenti "filmici"*; *Il movimento espresso mediante il movimento stesso*; *Procedimenti vari*. Tra queste categorie, quella più utile ai fini di una rilettura del fenomeno cinetico in architettura risulta quella del *movimento espresso mediante il movimento stesso*, definito da Popper come: «un tentativo d'incorporare la nozione di spazio-tempo nell'opera plastica. [...] a imitazione dei fenomeni del movimento nella natura»⁶⁷.

Questa viene ulteriormente suddivisa in una serie di procedimenti:

Movimento meccanico semplice: utilizzato per esaltare l'estetica della macchina nella sua «bellezza e mostruosità»; *Movimenti elettromeccanici, elettronici, termici, idraulici e magnetici*: un'evoluzione del primo procedimento che permettono di ottenere effetti più complessi sullo spettatore; *Mobiles (sospensioni, «instabilità»)*: i *mobiles* – termine coniato da Marcel Duchamp nel 1931 per definire le opere di Alexander Calder⁶⁸ – presuppone un movimento imprevedibile seppur lento, ponendo l'accento sulla costruzione dell'oggetto e sulle sue qualità formali; *Proiezioni, riflessioni, rifrazioni della luce (variazione dei colori e delle forme proiettate)*: si focalizza su variazioni luminose, cromatiche e sulla proiezione di forme su superfici. Le pressioni introdotte da Zuk e Clark a partire dai principi esposti da Alexander e D'Arcy Thompson riecheggiano nei procedimenti individuati da Popper per la sistematizzazione e lettura dell'arte cinetica. Questi non sono altro che un tentativo di «fusione» – per usare le parole di Alexander – delle diverse forze agenti in una serie codificata di momenti di un processo generativo che è di natura tecnica ma anche culturale e sociale. Le forze o pressioni che si incanalano nel *progetto* dell'artista – per estensione l'architetto – si sovrappongono, e si fondono, in procedimenti

62. Popper, *op. cit.*, p. 121.

63. Ivi, p. 154.

64. Ibid.

65. Ibid.

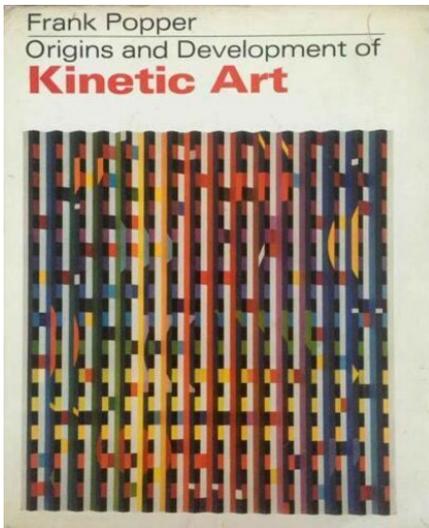
66. Ivi, p. 285.

67. Popper, *op. cit.*, p.293.

68. Gerry Souter, *Alexander Calder*, Parkstone International, New York 2006.

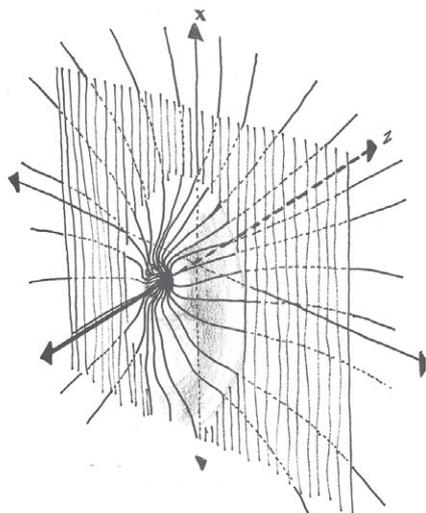
che trovano, infine, esito formale in specifiche *azioni* progettuali. Azioni, appunto, che assorbono i concetti di forza e pressioni per ragione in maniera onnicomprensiva sulle diverse influenze che l'architettura è tenuta a considerare nel momento della sua trasformazione. Talora qualificate come *atti* (singoli, mirati a un obiettivo) talora come *attività* (ripetute nel tempo, a bassa intensità), le *azioni* così considerate permettono di discretizzare tassonomicamente gli organismi architettonici in base alla loro risposta. Partendo da tali considerazioni, si intende proporre una nuova tassonomia che possa attraverso tre azioni fondamentali una metodologia del progetto della cinetica in architettura interpretando il cambiamento di stato come atto generatore di un'esperienza che avviene in presenza di una mutazione architettonica per mezzo di *azioni*.

Copertina dell'edizione inglese *Origins and Development of Kinetic Art*, 1968
 Frank Popper, Filogenesi dell'arte cinetica, 1968



		<i>Artistic tradition</i>		<i>Sources close to and outside the artistic field</i>		
	ANTIQUITY	Sculpture		Articulated statuettes, hydraulic automata		
	MIDDLE AGES	Frescoes, tapestries, stained glass		Marionettes, Jacks of the Clock		
	RENAISSANCE	Trompe l'oeil		Animated pictures		
	BAROQUE	Painting and sculpture		First colour organs		
	ROMANTICISM	Painting		Human automata		
	1870	Objective movement (Impressionism)		Photography, colour organs		
		Subjective and sculptural movement (Redon, Rodin)				
	1890	Objective movement (Neo-impressionism)		Cinema, theatre projections		
		Subjective movement (Pre-expressionism)				
	1900	Art Nouveau				
<i>Theme</i>	<i>Graphic effects in composition or materials</i>	<i>Interaction of colour</i>	<i>Three-dimensional effects</i>	<i>Light and movement</i>	<i>Spectacle</i>	
1910	Bl. Reiter Futurism Rayonnism Picabia M. Duchamp Klee Schwitters	Cubism Vorticism Tatlin Kandinsky Klee Schwitters	Kupka Delaunay Malevich Mondrian V. Doesburg	Tatlin Archipenko Boccioni Duchamp Vantongerloo	Survage Valensi Rimington Hallock-Greenewalt Balla Depero Baranoff-Rossine	
1920	BIRTH OF KINETIC ART <i>Abstract Movement or intervention by the inducements spectator</i>		<i>Machines</i>	<i>Mobiles</i>	<i>Light and movement</i>	<i>Spectacle and environment</i>
	Lissitzky Berlewi Bauhaus		Gabo Duchamp Moholy-Nagy	Man Ray Rodchenko Calder	Wilfred Klein Schwerdtfeger	Eggeling Richter
1930	Itten Herbin Albers Vasarely		Pesaneck	Munari	Hirschfeld-Mack Hausmann Theremin Pesaneck	Bauhaus Léger Lye
1950	DIFFUSION OF KINETIC ART					
	Vasarely Mortensen Grav Mari Riley Steele etc.	Agam Soto Debouge Cruz-Diez Malina Ascott Tomasello Boto Grav (Stein, Le Parc) Demarco Groups T, N Duarte Alviani Camargo Asis Greenham Sobrinho Gatti etc.	Schöffer Tinguely Pol Bury Kramer Group T Kosice Takis Grav Lye Kowalski Carrera Lijn etc.	Chadwick K. Martin Rickey Vardanega Le Parc Stein Yvaral etc.	Wilfred Palatnik Malina Schöffer Munari Sidenius Healey Calos Vardanega Boto Gerstner Dantu Demarco Megert Morellet Garcia-Rossi Mari Von Graevenitz Peeters Grav Groups T, N, MID Zero Dadzu etc.	Vasarely Schöffer Agam Valensi Lassus Darié H. W. Müller Jaulmes Durante etc.

V. Interpretare la cinetica



José Miguel de Prada Poole, *Estetómetro*, 1971

«In the project for the *Estetómetro*, Prada Poole identified three aspects that needed to be considered when tackling an analytical experience in a work of art: the conceptual field, the perceptive field, and the physical field. The conceptual field—relating to culture, sociology, or politics—needed to be approached through the preparation of surveys, the taking of samples, and direct observation. Regarding the perceptive field, Prada Poole demonstrated a strong interest in systems of perception—of a physiological and psychophysics basis—that affect our appreciation of a work of art. Yet, without question, his greatest interest lay in the description, in mathematical terms, of the aesthetic elements that were going to be needed in future investigations. This led him to focus his research on the third aspect: the physical field [...] for which he proposed the application of linguistics and psychology through a transposition of the semantics and the syntax of those sciences for art».

«Nel progetto per l'*Estetómetro*, Prada Poole ha identificato tre aspetti da considerare quando ci trova ad affrontare un'esperienza analitica in un'opera d'arte: il campo concettuale, il campo percettivo e il campo fisico. Il campo concettuale – relativo alla cultura, alla sociologia o alla politica – deve essere affrontato attraverso una serie di indagini, il prelievo di campioni e l'osservazione diretta. Per quanto riguarda il campo percettivo, [...] i sistemi di percezione – su base fisiologica e psicofisica – influenzano il nostro apprezzamento di un'opera d'arte. Tuttavia, il maggiore interesse stava nella descrizione, in termini matematici, degli elementi estetici che sarebbero stati necessari nelle future ricerche. Questo lo portò a concentrare la sua ricerca sul terzo aspetto: il campo fisico [...] per il quale ha proposto l'applicazione della linguistica e della psicologia attraverso una trasposizione della semantica e della sintassi di queste scienze nell'arte».

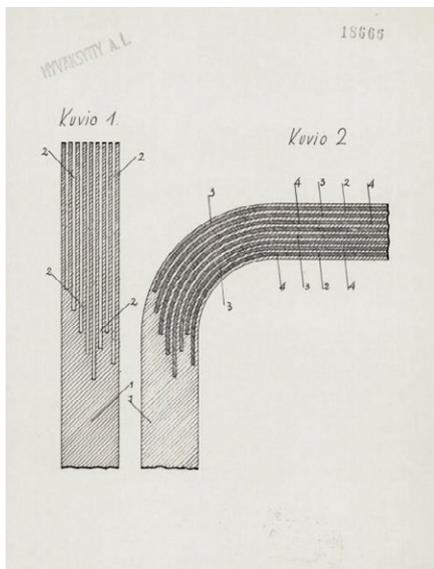
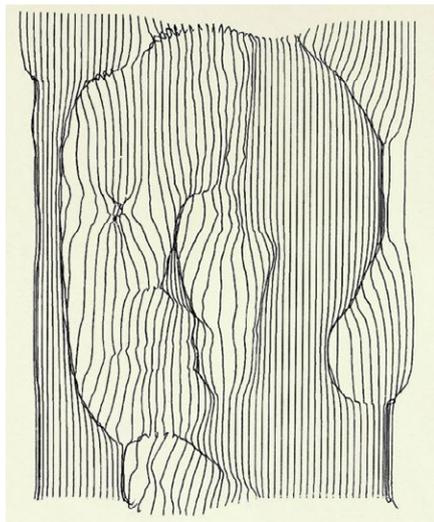
Per costruire una tassonomia che tenga conto delle azioni che agiscono sull'architettura cinetica e ne producono un cambiamento di stato si è fatto riferimento alle definizioni proposte da Popper nell'individuazione di opere *spaziali* e *non-spaziali*, successivamente rielaborate nelle famiglie di *azioni fisiche* (interne) che concretamente modificano la forma e di *azioni ambientali* (esterne) derivanti dalle caratteristiche del contesto di riferimento che agiscono sull'architettura e con cui essa interagisce. *Luce, temperatura, suono, colore e tessitura* – i fattori percettivo-ambientali che più frequentemente sono coinvolti nel progetto della cinetica – e i conseguenti effetti spaziali definiti dalle azioni fisiche di *scorrimento* (diretta lungo una direzione nel piano) *estensione* (diretta lungo una dimensioni nello spazio) *espansione* (diretta in tre dimensioni, controllata) *deformazione* (diretta in tre dimensioni, controllata/non controllata) e *movibilità* (completo spostamento dell'opera da un luogo ad un altro). A partire da queste categorie, il tentativo di stabilire una rilettura tassonomica della cinetica ha provato a considerare come punto di partenza non tanto gli aspetti più propriamente tecnici di produzione e abilitazione dei cinematismi quanto i fattori che possano influenzare un'opera da un punto di vista percettivo che modulano l'esperienza della cinetica. *Azioni fisiche* e *azioni ambientali* confluiscono di conseguenza in un terzo livello che riguardano le strategie formali che la cinetica riesce a definire: *campi, gradienti ed emergenze*. Provare a discretizzare in singoli frame le diverse azioni che influiscono sulla dinamica del progetto non ha la pretesa di proporre una tassonomia definitiva o esaustiva, anche perché le categorie proposte spesso si sovrappongono in alcune opere che tengono conto di più fattori contemporaneamente che emergono in relazione al loro contesto di riferimento. Kepes scrisse che «non può esistere né una qualità assoluta di colore, chiarezza, saturazione né una misura assoluta di grandezza, lunghezza, forma [...] perché ogni unità visiva acquista il suo unico modo di apparire attraverso un'interrelazione dinamica con l'ambiente ottico che la circonda»¹. Rileggere la cinetica a partire da *azioni fisiche, ambientali e compositive* può aprire nuovi punti di vista sul progetto del movimento inteso come possibile cifra espressiva dei rapidi mutamenti del tempo che attraversiamo, rendere più vicine le possibilità di una sua attuazione mediata da condizioni diverse e prive dell'acritico entusiasmo tecnocratico che caratterizzò la prima digital turn, rendendo così immediatamente disponibile alla pratica del progetto una modalità interpretativa di cui appropriarsi per tentare di rispondere a questioni cogenti senza smarrire, nel corso del processo progettuale, la direzione verso un'architettura che miri al benessere dell'uomo poiché, in fin dei conti, «non è possibile raggiungere la felicità senza qualità»².

1. Gyorgy Kepes, *Language of Vision* Chicago 1944, tr. it. *Il linguaggio della visione*, Dedalo, Bari 1971.

2. Le Corbusier, *A Hitherto Untranslated Letter from Le Corbusier to Anatolii Lunacharskii*, 1932, <https://thecharnelhouse.org/2011/06/28/a-hitherto-untranslated-letter-from-le-corbusier-to-anatolii-lunacharskii/> [10.11.2021].

Azioni Fisiche

sotto: Eusebio Sempere, schizzo di studio, Alicante, 1965
in basso: Alvar Aalto, schema di piegatura del legno depositato come brevetto, 1934



Pur riconoscendo le varie categorie di procedimenti che Popper individua per la generazione della cinetica ne “*Il movimento espresso mediante il movimento stesso*”, per la mappatura e la classificazione delle architetture cinetiche è necessario considerare le implicazioni per il progetto che la cinetica genera quando è definita in termini *spaziali*, ovvero in termini di movimento *reale*, che è ciò che concretamente produce il coinvolgimento del soggetto interagente. «Il movimento è il più forte richiamo visivo dell’attenzione» scrive Arnheim, ed è ciò che riesce a catturare immediatamente l’attenzione di chi osserva: «la risposta automatica al movimento da parte dell’uomo è comprensibile: il moto equivale a un mutamento delle condizioni ambientali, e il mutamento può richiedere una reazione [...]»³. Dalle tassonomie analizzate sono emersi vari termini e modalità per la classificazione del movimento, nella maggior parte dei casi selezionati sulla base dei meccanismi che li abilitano. Tra questi sono stati selezionati cinque tipologie di movimento che generalizzano i cinematismi presenti nelle opere prese in esame per la ricerca delle *azioni fisiche* come genesi della loro trasformazione.

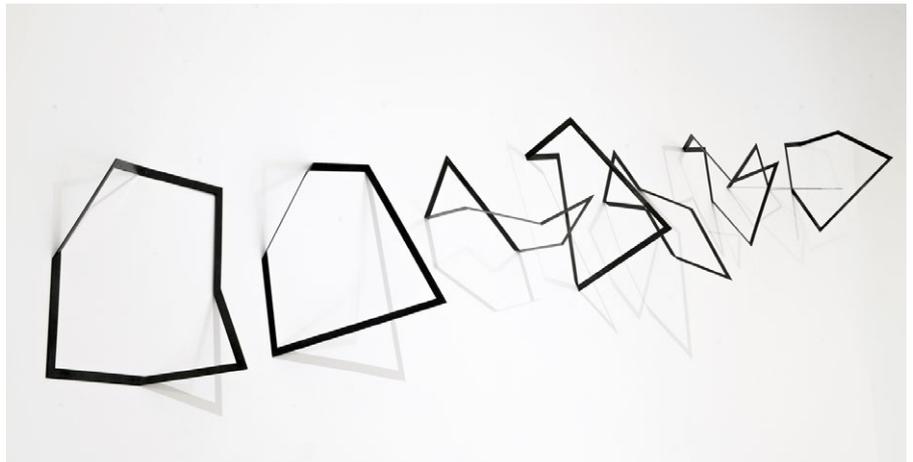
Scorrimento. (*diretta lungo una dimensione nel piano*). Lo scorrimento descrive il movimento lungo una direzione nel piano in cui giace. In questa categoria viene assorbita anche la *rotazione*, citata in varie altre tassonomie, che è qui intesa come uno scorrimento nel piano seguendo una traiettoria circolare a partire da un centro. Tale azione fisica riguarda operazioni apparentemente banale che coinvolgono quotidianamente l’uomo nell’interazione con l’architettura: ad esempio, l’atto di aprire una finestra, realizzando a tutti gli effetti una modificazione dello spazio. La categoria dello scorrimento, infatti, trova forma negli effetti di luce sullo spazio, provocando una percezione mutevole e dipendente dalle condizioni dell’ambiente esterno. Gli *shoji* giapponesi rappresentano gli esempi più studiati di elementi a scorrimento per la loro leggerezza e la loro capacità di generare atmosfere grazie alla traslucenza della carta di riso. Gli elementi che appartengono a questa categoria sono coinvolti nel controllo della radiazione solare, in sistemi di ventilazione e di protezione della pioggia o in sistemi di raccolta della acque.

Estensione. (*direzione unica nelle tre dimensioni*). L’estensione indica la possibilità di movimento lungo una direzione preferenziale nello spazio. Questa categoria comprende la serie di architetture il cui cinematismo prevedere l’adattabilità di spazi a usi diversi, con un conseguente allungamento o accorciamento della direzione preferenziale del cinematismo. Gli esempi raccolti intorno a questa categoria riguardano architetture realizzate principalmente attraverso superfici piegate, in particolare con pattern geometrici di tipo origami che possono essere estesi lungo una direttrice a partire da una configurazione chiusa. L’azione

3. Arnheim, *Arte e Percezione Visiva*, op. cit., p. 303.

a destra: Grazia Varisco, *Allineamenti scorrevoli ricorrenti*, 2017

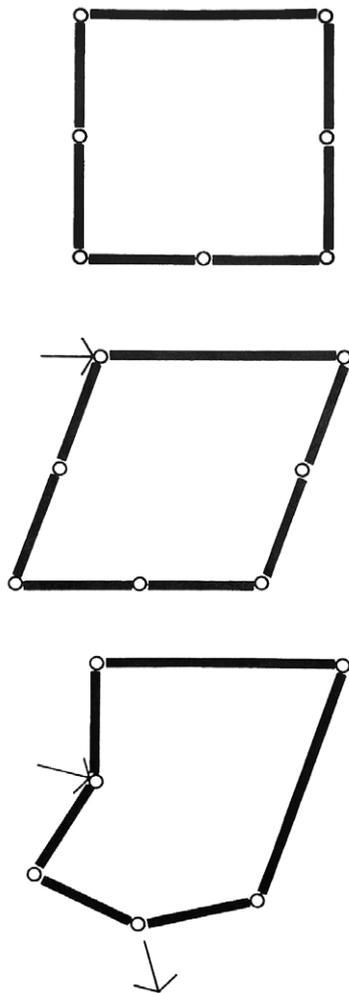
sotto: Zuk, Clark, schema dei sistemi cinetici soggetti a deformazione, 1970



estensiva ad opera di superfici piegate genera spazi ritmati geometricamente, definiti da pieghe di monte e valle, che ne conferiscono l'aspetto corrugato.

Espansione. (diretta in tre direzioni, controllata). L'espansione è un tipo di movimento cinetico che avviene nelle tre dimensioni contemporaneamente e in maniera simmetrica rispetto a uno o più centri e definisce generalmente l'ingrandimento o il restringimento di uno spazio. Quest'azione agisce in un intervallo che prevede essenzialmente due conformazioni –iniziale compatta chiuso, o finale aperta e dispiegato. Questa categoria è quella più influenzata dall'applicazione di componenti meccaniche per la sua generazione: aste, nodi, connettori, cerniere e meccanismi elettronici concorrono alla definizione di un'estetica "muscolare" che funziona per contrazione e distensione.

Deformazione. (diretta in tre dimensioni, controllata/non controllata). La deformazione è la più complessa delle azioni che coinvolgono i cinematismi in architettura. Essa rappresenta una modificazione di entità variabile che la forma subisce sotto effetto di una forza ed è caratterizzata da dall'essere diretta nelle tre dimensioni dello spazio. La categoria di *prevedibilità* introdotta da Popper può essere applicata all'azione deformativa. Questa, infatti, può avvenire in modo *prevedibile* se appartiene a un sistema cinetico progettato a priori e controllato) e in modo *non-prevedibile*, qualora coinvolga deformazioni proprietà fisico chimiche del materiale, o se generata da forze naturali, o se ancora le parti della struttura in movimento sono connesse tra loro da meccanismi che ne consentano gradi di libertà e che quindi, in una reazione a cascata, al deformarsi di una parte si riverbera sull'intera struttura. Quest'ultimo aspetto ha origine nella teoria delle trasformazioni di D'Arcy Thompson che descrive la deformazione come lo strumento principale attraverso cui avviene lo sviluppo da uno stato a un altro⁴. La deformazione inoltre assume un forte ruolo nell'atto della percezione visiva del movimento. Scrive Arnheim: «La deformazione è il fattore chiave nella percezione della profondità, perché diminuisce la semplicità e aumenta la tensione nel campo visivo [...] Una deformazione implica sempre l'impressione che l'oggetto sia stato in qualche modo spinto



4. Thompson, *op. cit.*, p. 293.

Carlos Ferrater, Fernando Bendito, José M. Prada Poole, *Instant City*, Ibiza, 1970-1971

«*Instant City* was a call to imagination and an experiment in community living. An ephemeral city was built as a counterpoint on land beside the sea in Cala San Miguel. A minimal infrastructure was constructed and a group of young architects provided the basic technical knowledge with which visitors from all over the world were able to construct their inflatable living modules and communally design circulation areas and shared spaces. To do this we used 15,000 m² of PVC of different colors and a million staples, together with the necessary instruments with which to construct the world's first inflatable city. From an initial geometry which bound together the different modules via a single system of ventilation and overpressure, a more open and flexible organization was arrived at that permitted the use of different geometries of greater complexity».

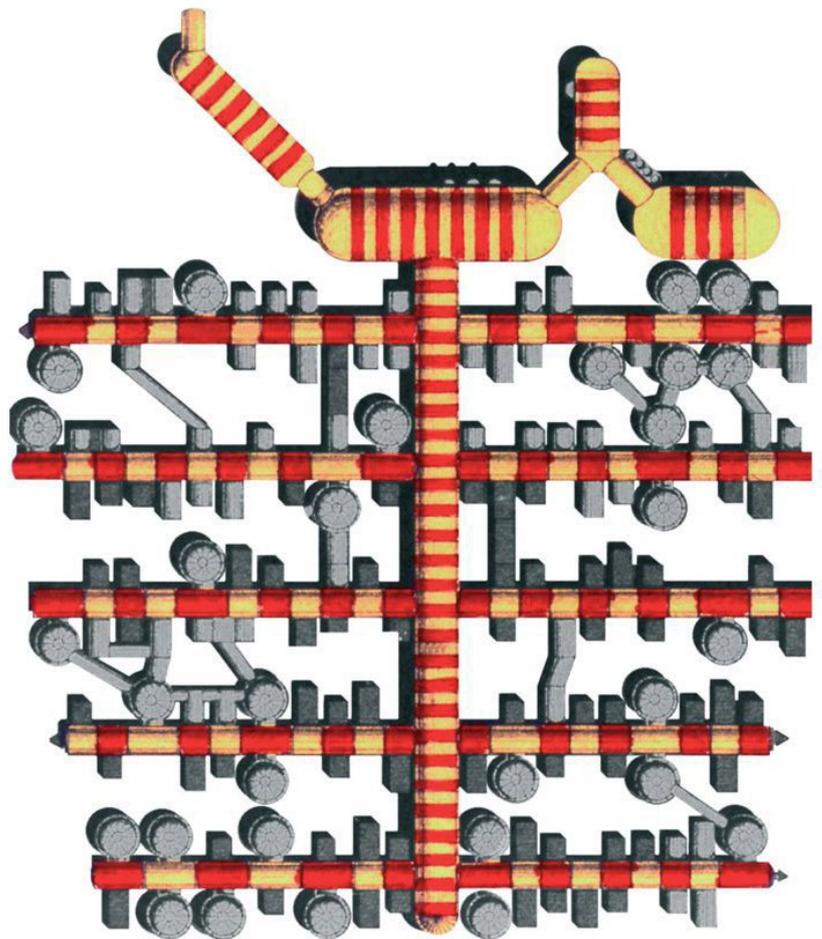
«*Instant City* ha rappresentato una chiamata all'immaginazione e un esperimento di vita comunitaria. Una città effimera come contrappunto sulla terraferma al mare di Cala San Miguel. Fu costruita un'infrastruttura minima e un gruppo di giovani architetti fornì le conoscenze tecniche di base con cui i visitatori di tutto il mondo poterono realizzare i loro moduli abitativi gonfiabili e progettare aree comuni di circolazione e spazi condivisi. Abbiamo utilizzato 15.000 mq di PVC di diversi colori e un milione di graffette metalliche, e gli strumenti necessari a costruire la prima città gonfiabile del mondo. Da una geometria iniziale che legava tra loro i diversi moduli attraverso un unico sistema di ventilazione e pressione dell'aria, si è giunti a un'organizzazione più aperta e flessibile che permetteva di utilizzare diverse geometrie di maggiore complessità».



o tirato meccanicamente [...] [la deformazione avviene quando] la forma dell'oggetto (o parte dell'oggetto) nella sua totalità e nel suo insieme ha subito un cambiamento nella struttura spaziale»⁵. Infine, la deformazione condensa le azioni di scorrimento, estensione ed espansione, e rappresenta l'azione che l'architettura che ha inteso esprimere dinamismo e movimento ha applicato più frequentemente per raggiungere una determinata espressione.

Movibilità. (completo spostamento dell'opera da un luogo ad un altro).

L'azione fisica della mobilità riguarda l'intero spostamento della struttura cinetica, al di là delle caratteristiche tecnologiche e tecniche costruttive con cui è realizzata. Le strutture mobili possono incorporare altri tipi di movimento una volta spostate, ma il cinematismo principale che le caratterizza avviene nella traslazione da un luogo a un altro. Le architetture mobili sono state incluse in varie tassonomie poiché spesso realizzate attraverso superfici piegate o pattern origami, dispiegabili. Nello sviluppo di questo tipo di strutture, le dimensioni dello spazio generato e le tecniche costruttive con cui vengono realizzate riguardano un punto centrale del processo progettuale per la loro natura di opere da trasportate e assemblare nel luogo di utilizzo. L'azione fisica della mobilità si traduce in un certo grado di leggerezza e trasparenza della struttura, nonché nella caratteristica modulazione delle pieghe dovute all'utilizzo di pattern geometrici prestabiliti.



5. Arnheim, *Arte e Percezione Visiva*, op. cit., p. 215.

Azioni Ambientali

La rispondenza attraverso cinematismi ai parametri ambientali rappresenta un campo di ricerca molto studiato e che trova molteplici applicazioni in architettura, in particolar modo nei sistemi di rivestimento che a seconda della loro configurazione possono accogliere interfacce più o meno complesse che separano l'interno e l'esterno, l'uomo e l'ambiente⁶. I sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria sono sempre stati caratterizzati da un certo grado di movimentazione che nel corso del ventesimo secolo ha trovato forma in una serie di componenti automatizzati e responsivi capaci di modificarsi al variare delle condizioni di luce, aria, temperatura. Tali sollecitazioni operano su due livelli: il primo, in cui l'azione agisce sul componente/involucro/intera architettura e ciò che ne consegue è una modificazione della forma attraverso un movimento; il secondo, in cui alla responsività delle componenti, corrisponde una modificazione della percezione dello spazio da parte del soggetto – *luce, temperatura, suono, colore e tessitura* – caratteristiche che mutano al variare della risposta del sistema. Tali *azioni ambientali* provengono dall'esterno e derivano dalle caratteristiche del contesto fisico in cui il sistema cinetico è collocato e con cui esso interagisce. Si può quindi assumere che le azioni *ambientali* agiscono su un sistema *interfaccia*, inizialmente *passivo* nella ricezione delle sollecitazioni e risposta attraverso la modificazione della sua forma, ma che diventa *attivo* nel momento del trasferimento dell'informazione all'interno, generando esperienze spaziali mutevoli e influenzando le qualità atmosferiche dello spazio. *Luce, temperatura, suono, colore e tessitura* sono quindi i fattori percettivo-ambientali che più frequentemente sono coinvolti nel progetto della cinetica. Raggruppare le architetture cinetiche intorno alle azioni ambientali che le informano può permettere la lettura trasversale di esigenze prestazionali, caratteristiche formali e modificazioni atmosferiche che il movimento abilita e rende



in alto: Jean Nouvel, *Institut du Monde Arabe*, 1987w
a destra: Pneuhaus, *Atmosphere*, 2018
Hans Baumgartner, *Café at a students' hostel*, ca. 1930



6. Cfr. Moussavi, Kubo, *op. cit.*

concreti in una nuova modalità espressiva del nostro tempo, che esplori «le potenzialità atmosferiche e poetiche delle nuove tecniche costruttive per la ventilazione, il riscaldamento, il rinnovo dell'aria e l'isolamento. A livello microscopico, sonda un campo originale legato alla percezione [...] l'architettura deve costruire scambi sensoriali tra il corpo e lo spazio e nuovi approcci estetici in grado di determinare cambiamenti a lungo termine della forma e al modo di abitare nel futuro»⁷.

Luce. (variazione della radiazione luminosa). «Il progresso più spettacolare in tutto il settore dell'arte cinetica dal 1965 è stato compiuto con l'introduzione generalizzata della luce artificiale. Tale sviluppo ha influito in maniera radicale sui progetti elaborati "come ambiente" [...] il *lumino-cinetismo* crea un'atmosfera che consente allo spettatore un comportamento estetico nuovo»⁸, così Popper introduceva il ruolo della luce nell'arte cinetica, tanto da dedicarvi un capitolo a parte del suo volume sull'argomento. Popper si riferisce in tal caso alla luce artificiale che viene utilizzata come vero e proprio strumento per la produzione di immagini in movimento attraverso proiezioni e fonti luminose diretta; in architettura è più frequente il ricorso alla luce naturale come generatore di un effetto cinetico-responsivo. La radiazione luminosa è l'azione ambientale più frequentemente applicata alle architetture cinetiche. Nel corso del tempo, molte architetture hanno individuato nei sistemi di ombreggiatura non soltanto dispositivi di protezione ma modalità espressive specifiche⁹. L'avanzare del progresso tecnologico e industriale ha reso possibile l'automatizzazione del movimento attraverso sensori e attuatori avviando così la proliferazione sul mercato di sistemi di controllo luminoso, influenzando così il linguaggio e le prospettive di futura applicazione in un contesto globale in cui risulta sempre più necessario adeguare architetture esistenti alle rinnovate esigenze dovute al cambiamento del clima¹⁰. L'atto cinematografico è sempre sotteso a questo tipo di trasformazioni che permettono il filtraggio della luce tra interno ed esterno; questa caratteristica è ciò che Popper definisce come l'influenza sui progetti elaborati «come ambiente», ovvero progetti che tengono in considerazione la percezione di uno spazio in cui la luce «sulle cose»¹¹ influenzi il coinvolgimento emozionale dell'utente. Da «massa d'ombra»¹², chiusa, l'architettura subisce un'azione di "scavo" attraverso cui «far filtrare la luce nell'oscurità»¹³. I cinematismi sono in grado di attivare questo tipo di sensazioni.

Temperatura. (differenza di temperatura tra interno ed esterno). «L'umanità può esistere, senza assistenza, su praticamente tutte le parti della terra che sono attualmente abitate, eccetto le più aride e le più fredde. [...] per *prosperare*, piuttosto che semplicemente *sopravvivere*, l'umanità ha bisogno di più agio [...] [che] deriva dall'impiego di risorse tecniche e

Reyner Banham, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, University of Chicago Press, Chicago 1966, pp. 21-22.

«Architecture came to be seen as the conscious art of creating massive and perdurable structures [...] But the architectural profession has had little to offer beyond further variations upon massive structure, and has normally responded as if these constituted the unique and unavoidable technique for dealing with environmental problems. In truth, they never had been the unique and unavoidable technique. A suitable structure may keep a man cool in summer, but no structure will make him warmer in sub-zero temperatures. A suitable structure may defend him from the effects of glaring sunlight, but there is no structure that can help him to see after dark. Even while architectural theory, history, and teaching have proceeded on the apparent assumption that structure is sufficient for necessary environmental management, the human race at large has always known from experience that unaided structure is inadequate. Power has always had to be consumed for some part of every year, some part of every day».

«L'architettura è un'arte che crea consapevolmente strutture massicce e durevoli [...] la pratica architettonica ha avuto poco da offrire al di là di ulteriori variazioni a questo tipo di struttura, e ha normalmente risposto come se questa costituisse l'unica e inevitabile tecnica per affrontare i problemi del clima. In verità, essa non lo è mai stata. Una struttura adeguata può mantenere un uomo al fresco in estate, ma nessuna struttura lo terrà più caldo a temperature sotto lo zero. Una struttura ben fatta può difenderlo dagli effetti della luce abbagliante del sole, ma non c'è struttura che possa aiutarlo a vedere dopo il tramonto. Anche se la teoria, la storia e l'insegnamento dell'architettura hanno proceduto sul presupposto apparente che la struttura sia sufficiente per la gestione degli agenti ambientali, l'umanità in generale ha sempre saputo per esperienza che una struttura non coadiuvata da altri sistemi è inadeguata. Il consumo di energia è stato sempre necessario per almeno una parte di ogni anno, e per parti di ogni giorno».

7. Philippe Rahm, *Atmosfera Costruite*, Postmedia books, Milano 2014.

8. Popper, *op. cit.*, p. 238.

9. George Baird, *The Architectural Expression of Environmental Control Systems*, Spon Press, Londra 2001.

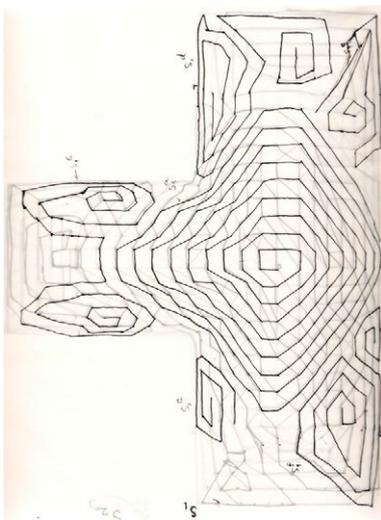
10. Alejandro Zaera Polo, *The Ecologies of The Building Envelope*, Actar, Barcellona 2021.

11. Zumthor, *op. cit.*, p. 57

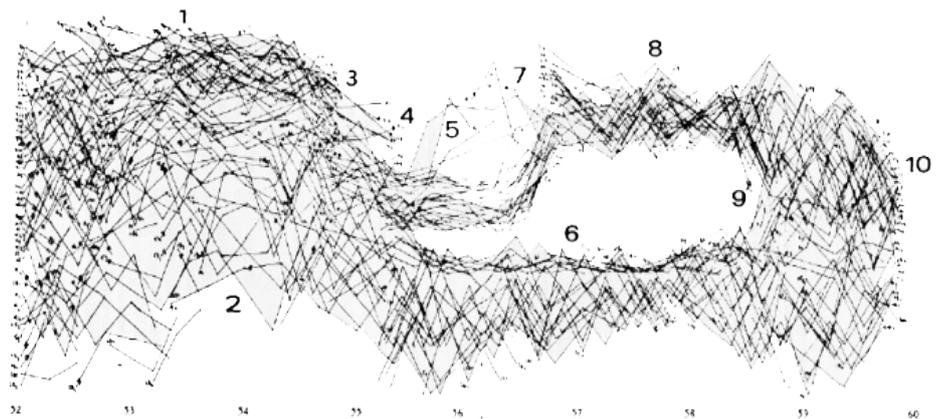
12. Ibid.

13. Ibid.

organizzazioni sociali, al fine di controllare l'ambiente circostante»¹⁴. A partire dalla risposta dell'uomo all'esigenza di proteggersi dalle temperature di un ambiente ostile, in *"The Architecture of the Well Tempered Environment"*, Reyner Banham sostiene che le categorie estetiche architettoniche dell'epoca in cui scriveva sarebbero state in futuro fortemente influenzate dallo sviluppo dei nuovi apparati tecnologici necessari per la sempre più pressante necessità di adattamento al clima; categorie tecnologiche che avrebbero predominato sulle categorie classiche di forma e struttura. L'evoluzione successiva della relazione tra architettura e temperatura è stata fortemente influenzata dalle possibilità offerte dai sistemi cinetici. L'azione della temperatura sull'architettura cinetica ha generato tutta una serie di sviluppi di componenti che mitigassero le sensazioni di caldo freddo tra uno spazio interno e uno esterno. La temperatura è una delle caratteristiche fondamentali di uno spazio in grado di riverberarsi nella sua atmosfera per poter cogliere l'atmosfera di uno spazio. Peter Zumthor fa esplicito riferimento alle qualità dei materiali e alla loro capacità di lasciar percepire un cambio di temperatura, e non soltanto da un punto di vista "figurato"; Zumthor specificando tuttavia che l'azione della temperatura



sopra: Iannis Xenakis, *Polytope of Cluny*, schizzo per la propagazione sonora e luminosa, 1972
al centro a destra: Iannis Xenakis, *Pithoprakta*, 1955-1956



The composer's graph plotting paths of glissandi in *Pithoprakta*, bars 52-60. Each line represents a string instrument named on the vertical axis, starting with the lowest register at the bottom to the highest at the top while the horizontal axis represents time. Note lacuna forming from Bar 55-58 within the outer shape of the configuration

riguarda dati concreti, in quanto «i materiali possono sottrarre alla nostra temperatura corporea quantità minori o maggiori di calore»¹⁵. Di conseguenza, il movimento dei sistemi cinetici attivati dall'azione della temperatura, e la variazione differenziale che ne consegue, agiscono direttamente sull'atmosfera di uno spazio. La movimentazione genera diverse modalità di interfaccia con l'azione della temperatura tra cui, oltre ai sistemi che caratterizzano gli involucri edilizi, sistemi di protezione di spazi e che definiscono ambienti riparati in spazi aperti.

Suono. (responsività e controllo della radiazione sonora). La maggior parte delle applicazioni della cinetica in architettura coinvolge la percezione visiva o le sensazioni di caldo e freddo, ma una specifica categoria di opere si

14. Reyner Banham, *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, University of Chicago Press, Chicago 1966, p. 18.

15. Zumthor, *op. cit.*, p. 33.



sopra: Samira Boon, *Archi-Folds*, 2017

sopra: Jenny E. Sabin, *my Thread Pavilion for Nike FlyKnit Collective*, 2012.

sono occupate di suono. Il ruolo del suono è solitamente descritto in termini legati alla sua dissipazioni o annullamento¹⁶, mentre in alcuni esempi di sistemi cinetici assume il carattere di vero e proprio materiale di progetto capace di esaltare le caratteristiche spaziali di uno spazio e proporre un'esperienza aumentata volta alla realizzazione di *soundscape*¹⁷. L'azione ambientale del suono è forse tra quelle citate quella più propriamente volta alla definizione di una specifica atmosfera legata alla creazione di un ambiente immersivo; le componenti cinetiche che rispondono al suono sono spesso caratterizzate da movimenti lenti che ricordano i *mobiles* di Calder, spesso sospesi in copertura per permettere una migliore riflessione delle onde sonore. L'azione del suono che agisce sui sistemi cinetici spesso trova forma in superfici piegate e tessellate in cui le single facce riescono a ruotare intorno a cerniere

Colore e tessitura. (variazioni cromatiche o di tessitura). Tra le azioni ambientali trovano spazio anche i cinematismi generati dalle modificazioni nella cromia e nelle tessitura di un'architettura. Queste, anche se non direttamente riferibili come nel caso delle categorie precedenti a parametri direttamente misurabili e spesso riguardanti un movimento che è più legato alla percezione visiva che alla concreta movimentazione, posseggono tuttavia un elevato grado di coinvolgimento dell'utente e di un forte impatto sulle qualità atmosferiche dello spazio generato. Sia il colore che la tessitura rappresentano aspetti che in architettura sono stati introdotti, analizzati e discussi dai più autorevoli studiosi e teorici¹⁸. Negli ultimi anni, colore e tessitura rappresentano uno dei temi di ricerca più frequentati nell'ambito della *digital fabrication*, dagli studi sull'intelligenza artificiale applicata all'architettura, e dalle indagini su nuove tipologie di materiali attraverso strategie di progettazione biomimetica¹⁹. Il colore viene utilizzato come strumento per «facilitare e rivelare espressioni ed emozioni nascoste nell'ambiente costruito»²⁰ generando interazioni attraverso un'esperienza visiva cinetico-responsiva. Nei nuovi approcci alle tessiture, invece, riecheggiano le teoria di Semper applicate agli strumenti digitali, applicando al potenziale delle nuove tecniche di fabbricazione il potere generativo del calcolo computazionale per ottenere tessiture «intrecciate digitalmente»²¹.

16. M. Fox, M. Kemp, *Interactive Architecture*, Princeton Architectural Press, New York 2009, pp. 161-166.

17. Cfr. Murray Schafer, *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*, Destiny Books, Rochester 1994.

18. Sugli effetti del colore sulla percezione si veda Eric Kandel, *Arte e neuroscienze. Le due culture a confronto*, Raffaello Cortina, Milano 2017

19. Michael Pawlyn, *Biomimicry in Architecture*, RIBA, Londra 2011.

20. Jenny Sabin Studio, *Ada*, sito web: <https://www.jennysabin.com/ada>, [24.09.2021].

21. Carlos L. Marcos, Ángel J. Fernández-Álvarez, Liz McCormick, "Semperian Digitally Woven Mythologies. On Grids, Warps, Wefts and Skins in the Computer Age" in *XY: rassegna critica di studi sulla rappresentazione dell'architettura e sull'uso dell'immagine nella scienza e nell'arte*, n. 8, luglio-dicembre 2019, pp.46-63.

Azioni Compositive

Prese in esame le *azioni fisiche* e le *azioni ambientali*, è possibile definire tre famiglie di *azioni compositive* che individuano le modalità progettuali alla base dei cambiamenti di stato che si è inteso analizzare.

Il progetto della cinetica ha trovato nel corso del XX secolo un'accelerazione propulsiva caratterizzata da una serie di momenti chiave che hanno prodotto posizioni, teorie, approcci ed esiti di origini e nature diverse: dagli influssi artistici intesi come nuove modalità di osservazione e interpretazione di una società in cambiamento, all'avvento e la diffusione del computer e della teoria dell'informazione con il conseguente impatto sulla cultura del progetto: dalla cibernetica all'*high-tech*, dal Decostruttivismo fino al Parametricismo, alle *digital turn* sino agli ultimi approcci dell'architettura *discreta*²². Il movimento ha rappresentato una caratteristica presente in ognuno di questi approcci, a volte «congelato» in una forma statica ma a evocare dinamismo; altre volte realizzando pienamente la vocazione verso una trasformazione in grado di accogliere quei *bisogni* dell'uomo per come evocati da Alexander e Zuk e Clark. Sebbene il campione di opere prese in esame riguarda realizzazioni che spaziano in un arco cronologico ampio e presentano tecniche costruttive, materiali e morfogenesi diverse, tutte tentano di definire un tipo di spazio in trasformazione che aspiri al coinvolgimento esperienziale del soggetto. Le tre azioni compositive di *campi*, *gradienti* ed *emergenze*²³ tentano di raccogliere questi tipi di spazi così da individuare un layer di lettura interpretativa trasversale, costruendo degli areali in cui rintracciare invarianti e far emergere differenze tra architetture che a partire da processi generativi diversi conducano a esiti spaziali affini.

Campi. (ambito spaziale definito). Il *campo* è «ambito in cui determinate relazioni e regolamentazioni si svolgono entro distanze definite e limitate»²⁴. Il *campo*, in qualità di *azione compositiva*, come introdotto precedentemente, riguarda l'insieme delle forze che concorrono a generare una forma e a trasformare lo spazio che delimita. Tale aspetto è rintracciabile nell'analisi sulla figura di Umberto Boccioni da parte di Reyner Banham, che prova a definire la teoria estetica dello scultore come un approccio di «*campo*, uno spazio che esiste cioè come *campo* di forza o di influenza che si irradia dal centro geometrico agli oggetti, dal quale è originato, ed è una notevole conquista poetica derivata presumibilmente da Bergson e Einstein»²⁵. Il fisico tedesco viene anche da Paolo Portoghesi che del concetto di *campo* ne farà cifra espressiva di alcune delle sue architetture più note²⁶. Introduce la sua analisi sul tema con una enunciazione di Einstein: «si ha materia quando la concentrazione dell'energia è grande, si ha *campo* ove la concentrazione

Stan Allen, "From Object to Field", in Peter Davidson, Donald L. Bates (a cura di), *Architecture After Geometry. AD Profile 127*, n. 67, maggio-giugno 1997, pp. 24-31.

«The term 'field conditions' is at once a reassertion of architecture's contextual assignment and at the same time a proposal to comply with such obligations. Field conditions moves from the one toward the many: from individuals to collectives, from objects to fields. The term itself plays on a double meaning. Architects work not only in the office or studio (in the laboratory) but in the field: on site, in contact with the fabric of architecture. 'Field survey', 'field office', 'verify in field': 'field conditions' here implies acceptance of the real in all its messiness and unpredictability. It opens architecture to material improvisation on site. Field conditions treats constraints as opportunity and moves away from a Modernist ethic – and aesthetics – of transgression. Working with and not against the site, something new is produced by registering the complexity of the given. [...] Finally, a complete examination of the implications of field conditions in architecture would necessarily reflect the complex and dynamic behaviours of architecture's users and speculate on new methodologies to model programme and space.»

«Il termine 'condizioni di campo' è allo stesso tempo una riaffermazione del compito contestuale dell'architettura e la promessa di seguire tali obblighi. Le condizioni di campo si muovono dall'uno verso i molti: dall'individuo al collettivo, dagli oggetti ai campi. Il termine stesso si muove intorno a un doppio significato. Gli architetti non lavorano solo in ufficio o in studio (in laboratorio) ma sul campo: sul posto, a contatto con i materiali dell'architettura. 'Indagine sul campo', 'ufficio da campo', 'verificare sul campo': 'condizioni di campo' qui implica l'accettazione del reale in tutta la sua disordinata e imprevedibilità. Apre l'architettura all'improvvisazione materiale sul posto. Le condizioni sul campo trattano i vincoli come opportunità e si allontanano dall'etica - e dall'estetica - modernista della trasgressione. Lavorando con e non contro il sito, producendo qualcosa di nuovo registrando la complessità del dato. [...] Una disamina completa delle implicazioni delle condizioni di campo in architettura rifletterebbe necessariamente i comportamenti complessi e dinamici degli utenti dell'architettura e speculare su nuove metodologie per modellare programmi e spazi.»

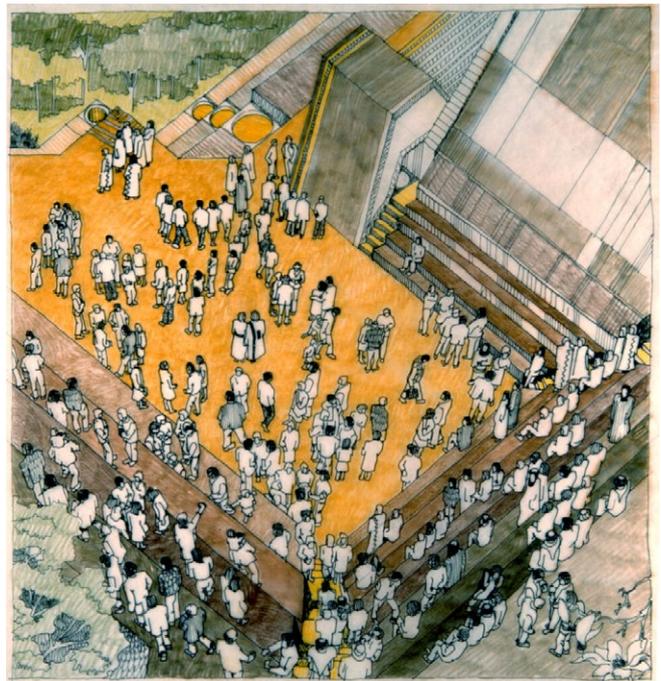
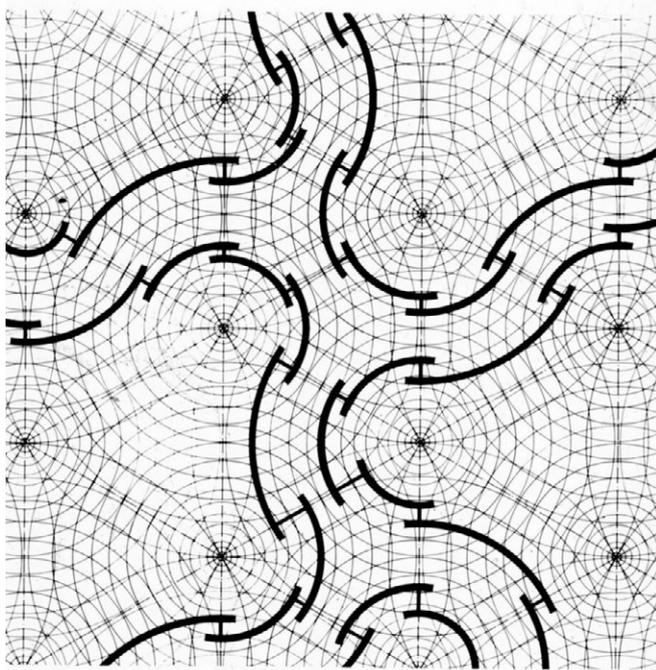
22. Gilles Retsin, "Toward Discrete Architecture: Automation Takes Command" in Kory Bieg, Danelle Briscoe, Clay Odom (a cura di), *ACADIA 19. Ubiquity and Autonomy, Proceedings of the 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, The University of Texas at Austin - School of Architecture, pp. 532-541.

23. I termini *campi*, *gradienti* ed *emergenze* vengono citati da Antoine Picon a chiusura del suo testo *Digital Culture in Architecture* come tre ambizioni dell'architettura digitale per il nostro tempo: «In digital architecture weight, opacity and inertia are counterbalanced by its ambition to relate to a world of *fields*, *gradients* and phenomena of *emergence*». Picon, *op. cit.*, p. 216.

24. Clemente Francavilla, *Teoria della percezione visiva e psicologia della forma*, Schena Editore, Fasano 2019, p.45.

25. Reyner Banham, *Theory and Design in the First Machine Age*, The Architectural Press, Londra 1960, tr. it. *L'architettura della prima età della macchina*, Marinotti, Milano 2005.

26. Si vedano i progetti per *Casa Papanice*, Roma (1966–1968) e la *Chiesa della Sacra Famiglia*, Salerno (1971–1974).



sopra: Paolo Portoghesi, *Teoria dei campi*, spazio come sistema di luoghi.

a destra: Paolo Portoghesi, *Dikaia*, 1969

dell'energia è più debole»²⁷. Questa *debolezza* è intesa da Portoghesi come distanza tra i diversi elementi che limitano il *campo*. La relazione tra gli oggetti è quindi ciò che mette in tensione il *campo*, generandolo e rendendolo "attivo". Tale relazione resta stabile nell'esperienza percettiva in maniera inconsapevole: «sono molti gli aspetti dell'esperienza di cui non siamo esplicitamente coscienti e che pure influiscono sulla nostra consapevolezza in modi tutt'altro che secondari. Lo spazio tra le cose non appare più un semplice *vuoto*»²⁸. Arnheim sottolinea questo aspetto nel descrivere le relazioni tra le "cose" che definiscono un *campo* in termini di distanza fisica e rapporti visivi introducendo il concetto di *densità* che è inversamente proporzionale alla distanza tra gli oggetti che lo limitano²⁹. L'*interspazio* si configura così come un concetto dinamico, se considerato non solo in termini di distanza metrica. Più di recente, Stan Allen ha introdotto il concetto di *campo* in un ragionamento che prende le mosse dagli avanzamenti offerti dalla rivoluzione digitale per la cultura del progetto³⁰. Il *campo* descrive lo stato di tensione percepita (ma invisibile) creata da un sistema di elementi fisici all'interno dell'ambito che definiscono. Se la percezione dello spazio intesa tradizionalmente si basa su pattern e geometriche statiche, la cultura visuale contemporanea e il progresso tecnologico sono in grado di accogliere la complessità dei sistemi spaziali fluidi e capaci di autoregolazione³¹. Le condizioni di *campo* capaci di accogliere la complessità del contemporaneo definiscono «matrici formali o spaziali capaci di unificare elementi disomogenei nel rispetto dell'identità di ciascuno. [...] La forma totale e la portata altamente fluide e meno importanti dei rapporti interni tra le parti,

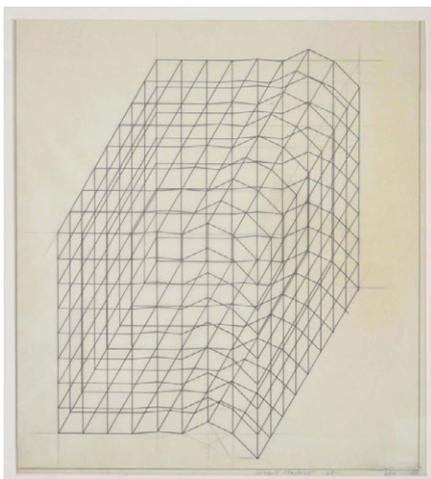
27. Paolo Portoghesi, *Le inibizioni dell'architettura moderna*, Laterza, Bari 1974, cit. in Arnheim, *La dinamica della forma architettonica*, op. cit., p. 40.

28. Arnheim, *La dinamica della forma architettonica*, op. cit., p. 27.

29. Ivi, p. 29

30. Cfr. Stan Allen, "From Object to Field", in Peter Davidson, Donald L. Bates (a cura di), *Architecture After Geometry. AD Profile 127*, n. 67, maggio-giugno 1997, pp. 24-31.

31. Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock, "Introduction", in Id. (a cura di), *Emergence: Morphogenetic Design Strategies. AD Profile 169*, n. 74, maggio-giugno 2004, pp. 6-9.



in alto: Gianni Colombo, *Spazio Elastico*, disegno e fotografie dell'installazione, 1967

che determinano il comportamento del *campo* stesso. I campi non operano né attraverso griglie regolatrici, né attraverso rapporti convenzionali di assialità, simmetria o gerarchia»³². L'azione compositiva che genera un *campo* attraverso il movimento caratterizza la famiglia di architetture cinetiche che si intende prendere in considerazione. Queste tentano di costruire relazioni tra le cose, interconnettendole, attraverso la mutua attrazione e repulsione delle parti tra loro volte a creare relazioni sia interne alla struttura stessa, che tra la struttura e l'utente. Definire un ambito spaziale attraverso una serie di parti distinte di un insieme complesso viene interpretato come un'azione che agisce sui cinematismi che intendono racchiudere, definire, stabilire limiti entro i quali può avvenire l'esperienza, l'uso e la modificazione dello spazio. Ciò può avvenire attraverso due modalità attuative: con un unico elemento che "faccia spazio" a seguito di un suo cinematismo – si dispiega segnando confini; con elementi separati che posti a precise distanze generino tensione, come nel caso particolare degli schermi cinetici mobili o architetture che si compongono di parti mobili separate. Rendendo visibili le forze astratte, il concetto di campo ben si presta a descrivere il movimento e la trasformazione di uno spazio. Infatti, scrive Portoghesi, «porre l'accento sul *campo* generato oltre che sull'oggetto architettonico che lo genera è riproporre in termini diversi il problema dello spazio, dando però a questo termine un valore diverso perché nella tradizione critica lo spazio è una struttura omogenea, una specie di *controforma* dell'involucro murario, indifferenze alle condizioni di luce e alla posizione rispetto alle strutture, mentre la nozione di *campo* porta l'accento sulla variabilità continua di ciò che avvolge le strutture architettoniche»³³.

Gradienti. (rarefazione dello spazio). In termini matematici il gradiente è definito come «operatore differenziale vettoriale che esprime la variazione di una grandezza fisica definita nello spazio»³⁴. L'azione compositiva *gradiente* presuppone quindi un'operazione orientata nello spazio che avviene tra due entità in un delta di valori definiti. L'operazione in questione per le architetture cinetiche riguarda la rarefazione dello spazio architettonico che si attiva in presenza di un movimento che mira a privare del peso – reale e virtuale – parti della struttura, assimilabile a un processo di *efemeralizzazione*³⁵. Questo da un lato riduce le parti della struttura al minimo indispensabile, dall'altro agisce sugli effetti percettivi di fatto smaterializzando la separazione tra interno ed esterno attraverso la movimentazione delle parti. Tale accezione è evidentemente applicabile ai sistemi che costituiscono l'involucro – *superfici, schermi e strutture*³⁶ o alle strutture dispiegabili. Il termine *efemeralizzazione* è stato coniato da Buckminster Fuller nel 1938. Riassumibile nel noto slogan «fare più con meno», l'*efemeralizzazione* riguarda quell'atteggiamento che deve assumere la ricerca, la scienza, la tecnologia e la produzione industriale per cui

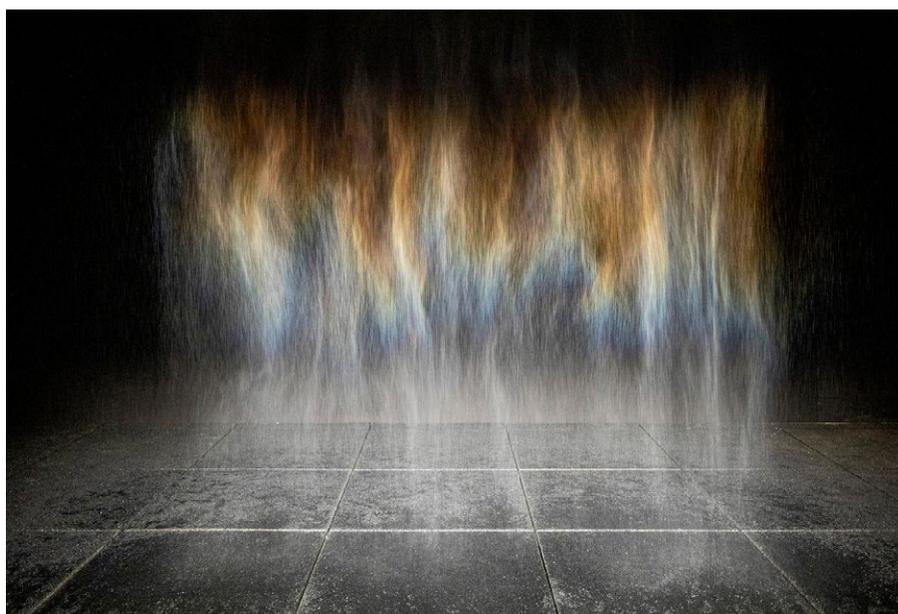
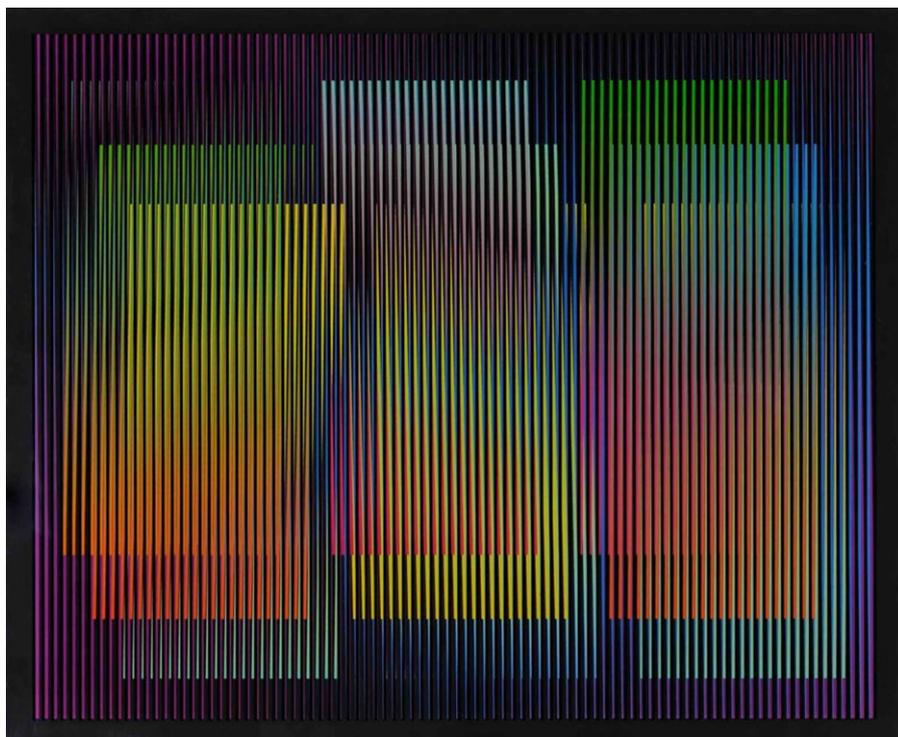
32. Allen, *op. cit.*

33. Portoghesi in Arnheim, *La dinamica della forma architettonica*, *op. cit.*

34. Enciclopedia della Matematica, 2013.

35. Richard Buckminster Fuller, *Nine Chains to the Moon* (1938), Southern Illinois University Press, Carbondale 1963, p. 272.

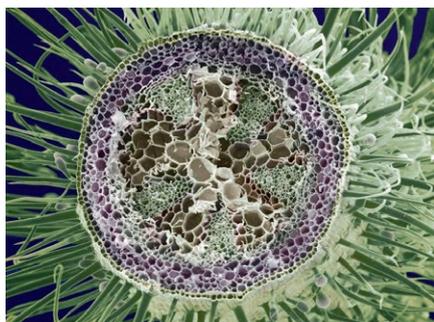
36. Moussavi, Kubo, *op. cit.*, p. 12



bisogna massimizzare l'efficienza *facendo* sempre di più consumando meno, tagliando gran parte dei materiali in eccesso. Nel caso della cinetica, questi vengono ridotti al minimo una volta che il controllo è affidato a un sistema cinetico-responsivo³⁷.

Rendendo effimera la struttura, il gradiente impone un certo grado di *trasparenza*. L'alleggerirsi della struttura a seguito dell'azione cinetica genera la possibilità di valicare visivamente lo spazio coinvolto nel movimento per raggiungerne altri. «La trasparenza implica più di una caratteristica ottica; implica un ordine spaziale più ampio. La trasparenza

37. Fox, Kemp, *op. cit.*, p. 47.



sopra: coloured scanning electron micrograph (SEM) of a section through the stem of a geranium plant.

Michael Hensel, Achim Menges and Michael Weinstock, "Introduction to Emergence: Morphogenetic Design Strategies", in *Architectural Design*, maggio-giugno 2004

«As used in the sciences, the term refers to the *emergence* of forms and behaviour from the complex systems of the natural world. A substantial body of knowledge falls under this term, occurring in the overlapping domains of developmental biology, physical chemistry and mathematics. The techniques and processes of emergence are intensely mathematical and have spread to other domains where the analysis and production of complex forms or behaviour are fundamental. [...] Emergence requires the recognition of buildings not as singular and fixed bodies, but as complex energy and material systems that have a life span, and exist as part of the environment of other buildings, and as an iteration of a long series that proceeds by evolutionary development towards an intelligent ecosystem.»

John Holland, *Emergence: from Chaos to Order*, Oxford University Press, Oxford 1998

«We are everywhere confronted with emergence in complex adaptive systems – ant colonies, networks of neurons, the immune system, the Internet, and the global economy, to name a few – where the behaviour of the whole is much more complex than the behaviour of the parts.»
"It is unlikely that a topic as complicated as emergence will submit meekly to a concise definition, and I have no such definition to offer. I can, however, provide"».

significa percezione simultanea di diversi luoghi e posizioni. Lo spazio non solo recede ma fluttua in un'attività costante»³⁸. Dal punto di vista della percezione visiva, «un gradiente è il graduale aumento o diminuzione di una qualità percettiva nello spazio o nel tempo»³⁹. Un gradiente, infatti, rappresenta le modalità con cui avviene la comprensione di alcuni fenomeni percettivi, come ad esempio la profondità. I gradienti [...] [hanno] la prerogativa di creare la profondità [...] in particolare i gradienti di trama, come il graduale cambiamento di densità della grana o dell'ombreggiatura, dove la trama più grossa viene correlata alla vicinanza e la più fine alla distanza»⁴⁰. In questo caso, esso assume un valore spaziale: le parti che sono più vicine a noi sono solitamente più *dense*, mentre quelle più lontane risultano più *sfocate*, trasmettendo la sensazione di allontanamento che si esplicita attraverso il maggiore o minore grado di risoluzione delle superfici⁴¹.

Emergenze. (spazio multidimensionale). L'azione compositiva definita *emergenza* deriva dall'applicazione di una logica sistemica di natura gerarchica all'interno di una struttura cinetica. Essa implica l'esistenza di più livelli di un sistema appartenenti a loro volta a un sistema più ampio che li comprende. Il principio guida del concetto di *emergenza* si esplicita nel momento in cui un certo numero di elementi singoli, nell'operare in collettività, permettono l'emergere di alcune proprietà non evidenti nel comportamento delle singole componenti del sistema. Tra gli esempi rintracciabili in natura e collegati al concetto di emergenza troviamo «stormi, sciame, folle o masse»⁴² che si muovono e comportano come entità compatte in cui il contributo del singolo elemento non ha immediata relazione con la forma complessiva del sistema⁴³. Il termine emergenza deriva dalla teoria dei sistemi, in ambito matematico, che definisce emergenti le proprietà di un sistema che non possono essere derivate dalla somma delle sue parti. Applicato all'architettura, il concetto di emergenza si manifesta nei processi di morfogenesi resi possibili dalla modellazione matematica delle strutture e dalle capacità del calcolo algoritmico, che imitano il comportamento dei sistemi naturali per successivamente riprodurlo attraverso le tecniche di *form finding*, volte alla generazione di forme dinamiche, ma concrete e realizzate attraverso processi produttivi computerizzati. L'applicazione dei principi dell'auto-organizzazione all'architettura – intesa quindi come sistema responsivo a tutti gli effetti – sia nei loro aspetti tettonici che in quelli energetici e materici, è stata avanzata attraverso una metodologia di progetto basata sulla contaminazione con altre discipline come la biologia, la chimica e le scienze naturali⁴⁴. Approcciare all'emergenza come azione compositiva, infatti, «richiede molto più che l'applicazione di catalogo di nuovi materiali ottenuti dalla tecnologia di produzione innovative; essa necessita della comprensione

38. Colin Rowe, Robert Slutzky, "Transparency: Literal and Phenomenal" in *Perspecta*, n. 8, 1963, p. 45.

39. Arnheim, *Arte e percezione visiva*, *op. cit.*, p. 226.

40. *Ibid.*

41. Francavilla, *op. cit.*, p. 179.

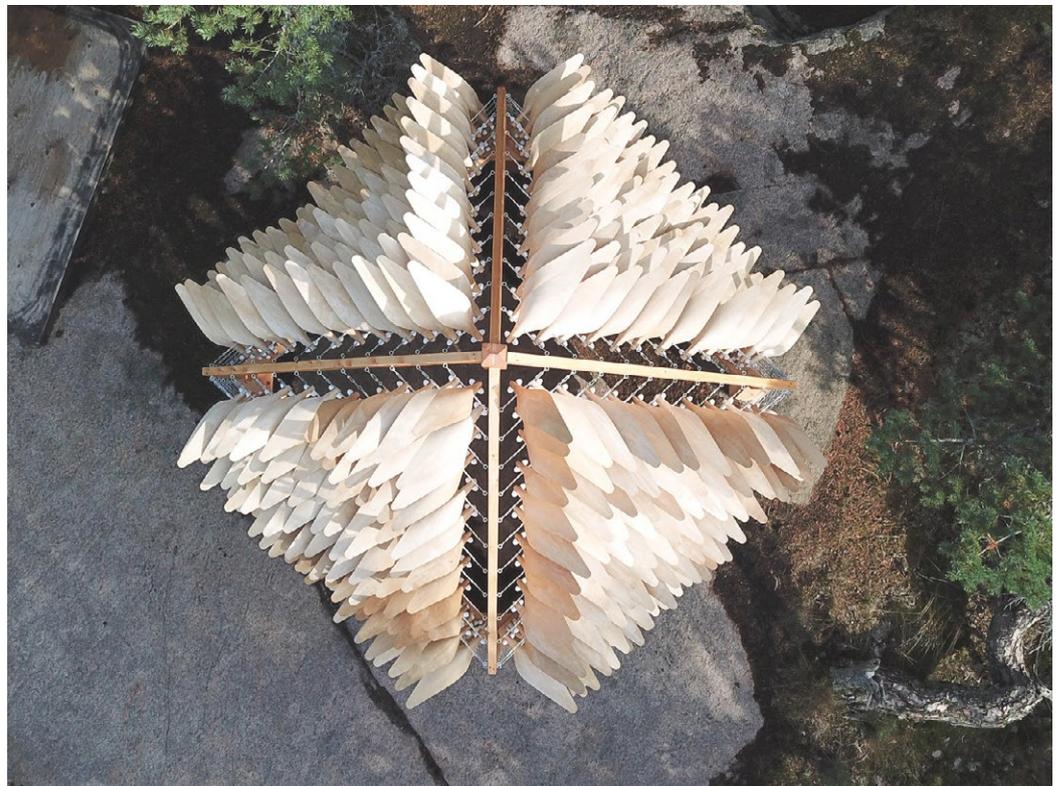
42. Allen, *op. cit.*

43. *Ibid.*

44. Cfr. Hensel, Menges, Weinstock, *op. cit.*

del comportamento dei sistemi complessi e la matematica dietro ai loro processi, e del trasferimento sistematico di tale conoscenza al progetto e alla produzione. L'emergenza esige nuove strategie di progetto derivate dallo sviluppo evolutivo dei sistemi viventi, dalle loro proprietà materiali, dal loro metabolismo, e dalla loro risposta adattiva ai cambiamenti nel loro ambiente»⁴⁵. Il riconoscimento degli edifici come elementi parti di un sistema più ampio, a loro volta sostenuti da complessi apparati energetici e materiali che posseggono un ciclo di vita definito significa poter immaginare l'ambiente costruito in una logica *ecosistemica* di parti interconnesse, che si sviluppino evolutivamente in maniera intelligente. Per raggiungere tale obiettivo, il processo morfogenetico che contempra l'emergenza deve essere generato attraverso la capacità di calcolo del computer dei metodi di *form finding*⁴⁶. L'emergenza si riverbera sullo spazio architettonico attraverso una sua scomposizione in plurime dimensioni che agiscono a molteplici livelli percettivi, dalla luminosità, al suono, alla percezione del movimento, attivate da una serie di cinematismi che da scala *micro* delle singole componenti alla *macro* dell'intera struttura. Le architetture emergenti assumono carattere di vita propria coinvolgendo l'osservatore in un'esperienza multisensoriale in cui tutti i sistemi partecipano nella generazione di un'atmosfera complessa e sfaccettata.

in basso: Neon, *Shiver House*, 2019



45. Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock, *Emergent Technologies and Design. Towards a Biological Paradigm for the Future*, Routledge, Abingdon 2010, p. 11.

46. Ibid.

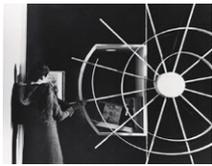
Criteria

Tassonomia Cinetica

1. **Azioni Fisiche**
 - Scorrimento*
 - Movibilità*
 - Deformazione*
 - Estensione*
 - Espansione*
 2. **Azioni Ambientali**
 - Luce*
 - Temperatura*
 - Suono*
 - Colore e Tessitura*
 3. **Azioni Compositive**
 - Campi*
 - Gradienti*
 - Emergenze*
1. *Mobile Library*, Friedrich Kiesler, 1938
 2. *Kinetic Gallery*, Friedrich Kiesler, 1949
 3. *Portable Theatre*, Emilio Pérez Piñero, 1961
 4. *Fabbrica Mobile per l'estrazione dello zolfo*, Renzo Piano, 1966
 5. *Galaxy*, Lev Nussberg, 1967
 6. *Installation for the exhibition "Made with Paper"*, Ron Resch, 1967
 7. *Federal Garden Exhibition*, Frei Otto, 1971
 8. *Ernstings Warehouse*, Santiago Calatrava, 1985
 9. *Institute du Monde Arabe*, Jean Nouvel, 1987
 10. *Shadow Machine*, Santiago Calatrava, 1992
 11. *Expanding Sphere*, Chuck Hoberman, 1992
 12. *Aegis Hyposurface*, dECOi Architects, 1999
 13. *Wind Veil*, Ned Kahn, 2000
 14. *Iris Pavilion*, Chuck Hoberman, 2000
 15. *Rolling Bridge*, Heatherwick Studio, 2002
 16. *NSA Muscle*, ONL, 2003
 17. *Bengt Sjostrom Starlight Theatre*, Studio Gang, 2003
 18. *Princeton University-Carl Icahn Laboratory*, Rafael Vinoly, 2004
 19. *Café-Restaurant OPEN*, Pi de Bruijn, de Architekten Cie, 2005
 20. *Dynamic Terrain*, Janis Pönisch, 2006
 21. *Wave Wall*, Charles Sowers, 2006
 22. *Kiefer Technic Showroom*, Ernst Giselbrecht + Partner, 2007
 23. *Flare*, WHITEvoid, 2008
 24. *Cardboard Banquet*, Tom Emerson-Università di Cambridge, 2008
 25. *Cardboard Pavilion*, Luigi Alini-Università di Catania, 2009
 26. *Terrain*, David Letellier, 2009
 27. *POLA Ginza Building*, Chuck Hoberman, 2009
 28. *Folded Paper Dome*, EOT Design Studio, 2009
 29. *Tunable Sound Cloud*, Fishtnk, 2009
 30. *Corogami Hut*, David Penner Architect, 2010
 31. *Tessel*, David Letellier, 2010
 32. *Hylozoic Ground*, Philip Beesley, 2010
 33. *"La ville molle"*, Atelier Raum, 2010
 34. *Rigid Foldable Origami Wall*, Tomohiro Tachi, 2010
 35. *Tunel*, Cantoni-Crescenti, 2011
 36. *Versus*, David Letellier, 2011
 37. *Al Bahar Towers*, Aedas Architects, 2012
 38. *Textile Structures*, Studio Samina Boon, 2012
 39. *Resonant Chamber*, RVTR, 2012
 40. *Hygroskin*, Achim Menges, 2013
 41. *Bund Finance Center*, Foster + Heatherwick, 2014
 42. *Kinetic Wall*, Barkow Leibinger, 2014
 43. *MegaFaces*, Asif Khan, 2014
 44. *MPavilion*, Sean Godsell Architects, 2014
 45. *Kinematic Sculpture*, Skidmore, Owings & Merrill, 2014
 46. *Syddansk Universitet Building*, Henning Larsen Architects, 2015
 47. *Jiaxing Gallery Sun-shading*, Samira Boon, 2016
 48. *Bezier Concertina Display*, Stacklab, 2017
 49. *Archifolds*, Samira Boon, 2017
 50. *Artificial Arcadia*, Kosmos Architects, 2018
 51. *The Shed*, Diller Scofidio + Renfro, 2018
 52. *One Ocean*, Yeosu-si, Jeollanam-do, soma architecturene 2012
 53. *Urban Imprint*, Studio INI, 2019
 54. *Disobedience*, Studio INI, 2019
 55. *Ada*, Jenny Sabin, 2019
 56. *Shiver House*, Neon Architects, 2019
 57. *Living Lantern*, Neon Architects, 2019
 58. *Movable Mongolian Yurt*, Yas Ger, 2020
 59. *Dubai Expo Japan Pavilion*, Yuko Nagayama, 2020
 60. *Dubai Expo UAE Pavilion*, Santiago Calatrava, 2020



1



2



3



4



5



6



7



8



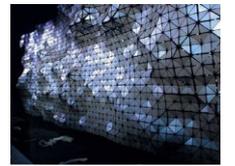
9



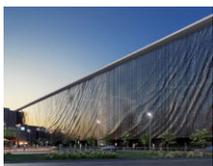
10



11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23



24



25



26



27



28



29



30



31



32



33



34



35



36



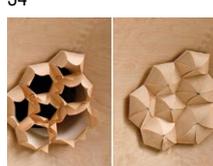
37



38



39



40



41



42



43



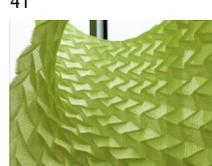
44



45



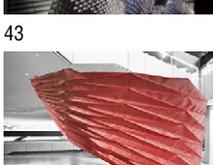
46



47



48



49



50



51



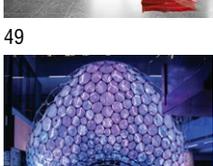
52



53



54



55



56



57



58



59

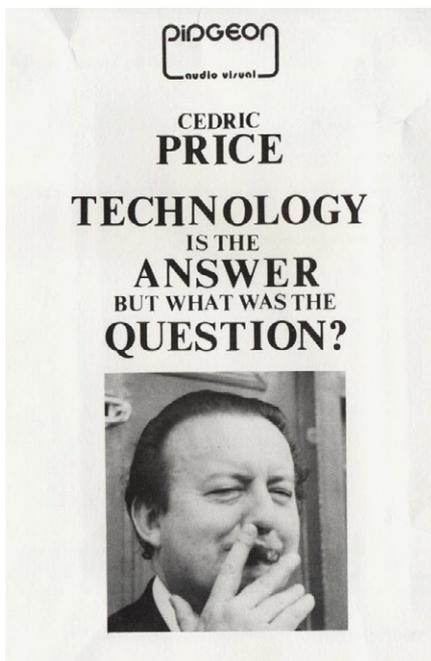


60

Parte III – Progetto

VI. Fare e pensare la cinetica

«La meccanizzazione è una fonte di energia come l'acqua, il fuoco e la luce. È una forza cieca, priva in sé stessa di orientamento e senza segno positivo o negativo. Come per le forze della natura tutto dipende da come l'uomo la utilizza e da come se ne difende. Che l'uomo abbia creato la meccanizzazione traendola dalla propria interiorità, ne aumenta la pericolosità perché essa agisce dall'intimo in modo più incontrollato che le forze della natura, agisce cioè sui sensi e sulla struttura spirituale del suo inventore. Poiché la meccanizzazione agisce sempre in una forma ognora diversa su di noi, tutto si limita a questa domanda: in che modo possiamo inserirla nella nostra vita?»
Siegfried Giedion, 1967



sopra: Cedric Price, 1966

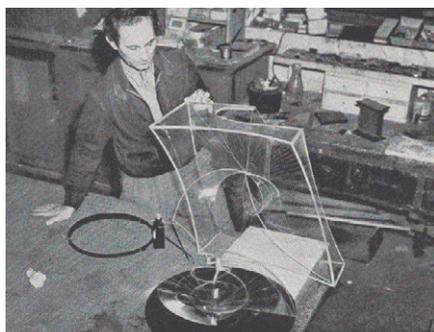
La terza parte, *Progetto*, riguarderà il passaggio tra proposizioni teoriche e strumenti operativi e la loro verifica progettuale. La riflessione riguarderà la sistematizzazione una serie di posizioni teoriche e riflessioni operative riguardanti l'evoluzione del rapporto tra i diversi nuovi strumenti entrati in campo per l'architettura e le tradizionali modalità progettuali, mettendo in luce l'attuale dibattito sulla *digital craftsmanship*, provando a confrontare gli attuali orientamenti in merito con la sperimentazione in atto. Come visto, le applicazioni della cinetica in architettura sono caratterizzate da una serie di aspetti legati alla sua generazione che individuano modalità di messa in opera che non individuano soltanto i possibili esiti formali ma anche i passi del processo progettuale. I procedimenti – termine caro a Popper – vanno dalla meccanica al *form finding*, dagli studi sulla topologia ai modelli matematici fino alla biomimetica. La cinetica opera spesso *sottotraccia* per cui i meccanismi che la abilitano non sono visibili ma necessari ai fini del cambiamento di stato che intende ottenere.

È stato già sottolineato come la responsività che la cinetica sottende implica un coinvolgimento fisico o emozionale del soggetto con cui interagisce. Per questo motivo, la cinetica viene applicata sempre più in progetti alla piccola scala che grazie al loro inserimento in edifici o parti di città possano provocare processi di riattivazione, ricostruendo non solo formalmente un dialogo effettivo attraverso l'interazione. Installazioni, padiglioni, elementi di copertura, strutture dispiegabili, schermi cinetici entrano a far parte del paesaggio urbano come esempi di integrazione sistemica di elementi diversi in un ambiente costruito apparentemente fisso; in esso, la cinetica può rappresentare una modalità progettuale che tenga al centro categorie estetiche rappresentative del nostro tempo, che ne evidenzino le idiosincrasie e mettano in luce le potenzialità.

Approcci al progetto. Mano e mente *nella digital culture*

«Per scrivere un verso bisogna vedere molte città, uomini e cose, bisogna conoscere gli animali, bisogna capire il volo degli uccelli e comprendere il gesto con cui i piccoli fiori si aprono al mattino. [...] E non basta ancora avere dei ricordi. Bisogna saperli dimenticare, quando sono troppi e avere la grande pazienza di attendere che ritornino. Perché i ricordi in sé ancora non sono. Solo quando diventano sangue in noi, sguardo e gesto, anonimi e non più distinguibili da noi stessi, soltanto allora può accadere che in un momento eccezionale si levi dal loro centro e sgorgi la prima parola di un verso».

Rainer Maria Rilke, *I quaderni di Malte Laurids Brigge*, 1910

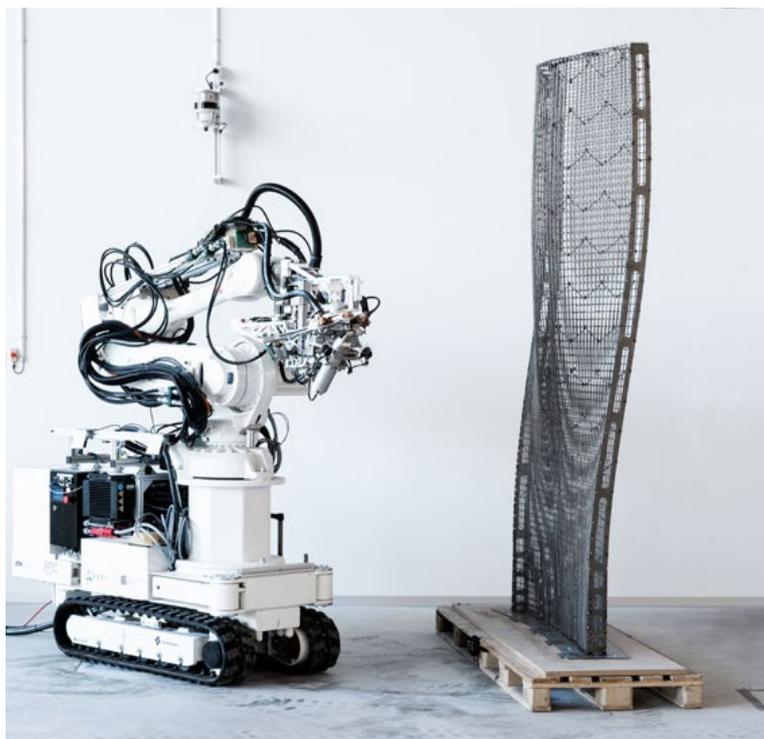


dall'alto: Naum Gabo, 1935
Ron Resch, 1982
Greg Lynn, 2016

La pratica del *making* sta vivendo un momento particolarmente significativo. Definito come un movimento di condivisione collettiva di progetti, idee, tecniche e tecnologie da parte di appassionati di fabbricazione digitale, la promozione del *do-it-yourself*, dei workshop di recupero e riparazione di oggetti sono in crescita a tutti i livelli della società¹. Complice una consapevolezza maggiormente accresciuta e ormai capillarmente diffusa del problema ecologico globale² e il rapidissimo sviluppo di nuove tecnologie e tecniche di costruzione e modificazione di materiali, il *fare* è tornato a essere riconosciuto dalla pratica architettonica come una prassi fondamentale per il progetto³, promuovendo una cura particolare per la costruzione fisica degli spazi, lo studio dei materiali di cui si compongono e le tecniche necessarie alla loro realizzazione. La rinnovata attenzione verso i *makers* ha messo in luce l'ambiguo rapporto tra il *fare con le mani* e il *fare digitalmente*. Sebbene alcuni studiosi stiano provando a effettuare una sintesi tra le due modalità⁴, in particolare riferimento alla realizzazione di oggetti di uso comune, in architettura la diffusa percezione della produzione manuale come opposta alla *digital fabrication* si è accentuata con introduzione della macchine a prototipazione rapida. Architetti e teorici che si sono occupati di queste tematiche hanno messo in evidenza le difficoltà di una progettazione digitalizzata, dimostrando che l'esperienza, l'esercizio ripetuto, l'impegno profuso in una determinata attività sono modalità di acquisizione di conoscenza e di trasmissione di sapere architettonico capaci di modellare il nostro ambiente costruito e di renderlo atto ad accogliere le esigenze dell'uomo.

«Sino ai tempi moderni» sostiene Lewis Mumford «la maggior parte del pensiero e dell'immaginazione umana è passata attraverso le mani»⁵. La precisione nelle abilità tecniche e la perizia artigiana del *fare* hanno rappresentato per Mumford alcuni dei principali motori di trasformazione nella storia delle civiltà. «Nell'identificarsi con il proprio lavoro e nel cercare

1. C. Anderson, *Makers. The New Industrial Revolution*, Crown Business, New York 2012 tr. it. *Makers. Il ritorno dei produttori. Per una nuova rivoluzione industriale*, Rizzoli Etas, Milano 2013.
2. Timothy Morton, *Being Ecological*, Penguin Books, London 2018 tr. it. *Noi, esseri ecologici*, Laterza, Roma 2018.
3. Si vedano alcune pubblicazioni recenti come la raccolta di interventi "Craftsmanship in the Digital Age", ANCB The Aedes Metropolitan Laboratory, Berlin 2019 e il convegno "Thinking-Making. Perspectives on the Growing Prominence of Making in Architecture" tenutosi alla Faculté d'Architecture de l'Université Libre de Bruxelles nel febbraio 2020.
4. AA. VV. *Craftsmanship in the Digital Age. Architecture, Values and Digital Fabrication*, ANCB The Aedes Metropolitan Laboratory, Berlin 2019.
5. Lewis Mumford, *The Myth of the Machine*, Harcourt, New York 1970, tr. it. *Il mito della macchina*, Il Saggiatore, Milano 1969, p. 330.



sopra: Constantin Brancusi nel suo atelier, 1924
a destra: Gramazio Kohler, *Mesh Mould*, 2018

di eseguirlo perfettamente, l'uomo riplasmava il proprio carattere»⁶. Non solo, la sua realizzazione personale in quanto individuo appartenente a una comunità si esprimeva portando «le cerimonie che eseguiva, il cibo che piantava, le immagini che plasmava, gli utensili che scolpiva o dipingeva a un più alto livello di perfezione estetica»⁷. Tutte attività che richiedevano esperienza e abilità manuali, alla ricerca di una *bellezza* del quotidiano che si materializzava come risultato dell'operosità artigiana. Attraverso l'esperienza del *fare* si sviluppano abilità tacite estranee a tentativi di spiegazione e analisi⁸, assottigliando i *layer* comunicativi all'esempio gestuale che valica la necessità della descrizione verbale. In continuità con Mumford, Richard Sennett scrive che «tutte le abilità, anche le più astratte, nascono come pratiche corporee»⁹. Il lento processo di apprendimento di un'abilità complessa è costellato di errori, correzioni, ripetizioni, faticose seppur necessarie alla costruzione di un patrimonio esperienziale di conoscenza. Le mani permettono l'appropriarsi di determinate misure, proporzioni, dimensioni che, interiorizzate e fatte proprie, si trasformano in sensibilità accresciuta e migliorata. Attraverso l'esercizio costante e reiterato nella continua verifica dei risultati raggiunti, l'artigiano costruisce una *routine* fatta di movimenti e tempi: un *ritmo* in grado di consolidare un «*sapere tacito* immediatamente accessibile al soggetto»¹⁰. La ripetizione ritmica di un'azione apparentemente meccanica – come ad esempio, la raschiatura, la segatura, la battitura – viene tuttavia sempre mediata in un rapporto dialogico tra chi *fa* – l'*artefice* – i materiali che utilizza e l'ambiente in cui si trova a operare.

6. Ibid.

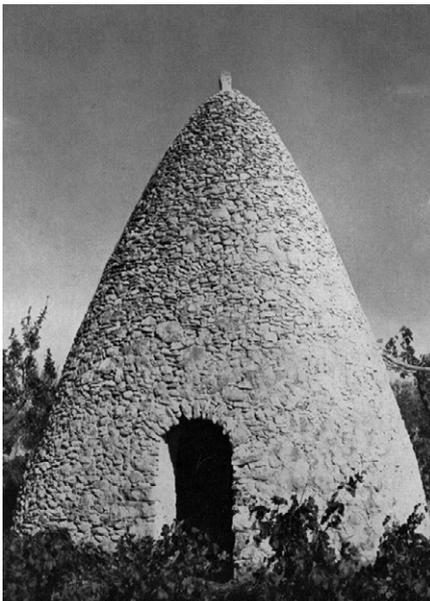
7. Ibid.

8. Michael Polanyi, *The Tacit Dimension*, Doubleday, New York 1966 tr. it. *La conoscenza inespresa*, Armando, Roma 1979.

9. Richard Sennett, *The Craftsman*, Yale University Press, New Haven & London 2008, tr. it. *L'uomo artigiano*, Feltrinelli, Milano 2008, p. 19.

10. Ivi, p. 168.

sotto: Gramazio Kohler, *Clay Rotunda*, 2021
 in basso: Giuseppe Pagano, Guarniero Daniel, "Casella"
 di muro a secco nei dintorni di Barletta, in *Architettura
 Rurale Italiana*, 1936



«I ritmi» sostiene Leroi-Gourhan «creano [...] le forme»¹¹. Nell'affermare che «il pensiero creativo è fatica, «labor»¹², Pallasmaa conclude che l'atto di produzione della mente sia inestricabilmente unito all'esercizio delle facoltà corporee. Mondi tenuti insieme dalla percezione aptica; il nostro modo di sentire e percepire con i sensi, tutti estensione del tatto¹³. Ciò implica che le attività manuali e di realizzazione pratica hanno la stessa capacità di generare conoscenza delle facoltà immaginative; anzi, che esse si compenetrano vicendevolmente senza veder l'una prevalere sull'altra. Eppure, si è sempre più soggetti a quella «regressione della mano»¹⁴, per cui gli strumenti che vengono utilizzati per progettare e produrre architettura hanno gradualmente sostituito la corrispondenza aptica della mano espressiva con la sensibilità del tocco digitale, sostituendo *tout court* il *sensory* con i *sensors*¹⁵. Slegare il fare con le mani dal pensare, è come «fare a meno di una parte di pensiero normalmente, filogeneticamente umana»¹⁶.

In architettura, il distacco tra pensiero e azione ha posto le basi per la forte differenza tra *progetto* e *costruzione*. Pallasmaa spiega questo fenomeno con l'enfasi intellettuale che è stata posta sulla formazione dell'architetto negli anni del secondo dopoguerra, che ha aumentato la distanza "mentale" tra lo studio e il cantiere¹⁷. Il primo è luogo predisposto ad architetti e ingegneri, che tracciano linee nella produzione di disegni, definiscono le fasi della costruzione della forma finita, il secondo è destinato a operai e carpentieri, i quali sono stati nel corso del tempo esautorati del loro potere creativo e ridotti a esecutori di prescrizioni dall'alto, causando il rapido perdersi di quel *know-how* tipico dei saperi manuali, costituiti da apparati non necessariamente scritti e codificati, ma che sono stati trasmessi nel tempo attraverso l'osservazione, l'azione, la ripetizione. La distanza tra il progetto e questo corpus di conoscenze è stata inasprita dall'aumentare dei processi di standardizzazione industriale e seguita dall'emergere di strumenti digitale di supporto alla progettazione, che hanno «reciso la connessione sensuale e tattile tra l'immaginazione e l'oggetto»¹⁸.

Tuttavia, nella storia dell'architettura non è sempre stato così. «L'architetto» scrive Walter Gropius era il «maestro d'arte», colui che rivestiva un ruolo fondamentale nella gestione dei processi produttivi e costruttivi. Lamentando il progressivo «distacco tra progetto ed esecuzione»¹⁹, Gropius sostenne in modo sorprendentemente profetico che «gli eventi costringeranno l'architetto del futuro [...] a ravvicinarsi strettamente all'edilizia concreta»²⁰, sottolineando la necessità di una stretta collaborazione con altre figure

11. André Leroi-Gourhan, *Le geste et la parole*, Albin Michel, Paris 1964 tr. it. *Il gesto e la parola*, Einaudi, Torino 1977, p. 361.

12. Juhani Pallasmaa, *The Thinking Hand: Existential and Embodied Wisdom in Architecture*, John Wiley & Sons, Chichester 2009, tr. it. *La mano che pensa. Saggezza esistenziale e incarnata nell'architettura*, Safarà Editore, Pordenone 2014, p. 109.

13. Ashley Montagu, *Il linguaggio della pelle*, Vallardi, Milano 1989, in Pallasmaa, *La mano che pensa*, p. 99.

14. Tim Ingold, *Making. Anthropology, Archaeology, Art and Architecture*, Routledge, London 2013, tr. it. *Making. Antropologia, Archeologia, Arte e Architettura*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2019, cit. p. 204.

15. M. Margetts, "The Matter in Hand", in Astrup Bull, K. Gali, A. (a cura di) *Material Perceptions. Documents on Contemporary Crafts*, n. 5, Arnoldsche Art Publishers, Stuttgart 2018.

16. Leroi Gourhan, in Ingold, *Making*, cit. p. 206.

17. Pallasmaa, *op. cit.*, p. 63.

18. Ibid.

19. Walter Gropius, *Scope of Total Architecture*, Harper & Row, New York 1955 tr. it. *Architettura Integrata*, Il Saggiatore, Milano 1963.

20. Ibid.

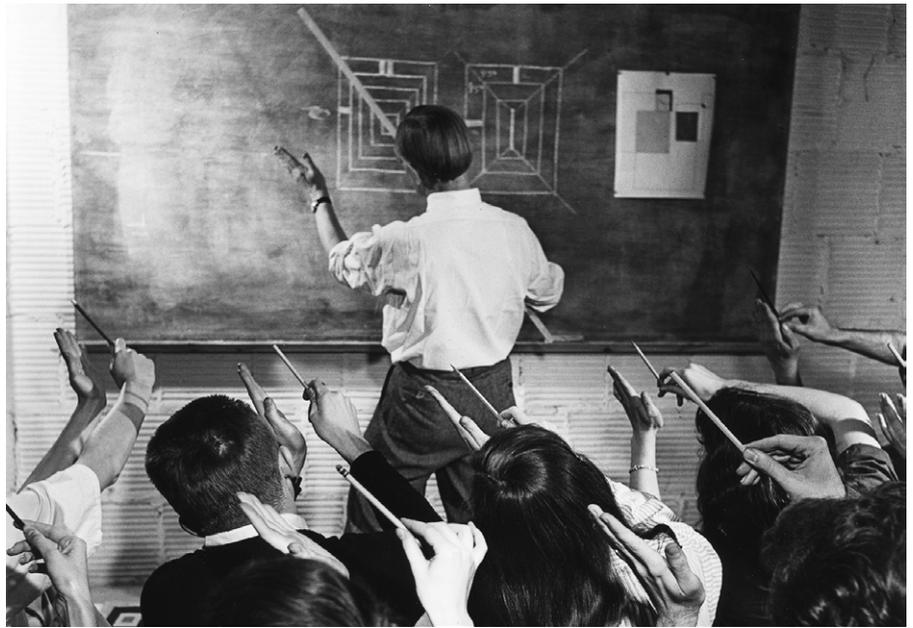
a destra: Josef Albers, lezione al Black Mountain College, New Haven, 1944

«To see the value of handcraft, which persists despite increasing machine-craft, is to recognize its continuing influence. To this end, let us first compare some hand processes and machine processes of similar functions. Machine weaving has been developed from hand weaving. It follows the same principle of construction. Sewing by machine, however, is based on an entirely different technical principle from sewing by hand. It is logical, therefore, to learn weaving, as well as textile design, first as hand weaving; for the hand loom is simpler and easier to understand. It permits a greater range of variety than the more complicated power loom. Even in sewing the manual process is the best preparation for a proper use of the machine process. Hand sewing develops more directly a feeling for different materials and different effects. [...]

Both of these examples indicate the two possible technical relationships between hand process and machine process. They also show that machine production cannot be entirely substituted for hand work. More important is the fact that, historically and educationally, production by hand normally precedes machine production. [...]

Now we find ourselves surrounded with innumerable new materials, techniques and methods, all waiting to be mastered. Here we seem to be at the crossing of two roads, one old and one new. The old one is narrower and leads to "famous places" and security. The new and broader offers both speed and adventure in unknown lands. As modern architects, we must travel both roads. [...] Future architecture, considering utility as well as appearance, will be the more accepted the more its results prove at least as satisfactory as former architectural achievements.

To produce something better will be more convincing than to do something merely different».



professionali e dell'importanza dell'esperienza diretta. Il momento storico in cui venne avviato il processo di professionalizzazione dell'architetto fu il Rinascimento, dove figure come Leon Battista Alberti si preoccuparono di definirne il ruolo, i compiti e le responsabilità, destinandogli così il controllo della costruzione attraverso il disegno, indipendente e precedente alla costruzione. In questo senso Sennett descrive la «mentalizzazione» di un progetto, «l'idea di una cosa è già completa nella concezione prima di essere costruita fisicamente»²¹. Prima che avvenisse tale separazione, la conoscenza costruttiva dell'architetto medioevale/capomastro veniva acquisita sul campo, in un apprendistato che avveniva attraverso la pratica, anziché acquisendo principi teorici da applicare a posteriori. Attraverso un *learning-by-doing*, gli artigiani costruttori risolvevano problemi seguendo regole generali e «improvvisazione» creativa, lasciando spazio alla scelta personale e alle abilità maturate nel corso di una lunga esperienza. Come sostiene il filosofo ungherese Michael Polanyi, «le regole dell'arte possono essere utili [...] ma non determinano la pratica di un'arte [...] possono essere integrate [...] ma non possono sostituire quest'ultima»²². Gli artigiani costruttori, quindi, *disegnavano e costruivano* allo stesso tempo, facendo da un lato riferimento a regole generali comuni, «la chiave-guida del progetto [...] l'ausilio segreto e geometrico»²³, dall'altro collaborando a un processo operativo che richiedesse cura e giudizio. È in questo senso di responsabilità collettiva che si rintraccia la qualità del lavoro artigiano. «Ogni bravo artigiano» scrive Sennett «conduce un dialogo tra le *pratiche concrete* e il *pensiero* [...] che si concretizza nell'acquisizione di abitudini di sostegno, le quali creano un movimento ritmico tra soluzione e individuazione dei problemi»²⁴. Questo continuo rapporto di interdipendenza tra un problema

21. Sennett, *op. cit.*, p. 48.

22. Polanyi, in Ingold, *op. cit.*, p. 100.

23. Gropius, *op. cit.*, p. 106.

24. Sennett, *op. cit.*, p. 48.

«Vedere che il valore del fatto a mano, persiste nonostante l'aumento dell'influenza della macchina, significa riconoscerne la sua continua influenza. A questo scopo, proviamo a confrontare processi manuali e processi a macchina con funzioni simili. La tessitura a macchina è stata sviluppata a partire dalla tessitura a mano. Segue lo stesso principio di costruzione. Cucire a macchina, tuttavia, richiede di approcciarsi a un principio tecnico completamente diverso dal cucito a mano. Ha senso, quindi, imparare a tessere, così come nel design di tessuti, prima a mano, dato che il telaio a mano è più semplice e facile da capire. Permette una gamma di varietà più ampia rispetto al complicato telaio a motore. Anche nel cucito il processo manuale è la migliore scuola per un uso corretto del processo a macchina. Il cucito a mano sviluppa più direttamente la sensibilità per i diversi materiali ed effetti. [...] Entrambi questi esempi indicano due possibili relazioni tecniche tra processo manuale e processo a macchina. Mostrano anche che la produzione a macchina non può essere interamente sostituita dal lavoro manuale. Più importante è il fatto che, storicamente e da un punto di vista pedagogico, la produzione a mano normalmente precede la produzione a macchina. [...] Ora ci troviamo circondati da innumerevoli nuovi materiali, tecniche e metodi, tutti in attesa di essere padroneggiati. Sembriamo trovarci all'incrocio di due strade, una vecchia e una nuova. La vecchia è più stretta e conduce a "luoghi noti" e alla sicurezza. La nuova e più ampia offre sia velocità che avventure in terre sconosciute. Come architetti moderni, dobbiamo percorrere entrambe le strade. [...] L'architettura del futuro, considerando l'utilità insieme alla sua forma, sarà tanto più accettata quanto più i suoi risultati si dimostreranno almeno altrettanto soddisfacenti delle precedenti realizzazioni architettoniche. Produrre qualcosa di migliore risulterà più convincente che fare qualcosa di semplicemente diverso».

e la sua soluzione pratica, trova riconoscimento nella consapevolezza di star mettendo le proprie abilità al servizio di un obiettivo comune, condiviso dalla collettività, che rende orgogliosi del *ben fatto*. La gratificazione personale che si riceve nel produrre oggetti *a regola d'arte* rappresenta un piccolo tassello di un benessere collettivo, poiché «produrre un oggetto che sia soddisfacente sembra essere una funzione della società»²⁵. Sennett stesso ha sostenuto il grado d'indipendenza e responsabilità sociale avesse l'artigiano nella Grecia arcaica, dove chi lavorava con le mani – la categoria dei *demiourgoi*, lavoratori specializzati manuali, accoglieva sia artigiani come i vasai che i medici – rispondeva a un ideale comunitario indissolubile dalla propria abilità tecnica²⁶. A partire dalla tesi che l'antropologo Tim Ingold²⁷ propone circa il produrre *cose* al produrre *architettura*, possiamo allora provare a immaginare la costruzione fisica – ovvero la produzione dell'oggetto architettonico – come un «processo di crescita» collettivo, in cui l'artefice, *l'architetto-artigiano*,²⁸ partecipa a un mondo fatto di materiali attivi. Egli non impone, così, forme preconette, ma interviene nei processi materiali in atto, intervenendo in un campo di forze esistente, dove la materia non è più un passivo recettore della forma ma possiede una certa variabilità; «è materia in movimento, in flusso, in mutazione» che «può essere soltanto seguita»²⁹. Così come il boscaiolo esperto fa calare l'ascia in modo che la lama segua il percorso già tracciato tra le venature nel tempo lento della sua storia di crescita, facendo emergere dal materiale forme «già latenti»³⁰, così l'architetto può partecipare alle trasformazioni dell'ambiente naturale lavorando con i materiali. D'altra parte, sostiene Peter Zumthor, «ogni singolo materiale ha in sé migliaia di possibilità»³¹, muta e si trasforma a seconda della luce, della minore o maggiore scabrosità, della lucentezza. Essi non sono quindi assimilati a materia inerte da modellare in modo intercambiabile, ma hanno una «storia [...] di quello che essi fanno»³² e del loro divenire. «Nel corso del suo produrre, l'artigiano congiunge i propri movimenti e gesti [...] al divenire dei suoi materiali, seguendo e assecondando le forze e i flussi che porteranno il suo lavoro a compimento»³³.

La sfida degli strumenti di fabbricazione digitale sta quindi proprio nel provare ad assottigliare il divario *fare/pensare*, tra immagine mentale e azione, tra progetto ed esecuzione, tornando alla proposizione intrinseca alla pratica artigianale e all'esercizio manuale, dove *fare* coincide con *pensare* in un movimento oscillante tra immagine mentale e realizzazione fisica. Secondo Mario Carpo, nella seconda rivoluzione digitale in architettura la separazione tra il pensare e il fare si è assottigliata al punto tale da non

25. Gropius, *op. cit.*, p. 98.

26. Sennett, *op. cit.*, pp. 29-30.

27. Ingold, *op. cit.*, p. 61.

28. Alberto Calderoni, *Appunti dal visibile*, LetteraVentidue, Siracusa 2016, p. 140.

29. Gilles Deleuze, Félix Guattari, in Ingold, *Making*, p. 53.

30. Ivi, p. 85.

31. Cfr. Peter Zumthor, *Atmosphäre*, Birkhäuser Verlag, Basilea 2006, tr. it. *Atmosfera. Ambienti architettonici, le cose che ci circondano*, Electa, Milano 2008.

32. Ingold, *op. cit.*, p. 61.

33. Ivi, p. 62.



Shoei Yoh, *Wireframe perspective of a detail from the space frame for the Galaxy Toyama Gymnasium*, 1990-1996

«Greg Lynn: Speaking a little bit about tensile shells and tensile models, is it important to you that the forces of a building are visible in the final building? And if so, does the computer play a role in that?»

Shoei Yo: Yes. Only the computer can display, from beginning to end, the forces coming in and going out. That means, dead or alive, the computer decides. It's so fatal! We never know; the calculation is done in a black box with a program—it depends on the program. So structural engineering is far more advanced with waves and tremors... with finding frequencies against the typhoon and the earthquake. You can simulate in many ways. So we're getting to know more and more about the forces from outside, but we have to also be careful with people's hearts. There is this solidarity for sharing the space, the enjoyment of space in the room—for eating, for playing. That is design and aesthetics and ethics all combined, and the computer can help us in many ways. The computer also misleads, even when the computer is following a function programmed by somebody. But the architects should control the computer, and how to use it and whether this is good or bad, too early or too late... We will have an obligation to terminate the building, to break it down like a nuclear power plant. We have to decide before we build it, otherwise we have to ask somebody else to rebuild it for the next generation and the next generation. Like the Ise-Jingu Shrine. Every twenty years they rebuild it again, sixty different times, doing the same for 1,300 years, using the same kind of wood, cypress. But it's stupid to have all the columns in the earth—it's why they rot. But if the ground is wet, it will last long, like in Holland. Or the buildings around Tokyo station; they have pine tree piles to hold the buildings up. We don't have a hard ground as in New York. I don't think they are stupid. I respect the will of the people who continue the same: Rebuilding the same building, with the same materials, for such a long time. That's the power of the Japanese people; the traditions. But then the Pantheon has been living two thousand years already».

essere più distinguibile³⁴. La codificazione del mestiere dell'architetto avvenuta nel Rinascimento non può più essere considerata valida, in quanto l'architetto è passato dall'essere *agent of notation* ad *agent of fabrication*. Attraverso gli strumenti digitali è possibile modellare, rappresentare e realizzare un oggetto contemporaneamente, annullando di fatto la distanza spazio-temporale tra la concezione di un oggetto e la sua realizzazione fisica. Sebbene gli strumenti di progettazione digitale siano ormai in grado di affrontare processi decisionali da un punto di vista tecnico, Carpo sostiene ancora la necessità della figura dell'architetto nella ricerca delle qualità formali: «we should not confuse *instrumentality* with *intentionality* [...] we have *intentions*, computers are *instruments*» sottolineando ancora l'importanza di una formazione non solo tecnica e professionalizzante, ma anche umanistica: «we must train [students] as *designer* in a studio, as *scholar* in a classroom, and as *scientist* in a lab»³⁵.

Pur riconoscendo i benefici pratici dell'utilizzo del computer, Pallasmaa mette in guardia da una progettazione «interamente computerizzata»³⁶. Nelle prime fasi del processo progettuale – nella definizione dell'*idea* che sostiene il progetto – la mano necessita di una connessione tattile con l'oggetto della produzione: schizzi, modelli e disegni, vaghe e incerte testimonianze di quel «travaglio creativo» teso al raggiungimento di una soluzione che soddisfi chi *fa*. Diversamente, il computer produce immagini apparentemente finite e *iperdeterminate* che tendono «ad appiattire la nostra magnifica capacità di immaginazione» destinando il processo progettuale a una pura «ricerca retinica»³⁷. Sennett dedica alcune riflessioni agli effetti negativi del disegno automatico e della progettazione in ambiente digitale. Se da un lato i sistemi automatici velocizzano le operazioni, «ogni intervento comporta meno conseguenze che se fosse fatto sulla carta [...] dunque ci si riflette sopra con minore attenzione»³⁸. Il sociologo mette in luce tre aspetti critici che scindono il progettare al computer dalla realtà materiale. Il primo punto che affronta è lo scollamento tra simulazione e realtà. Lavorare al computer permette di mettere a sistema una serie di variabili che tuttavia non riusciranno mai a prendere in considerazione le infinite piccole modificazioni che, invece, si riescono a percepire attraverso un'adeguata esperienza del luogo. «Surrogando l'esperienza tattile» continua Sennett esponendo la sua seconda argomentazione, la simulazione al computer tende a «nascondere i problemi», applicando una «rimozione delle difficoltà»³⁹, deresponsabilizzando l'architetto immerso in una seconda realtà ad uso e consumo della velocità d'esecuzione. Un esempio in questo senso riguarda la famiglia di operazioni algoritmiche di autocompletamento⁴⁰ – *autocorrect*, *autofill*, *autocomplete* – che sono state create

34. Carpo, *op. cit.*

35. Mario Carpo, "The Second Digital Turn" (intervista) in *PA Talks 002*, GAD Foundation, https://www.youtube.com/watch?v=1lvPwUGWSKY&ab_channel=ParametricArchitecture, [10.03.2019].

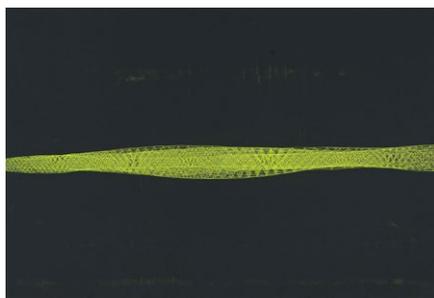
36. Pallasmaa, *op. cit.*, p. 92.

37. Ivi, p. 96.

38. E. Felix, "Drawing Digitally", presentazione all'*Urban Design Seminar*, MIT, Cambridge (MA), 4 ottobre 2005 in Sennett, *op. cit.*, p. 47.

39. Ivi, p. 49.

40. John May, "Life, autocompleted", in *Harvard Design Magazine. No Sweat*, 46, 2018.



Shoei Yoh, *View of model for roof of Galaxy Toyama Gymnasium*, 1990-1996

«Greg Lynn: Parlando un po' di gusci e modelli a trazione, è importante per te che le forze di un edificio siano visibili nell'edificio finale? E se è così, il computer gioca un ruolo in questo?»

Shoei Yoh: Sì. Solo il computer può visualizzare, dall'inizio alla fine, le forze che entrano ed escono. Questo significa che, vivo o morto, è il computer a decidere. È così fatale! Non lo sappiamo mai; il calcolo è fatto in una scatola nera con un programma - dipende dal programma. Quindi l'ingegneria strutturale è molto più avanzata con le onde e le scosse... con il trovare le frequenze contro il tifone e il terremoto. Si può simulare in molti modi. Così stiamo conoscendo sempre di più le forze dall'esterno, ma dobbiamo anche stare attenti al cuore della gente. C'è questa solidarietà per la condivisione dello spazio, il godimento dello spazio nella stanza - per mangiare, per giocare. Questo è design ed estetica ed etica tutto combinato, e il computer può aiutarci in molti modi. Il computer inganna anche quando segue una funzione programmata da qualcuno. Ma gli architetti dovrebbero controllare il computer, e come usarlo e se questo è buono o cattivo, troppo presto o troppo tardi... Avremo l'obbligo di terminare l'edificio, di abatterlo come una centrale nucleare. Dobbiamo decidere prima di costruirlo, altrimenti dovremo chiedere a qualcun altro di ricostruirlo per la prossima generazione e quella successiva. Come il santuario di Ise-Jingu. Ogni vent'anni lo ricostruiscono di nuovo, sessanta volte diverse, facendo lo stesso per 1300 anni, usando lo stesso tipo di legno, il cipresso. Ma è stupido avere tutte le colonne nella terra, per questo marciscono. Ma se il terreno è bagnato, durerà a lungo, come in Olanda. O gli edifici intorno alla stazione di Tokyo; hanno mucchi di pini per tenere su gli edifici. Non abbiamo un terreno duro come a New York. Non penso che siano stupidi. Rispetto la volontà della gente che continua lo stesso: ricostruire lo stesso edificio, con gli stessi materiali, per così tanto tempo. Questo è il potere del popolo giapponese; le tradizioni. Ma poi il Pantheon vive già da duemila anni».

per velocizzare i rapporti uomo-computer attraverso delle predizioni sulle possibili scelte da effettuare mentre si invia un input al computer. I comandi *copy* (copiare lo stesso elemento più volte) e *array* (creare un insieme ordinato di oggetti identici a partire dal disegno di uno) presenti nella prima uscita commerciale del programma *AutoCAD* del 1982 hanno rappresentato un punto di svolta nell'automatizzazione di alcune fasi del lavoro dell'architetto. Attraverso l'eliminazione tutta una serie di operazioni notoriamente laboriose e richiedenti molto tempo - come il ridisegno di uno stesso oggetto in altra posizione, o la disposizione di una «serie» di oggetti identici nello spazio del disegno - tali comandi hanno liberato il pensiero architettonico di una serie di responsabilità - cancellare, pulire, ridisegnare - sottomettendo a un algoritmo logico l'attenzione che prima si applicava a compiere un determinato gesto. Il terzo punto che Sennett affronta riguarda l'*ipedeterminazione*. Le funzioni calcolate e verificate al millimetro al computer escludono qui gradi di approssimazione nel «tessuto di un edificio» che permettono alla comunità che lo andrà ad abitare di modificarsi nel tempo, consentendo ai suoi vari usi di «morire sul nascere, di mutare direzione o di evolvere»⁴¹.

«Di vitale importanza per un buon progetto» nota Anton Ehrenzweig «è suddividere il processo progettuale in fasi che non abbiano una connessione ovvia col risultato finale»⁴². Lavorare con le mani permette proprio questo: fare la spola tra un'idea da rendere propria, una sensazione che sfugge, un'immagine mentale da ricattare in un momento sinestetico di pensiero fuso al ritmo del *fare*. «È un approccio tipico dell'artigiano. Fare e pensare contemporaneamente»⁴³. La circolarità messa in atto dal processo del fare si arricchisce di volta in volta di pezzi diversi - un interiorizzato *bricolage*⁴⁴ - in cui l'architetto dispone di quel che ha, in un *improvvisazione creativa* mediata dal saper esplorare il mondo. Attingere alle immagini interiorizzate del mondo esperienziale dell'architetto significa compiere un'*itinerazione*⁴⁵; chi produce è un *girovago*, viaggia nel proprio immaginario onnicomprensivo e oceanico, non immediatamente definito, vago, che si lascia scoprire proprio nell'atto del fare e del pensare all'unisono, senza soluzione di continuità. Ciò non significa lasciarsi guidare dall'imprecisione o dalla disattenzione. Nella voce "*Esattezza*" delle sue "*Lezioni Americane*", Italo Calvino sostiene in riferimento ai versi di Leopardi: «Il poeta del vago può essere solo il poeta della precisione, che sa cogliere la sensazione più sottile con occhio, orecchio, mano pronti e sicuri. [...] La ricerca dell'indeterminato diventa l'osservazione del molteplice, del formicolante, del pulviscolare»⁴⁶. Anche l'architetto nel processo progettuale rimette insieme sensazioni acquisite attraverso i sensi nell'atto del *fare*, riuscendo così a «spaziare coll'immaginazione, riguardo a ciò che non si vede»⁴⁷.

41. Sennett, *op. cit.*, p. 49.

42. Anton Ehrenzweig, *The Hidden Order of Art*, Weidenfeld & Nicolson, Londra 1967.

43. Renzo Piano in Sennett, *op. cit.*, p. 47.

44. Irénée Scalbert, "The Architects as Bricoleur", in *Candide. Journal for Architectural Knowledge*, 4, 2011.

45. Gilles Deleuze, Félix Guattari, *Mille plateaux. Capitalismo et schizofrenia*, Les Editions de Minuit, Paris 1980, tr. it. *Millepiani. Capitalismo e schizofrenia*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma 1987, pp. 495-595.

46. Italo Calvino, *Lezioni americane. Sei proposte per il prossimo millennio*, Mondadori, Milano 1993, p. 63.

47. *Ibid.*

in basso: ONL, *TT Monument*, 2002

«One work of art, one detail. The complexity of the *TT Monument* is in the surface, not in the number of different elements put together. The *TT Monument* is one continuous surface, one material, and hence one parametric detail. To practice parametric design is absolute compulsory for a successful *file-to-factory* process of executing the built projects. One must directly connect the 3D model of the design to the production techniques in the factory. [...] The connection relies on a common language, which is spoken by the machines at both ends, the PC of the designer and the cutting machine of the producer. Direct and unfiltered shortcuts are needed. The machine reads and the file and executes the script like an *idiot savant*».

«Un'opera d'arte, un dettaglio. La complessità del *TT Monument* è nella superficie, non nel numero di elementi diversi messi insieme. Il *TT Monument* è una superficie continua, di un unico materiale, e quindi un unico dettaglio parametrico. Praticare il design parametrico è assolutamente obbligatorio per il successo del processo di esecuzione *file-to-factory* per costruire progetti. Bisogna collegare direttamente il modello 3D del progetto alle tecniche di produzione in fabbrica. [...] La connessione si basa su un linguaggio comune, che viene parlato dalle macchine alle due estremità, il PC del progettista e la macchina da taglio del produttore. Sono necessarie scorciatoie dirette e non filtrate. La macchina legge il file ed esegue lo script come un *idiot savant*».

Provando quindi a ricongiungere le facoltà immaginative dell'architetto nel progettare architetture adeguate alla vita dell'uomo, pratica indissolubilmente legata all'attività manuale, con ciò che le tecnologie digitali ci mettono a disposizione, agevolando azioni che alle mani non riescono⁴⁸, può aprire uno spiraglio in quella che nel campo del progetto d'architettura potremmo assimilare una *singolarità tecnologica*⁴⁹ – il vertiginoso progredire dello sviluppo tecnologico fino a un punto in cui esso non è più controllabile dagli esseri umani. La collaborazione tra la fabbricazione digitale e la manualità artigianale, può permetterci di riscoprire le qualità immateriali di quelle *architetture senza nome* che trovavano senso compiuto nella loro capacità di materializzare attraverso pietre, mattoni, impasti di terra e paglia, le aspirazioni degli uomini che ancora le abitano, costruendo un paesaggio fisico che si è fatto paesaggio immateriale di culture e valori tramandati da generazione in generazione. L'assorbimento di nuovi *modi di fare* in una pratica operativa consolidata è un'attività connaturata all'evoluzione dell'uomo, e la conciliazione tra strumenti apparentemente ostili e di difficile gestione e le qualità specifiche che il mestiere dell'architetto ha assunto nel corso dei secoli, può rappresentare un'orizzonte a cui tendere per ricongiungere mano e mente.



48. A tal proposito, Sennett introduce una distinzione tra *replicanti* e *robot*. I primi sono «artefatti che ci rispecchiano imitandoci». I secondi invece «sono dei noi stessi potenziati, amplificati». «In generale» – conclude Sennett – «il *replicante* rispecchia l'uomo per come è, il *robot* per come potrebbe essere». Sennett, *op. cit.*, p. 88.

49. M. Shanahan, *The Technological Singularity*, MIT Press, Cambridge (MA) 2018.



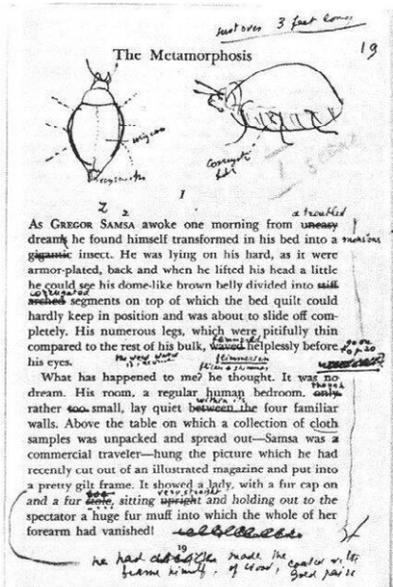
sopra: Gramazio Kohler, *Iridescence Print*, 2018
 a sinistra: Gramazio Kohler, *Augmented Bricklaying*, 2019
 in basso a sinistra: Studio INI, montaggio per l'installazione e fotografia dell'interno di *Urban Imprint*, 2019

«We use the term *digital materiality* to describe an emergent transformation in the expression of architecture. Materiality is increasingly being enriched with digital characteristics, which substantially affect architecture's *physis*. Digital materiality evolves through the interplay between digital and material processes in design and construction. The synthesis of two seemingly distinct worlds – the digital and the material – generates new, self-evident realities. Data and material, programming and construction are interwoven. This synthesis is enabled by the techniques of digital fabrication, which allows the architect to control the manufacturing process through design data. Material is thus enriched by information; material becomes "informed." In the future, architects' ideas will permeate the fabrication process in its entirety. This new situation transforms the possibilities and thus the professional scope of the architect. *Digital materiality* leads to a new expression and – surprisingly enough, given the technical associations of the term "digital" – to a new sensuality in architecture. Digital and material orders enter into a dialogue, in the course of which each is enriched by the other. Digital materiality is thereby able to address different levels of our perception. It is characterized by an unusually large number of precisely arranged elements, a sophisticated level of detail, and the simultaneous presence of different scales of formation. Despite its intrinsic complexity, we experience and understand it intuitively. *Digital materiality* addresses our ability to recognize naturally grown organizational forms and to interpret their internal order. Its expression is novel, but not alien. *Digital materiality* is not rooted solely in the material world and its physical laws such as gravity, or in material properties. It is also enriched by the rules of the immaterial world of digital logics, such as its processual nature or calculatory precision. Digital orders intensify the particularities of materials. Materials do not appear primarily as a texture or surface, but are exposed and experienced in their whole depth and plasticity. Even familiar materials – such as bricks, which have been known for over 9000 years – appear in new ways. For the observer, a tension spans the intuitively understandable behavior of a material and the design logic, which may not be immediately obvious. The logic can be sensed, but not necessarily explained. This obscurity seduces our senses, sending them on a voyage of discovery and inviting us to linger and reflect».

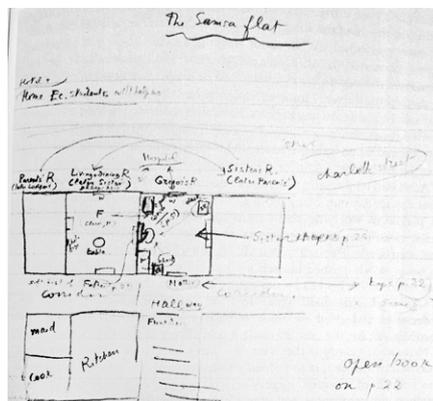
Usiamo il termine *materialità digitale* per descrivere una trasformazione emergente dell'espressione architettonica. La materialità si arricchisce sempre più di caratteristiche digitali, che influenzano sostanzialmente la *physis* dell'architettura. La *materialità digitale* evolve attraverso l'interazione tra processi digitali e materiali nella progettazione e nella costruzione. La sintesi di due mondi apparentemente distinti – il digitale e il materiale – genera nuove realtà evidenti. Dati e materiale, programmazione e costruzione si intrecciano. Questa sintesi è consentita dalle tecniche di fabbricazione digitale, che permettono all'architetto di controllare il processo di produzione attraverso dati di progetto. La materia si arricchisce così di informazioni; la materia diventa "informata". In futuro, l'immaginario architettonico permeerà il processo di fabbricazione nella sua interezza. Questa nuova situazione trasforma le possibilità e quindi l'ambito professionale dell'architetto. La *materialità digitale* spinge verso una nuova espressività e – abbastanza sorprendentemente, date le associazioni tecniche del termine "digitale" – a una nuova sensualità dell'architettura. L'ordine digitale e quello materiale entrano in un dialogo, nel corso del quale ciascuno si arricchisce dell'altro. La *materialità digitale* è così in grado di agire a diversi livelli della nostra percezione. È caratterizzata da un numero insolitamente grande di elementi disposti con precisione, da un sofisticato livello di dettaglio e dalla presenza simulata di diverse scale di formazione. Nonostante la sua intrinseca complessità, risulta comprensibile intuitivamente attraverso la sperimentazione. La *materialità digitale* si rivolge alla nostra capacità di riconoscere forme d'organizzazione naturali e di interpretare il loro ordine interno. La sua espressione è nuova, ma non aliena. La *materialità digitale* non è radicata solo nel mondo materiale e nelle sue leggi fisiche come la gravità, o nelle proprietà materiali. [...] I materiali non appaiono soltanto come una texture o una superficie, ma sono esposti e sperimentati nella loro intera profondità e plasticità. Anche materiali familiari – come i mattoni, conosciuti da oltre 9000 anni – appaiono in modi nuovi. Per l'osservatore, una tensione attraversa il comportamento intuitivamente comprensibile di un materiale e la logica del design, che può non essere immediatamente ovvia. La logica può essere percepita, ma non necessariamente spiegata. Questa oscurità seduce i nostri sensi, mandandoli in un viaggio di scoperta e invitandoci a soffermarci e riflettere.



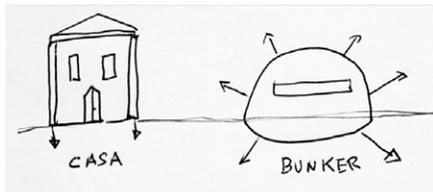
Note Conclusive



In una pagina della copia de "La Metamorfosi", utilizzata durante le ore del suo corso di letteratura europea, Vladimir Nabokov – scrittore, docente, critico ed entomologo – traccia uno schizzo di Gregor Samsa, protagonista del romanzo di Franz Kafka, nell'atto della sua trasformazione. Il disegno a margine della pagina mostra un grande insetto, visto dall'alto e di profilo, e sembra voler discernere scientificamente – come da un vero e proprio campione di laboratorio – le cause della trasmutazione del giovane uomo. A partire dall'analisi di un dato fisico, tangibile, misurabile, Nabokov si sforza di superare l'indeterminatezza delle parole di Kafka che nelle sue pagine non giunge mai a descrivere con esatta precisione il corpo dell'artropode – *Ungeheuren Ungeziefer* in tedesco, termine che non possiede una diretta traduzione in inglese¹ – per poterne comprendere le modalità attraverso cui a un evoluzione – o involuzione, se vogliamo – corrisponda una modificazione di *sensu*.



La trasformazione ha effetti sullo spazio abitativo – e narrativo – in cui avvengono le vicende del romanzo. L'appartamento in cui vive il protagonista con la sua famiglia è rappresentato in uno disegno tratteggiato da Nabokov come un sistema di luoghi che muta insieme al corpo di Samsa, indeterminato, definibile soltanto attraverso il punto di vista dell'osservatore – l'insetto – in prima persona, che attraverso la consapevolezza della sua trasformazione racconta del rapporto biunivoco che lega l'attività umana all'ambiente fisico in cui essa è immersa: «The Samsa flat must have been somewhat similar to Gregor's narrow human room. Gregor's body was transformed overnight dramatically, but clearly this is only the first stage of a larger process: the body and the relationship system to the body is continuously transforming throughout the whole story. Gregor's room significantly alters in every sense, and it seems that parallel with this, the whole human space of the flat is also altered [...] Gregor's room and the whole flat changes almost unnoticeably and becomes malleable. [...] The layout of the Samsa flat, in fact, cannot be drawn. The walls and rooms can hardly be fitted into a regular rectangle. [...] The flat moves with Gregor and changes together with the family. One can observe the unnoticeable distortion, rearrangement and deformation of the flat»².



Vladimir Nabokov, schema planimetrico dell'appartamento di Gregor Samsa, disegni e appunti presi per il corso di letteratura europea, 1980

Agustín Fernández Mallo: «Al verlos nos parece que la lógica de la metamorfosis de Gregor Samsa en escarabajo responde a la de los búnkeres (esférica), en contraposición a la del edificio de su familia (convencional lineal)».

«A ben vedere, pare che la logica della metamorfosi di Gregor Samsa in scarafaggio corrisponda a quella dei bunker (sferici), in opposizione a quella dell'edificio della sua famiglia (lineare convenzionale)».

La difficoltà che incontrò Nabokov nella rappresentazione dell'appartamento di Samsa esplicita il complesso sistema di relazioni cinetiche, percettive e materiche che si intessono tra uomo e architettura. Trasformare è abitare. L'adattamento reciproco tra l'organismo architettonico e le necessità di chi lo abita, lo attraversa o lo esperisce è un'operazione *senza tempo* che ha rappresentato la modalità con cui l'architettura è riuscita ad appropriarsi – non senza alcune deviazioni³ – dell'ambiente che ci circonda.

1. Susan Bernofsky, "On Translating Kafka's "The Metamorphosis" in *The New Yorker*, 14 gennaio 2014, accessibile al sito web: <https://www.newyorker.com/books/page-turner/on-translating-kafkas-the-metamorphosis> [10.12.2021].

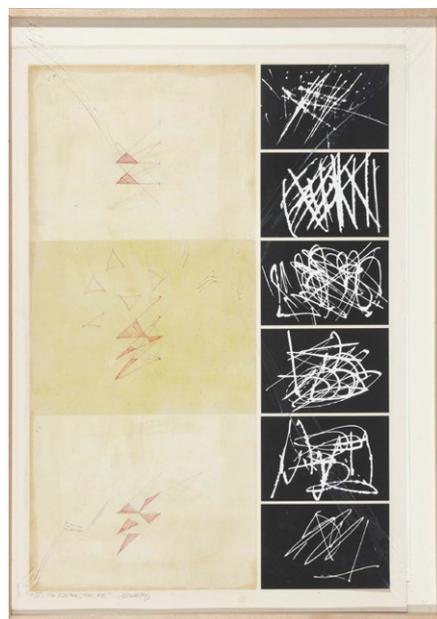
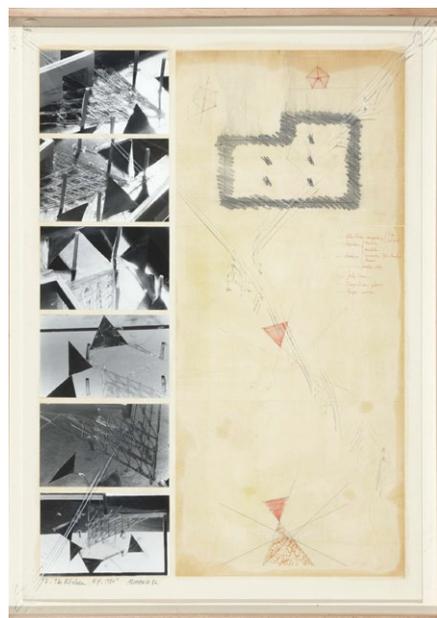
2. Csaba Onder, "The Layout: Nabokov and Franz Kafka's The Metamorphosis" in *Americana. E-Journal of American Studies in Hungary*, vol. XIV, n. 1, spring 2018.

3. Cfr. C. Wise, "Drunk in an Orgy of Technology" in Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock (a cura di), *Emergence: Morphogenetic Design Strategies. AD Profile 169*, n. 74, maggio-giugno 2004, pp. 54-63.

Modificandosi, trasformandosi – pur soltanto da un punto di vista retinico e di *superficie*⁴ – in definitiva muovendosi, l'architettura congegnata e rende concepibili modificazioni di *sensu* che riescano a coinvolgere l'uomo in un'esperienza inedita e rinnovata: un *cambiamento di stato*.

Il *cambiamento di stato* – definibile come il modificarsi di un sistema fisico al variare di alcuni parametri di controllo, passando da una fase a un'altra fase per stati di aggregazione, ovvero il «modo di associarsi e d'interagire delle molecole costituenti un corpo o una sostanza, che determina parte delle proprietà macroscopiche del corpo stesso»⁵ – risulta così un orizzonte raggiungibile, sempre presente ma poche volte direttamente esplicitato dall'architettura. *Fusione, solidificazione, sublimazione, brinamento, vaporizzazione, condensazione*: operazioni mutuata dalla fisica ma che hanno reso l'architettura – attraverso l'essenzialità della sua trasformazione cinetica – materiale malleabile. A seguito dell'avvento del computer nella pratica quotidiana dell'architettura e l'irruzione delle tecnologie digitali come estensioni del nostro corpo, la richiesta di adattabilità e responsività degli spazi che abitiamo si è fatta sempre più pressante e, soprattutto, raggiungibile. Emerge la necessità di una conciliazione fra mondi apparentemente distanti – il sensibile e il digitale, il *reale* e il *virtuale*⁶ – che necessitano urgentemente di instaurare una più ampia pratica di collaborazione fra mano e mente computerizzata, fra fabbricazione automatizzata e sensibilità materica, tenendo insieme le premesse di un'architettura fatta dall'uomo e per l'uomo con gli strumenti che abbiamo a disposizione oggi⁷.

La ricerca ha provato a discretizzare gli elementi che hanno concorso nel tempo all'aspirazione dell'architettura per il movimento, inquadrandone le origini in un momento storico di profonda trasformazione⁸ che si è riverberato nella disciplina modificandone premesse ed esiti, configurando la cifra espressiva di un'idea di *futuro* che stiamo ancora attraversando appieno⁹. Si è visto come la forma architettonica ha subito una serie di modificazioni strutturali nella sua essenza di espressione statica di un'idea di spazio, contenitore stabile che ospiti diversi usi e utilizzazioni, in favore di una modificazione in tempo reale e di una possibilità di una sua interattività e responsività: «la conseguenza principale di questa evoluzione sta nel fatto che la forma architettonica non esprime più la stabilità rassicurante di ciò che è; invece, essa dà eco al cambiamento che si sviluppa dopo che una scelta è stata compiuta, come un evento che segue da un'azione [...] in questa cultura [digitale], la forma diventa *performance*. [...] L'architettura stessa sta diventando un accadimento, un'azione»¹⁰. Proprio in virtù di quest'assenza di stabilità è risultata un'attività essenziale il tentativo di stabilire un ordine, assolutamente non gerarchico, tra le diverse modalità attraverso cui leggere e interpretare il progetto del movimento,



4. Cfr. D. Leatherbarrow, M. Mostafavi, *Surface Architecture*, MIT Press, Cambridge (MA) 2002.
5. Treccani, *stati di aggregazione*.
6. Cfr. Tomás Maldonado, *Reale e Virtuale*, Feltrinelli, Milano 1992.
7. Cfr. Mollie Claypool et al., *Robotic Building: Architecture in the Age of Automation*, Edition Detail, Monaco 2019.
8. Cfr. Giedion, *Mechanization Takes Command*, op. cit.
9. Cfr. Carpo, *The Second Digital Turn*, op. cit.
10. Antoine Picon, *The Materiality of Architecture*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2020, p. 130.

in alto a destra: Zeger Reyes, *Rotating Kitchen*, 2009

«Everything in the kitchen at first starts to slide and soon to fall on the walls and cupboards when these become the bottom part of the kitchen, and so on. While the kitchen turns it transforms into a big kitchen machine, mixing ingredients, food, spices, herbs, kitchenware, both clean and dirty plates and glasses, wine from the open bottles... Fluids drip from whatever is ceiling to whatever is floor for the next minutes, and paint the inside of the kitchen to slowly leak out of the structure over time to paint the floor around it as well. As such, the kitchen becomes a painting device and a sound device of rattling kitchenware at the same time, while the smells mingle and boost one and another to turn it into a perfume dispenser as well. With its slow rotation and the continuous mixing of "ingredients", the kitchen becomes a world in itself, a world at which the visitor is left to wonder».

«Dall'inizio, tutto in cucina comincia a scivolare e presto a cadere sulle pareti e sulle credenze quando queste si trasformano nella parte inferiore della cucina, e così via. Mentre la cucina gira si trasforma in una grande macchina-cucina, mescolando ingredienti, cibo, spezie, erbe, stoviglie, piatti e bicchieri, puliti e sporchi, vino dalle bottiglie aperte... I fluidi gocciolano dal soffitto al pavimento per i minuti successivi, e dipingono l'interno della cucina per poi lentamente fuoriuscire dalla struttura nel corso del tempo per dipingere anche il pavimento intorno. Come tale, la cucina diventa un dispositivo per dipingere e un dispositivo sonoro attivato dagli utensili da cucina sferraglianti, mentre gli odori si mescolano l'uno con l'altro per trasformarla in un distributore di profumi.

Con la sua lenta rotazione e la continua mescolanza di "ingredienti", la cucina diventa un mondo a sé, un mondo di cui il visitatore si meraviglia».



osservando, analizzando e descrivendo una serie di opere esemplificative di visioni del mondo mutate. L'ampiezza del tema, la sua intrinseca azione su ogni sistema architettonico, costruttivo e tecnologici riflette l'ampio campo che la cinetica in architettura sottende. Raccogliere esempi di architettura e tentare di proporre una classificazione ha rappresentato più che la definizione di margini conclusi e definitivi entro cui racchiudere un campione finito di opere, modalità d'insediamento e criteri spaziali e non-spaziali, una possibilità di interpretazione del progetto cinetico aperta e duttile, disponibile ad accogliere ulteriori nuove categorie descrittive che permettano di discernere possibili strategie progettuali. L'intento è stato quello di comprendere potenzialità e criticità di un atteggiamento verso il progetto di architettura che rinnovi quel rapporto antico e sempre presente, ma talvolta celato o dimenticato, tra l'uomo e il suo ambiente; rapporto che nel contemporaneo è impossibile rendere scevro dal continuo avanzare, incessante, della tecnologia e della sue conseguenze sulla società e quindi sullo spazio fisico. La gestione di questi aspetti compete all'architetto. «Una sensibilità potenziata dalla tecnologia» ricorda Ingold «se messa al servizio di un coinvolgimento manuale con i materiali nel corso del produrre, potrebbe ampliare in modo significativo *gli orizzonti dell'umanità*»¹¹.

11. Ingold, *Making*, op. cit., p. 208.

Bibliografia

Parte I – Posizioni

- Alexander, C. et al. *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*, Oxford University Press, New York 1977
- Alexander, C. "From a Set of Forces to a Form" in *The Man-Made Object*, a cura di Gyorgy Kepes, George Braziller, New York 1966
- Alexander, C. *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1964
- Banham, R. *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, University of Chicago Press, Chicago 1966
- Banham, R. *Theory and Design in The First Machine Age*, The Architectural Press, Londra 1960, tr. it. *L'architettura della prima età della macchina*, Marinotti, Milano 2005.
- Banham, R. *Architettura della seconda età della macchina*, Electa, Milano, 2004
- Beesley, H. and Ruxton, J. (a cura di) *Responsive Architectures Subtle Technologies*, Riverside Architectural Press, Cambridge 2006
- Beesley, P. *Hylozoic Ground. Canadian Pavilion, Venice Biennale 2010 - Exhibition Catalogue*, Philip Beesley, Venezia 2010
- Brett, G. *Kinetic Art. The Language of Movement*, Studio Vista, Londra 1968
- Brett, G. *Force Fields: Phases of the Kinetic the Kinetic*, Museu d'Art Contemporani, Barcellona 2000
- Brott, S. *Digital Monuments. The Dreams and Abuses of Iconic Architecture*, Routledge 2020
- Busbea, L. D. *The Responsive Environment. Design, Aesthetics, and the Human in the 1970s*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2019.
- Calderoni, A. *Appunti dal Visibile*, LetteraVentidue, Siracusa 2017.
- Carpò, M. *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*, John Wiley & Sons, Hoboken 2013
- Carpò, M. *The Second Digital Turn. Design Beyond Intelligence*, MIT Press, Cambridge 2017
- Ching, F. *Architecture. Form, Space, & Order*, Wiley, Hoboken 2014 (1ª ed. 1979).
- Claypool, M. et al. *Robotic Building: Architecture in the Age of Automation*, Edition Detail, Monaco 2019
- De Fusco, R. *Trattato di Architettura*, GLF Edizioni Laterza, Roma-Bari 2001
- Deleuze, G. *La piega. Leibniz e il barocco*, Einaudi, Torino 1990
- Eco, U. *Opera aperta*, Bompiani, Milano 1962
- Denning, P. J. Tedre, M. *Computational Thinking*, MIT Press, Cambridge (MA) 2019.
- Fankhänel T. Lepik A. (a cura di) *The Architecture Machine. The Role of Computers in Architecture*, Birkhauser, 2020
- Fox, M. Kemp, M. *Interactive Architecture*, Princeton Architectural Press, New York 2009
- Foucault, M. *Le parole e le cose*, Rizzoli, Milano 1967 (1ª ed. *Les mots et les choses*, Gallimard, Parigi 1966)
- Gabo, N. and Pevsner, A. "The Realistic Manifesto" in *Russian Art of the Avant Garde: Theory and Criticism, 1902-1934*, Thames and Hudson, New York 1920
- Giedion, S. *Mechanization Takes Command: A Contribution to Anonymous History*, Oxford

- University Press, New York 1948, tr. it. *L'era della meccanizzazione*, Feltrinelli, Milano 1967
- Goodhouse, A. (a cura di), *When is the digital in Architecture?*, Sternberg Press-Canadian Centre for Architecture, Montréal-Berlin 2015
- Goulthorpe, M. *The Possibility of (an) Architecture: Collected Essays*, Routledge, London 2008
- Hand, M. *The Fall of Cyberspace and the Rise of Data*, Routledge Taylor and Francis, Londra 2018.
- Hensel, M. Weinstock, M. Menges, A. *Emergent Technologies and Design. Towards A Biological Paradigm for Architecture*, Routledge, Abingdon 2010
- Horrocks, R. *Art That Moves. The Work of Len Lye*, Auckland University Press, Auckland 2009
- Hovestadt, L., Hirschberg, U., Fritz, O., *Atlas Of Digital Architecture: Terminology, Concepts, Methods, Tools, Examples, Phenomena*, Birkhauser, Basel, 2020
- Jackson, G. Matson, S. Barlow, A. (a cura di) *Naum Gabo: Constructions for Real Life*, Tate Publishing, Londra 2020
- Jormakka, K. *The Flying Dutchman. Motion in Architecture*, Birkhäuser, Basilea 2002
- Kepes, G. *The Nature and Art of Motion*, George Braziller, New York 1965
- Kepes, G. *The Man Made Object*, George Braziller, New York 1966
- Kolarevic, B. (a cura di) *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Taylor & Francis, Londra 2003
- Kolarevic, B. Klinger, K. (a cura di) *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*, Routledge, New York 2008
- Kolarevic, B. (a cura di) *Performative Architecture Beyond Instrumentality*, Taylor & Francis, Londra 2005
- Kolarevic, B. Parlac, V. (a cura di) *Building Dynamics. Exploring Architecture of Change*, Routledge, New York 2008
- Kronenburg R. *Flexible: Architecture that Responds to Change*, Laurence King Publishing, Londra 2007
- Kronenburg, R. *Architecture in Motion: The History and Development of Portable Building*, Routledge, Londra 2014
- Law Whyte, L. (a cura di), *Aspects of Form. A Symposium on Form in Nature and Art*, Lund Humphries, Londra 1951
- Lewis Kausel, C. Pendleton-Jullian, A. (a cura di), *Santiago Calatrava: Conversations with Students*, Princeton Architectural Press, New York 2002
- Lynn, G. *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York 1999
- Lynn, G. (a cura di) *Folding in Architecture*, Architectural Design, Londra 1993
- Lynn, G. Goulthorpe, M. *Hyposurface. Archaeology of the Digital 06*, Canadian Centre for Architecture, Montreal, 2014
- Lynn, G. Hoberman, C. *Expanding Sphere/Iris Dome. Archaeology of the Digital 02* Canadian Centre for Architecture, Montreal, 2014
- Lynn, G. Oosterhuis, K. *NSA Muscle. Archaeology of the Digital 05* Canadian Centre for Architecture, Montreal, 2014
- Maldonado, T. *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano 1993
- Menges, A. Alquist, S. (a cura di), *Computational Design Thinking*, Wiley, Chichester 2001, p. 68.
- Marchis, V. *Storia delle macchine. Tre millenni di cultura tecnologica*, Laterza, Roma 1994

- Moloney, J. *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*, Routledge, Londra 2011
- Moholy Nagy, L. *Vision in Motion*, Paul Theobald, Chicago 1947
- Mumford, L. *Technics and Civilization*, Harcourt, New York 1934, tr. it. *Tecnica e cultura*, Il Saggiatore, Milano 1961
- Morando, S. (a cura di), *Almanacco letterario Bompiani 1962*, Bompiani, Milano 1962
- Musacchio, A. *Architetture cinetiche: apparati meccanici ed elettronici nel progetto di architettura*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 2009
- Mutnjaković, A. *Kineticka arhitektura*, A. Mutnjakovic, Zagabria 1995
- Nathan Rogers, E. *Esperienza dell'architettura*, Einaudi, Torino 1958.
- Novak, M. "Liquid Architecture", in Michael Benedikt (a cura di), *Cyberspace, First Steps*, MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
- Negroponte, N. *La macchina per l'architettura*, Il Saggiatore. Milano 1972
- Oosterhuis, K. and Xia, X. (a cura di) *Interactive Architecture*, Episode Publishers, Rotterdam 2007
- Oosterhuis, K. *Hyperbodies. Towards an E-motive Architecture*, Birkhäuser, Basilea 2003
- Oosterhuis, K. *Hyperbody: First Decade of Interactive Architecture*, Jap Sam Books, Heijningen 2012
- Oosterhuis, K. and Xia, X. (a cura di) *Interactive Architecture*, Episode Publishers, Rotterdam 2007
- Ortega y Gasset, J. *Meditazione sulla tecnica e altri saggi su scienza e filosofica*, Mimesis, Milano 2011
- Otto, F. *IL3 Biology and Building*, University of Stuttgart, Stuttgart 1971
- Paricio, I. *Geometric Taxonomy. Carlos Ferrater & OAB*, Actar Publishers, Barcelona 2021
- Perrella, S. (a cura di) "Hypersurface Architecture", *Architettura Design*, n.48, 1998
- Phillips, S. *Elastic architecture: Frederick Kiesler and Design Research in the First Age of Robotic Culture*, MIT Press, Cambridge 2017
- Picon, A. *Digital Culture in Architecture. An Introduction for the Design Professions*, Birkhäuser, Basilea 2010
- Picon, A. *The Materiality of Architecture*, University of Minnesota, Londra 2020
- Popper, F. *L'arte cinetica. L'immagine del movimento nelle arti plastiche dopo il 1860*, Einaudi, Torino 1970
- Portoghesi, P. *Le inibizioni dell'architettura moderna*, Laterza, Bari 1974
- Pottmann, H. et al. *Architectural Geometry*, Bentley Institute Press, Exton 2007
- Rahm, P. *Architecture météorologique*, Archibooks, Parigi 2009
- Rahm, P. *Atmosfera Costruita*, Postmedia books, Milano 2014
- Reiser, J. *Atlas of Novel Tectonics*, Princeton Architectural Press, New York 2006
- Sabin J. Lloyd Jones, P. *LabStudio: Design Research Between Architecture and Biology*, Routledge Taylor and Francis, Londra 2017
- Saggio, A. *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Carocci, Roma 2007
- Schumacher, M. Vogt, M. Cordón Krumme, L. *New Move: Architecture in Motion, New Dynamic Components and Elements*, Birkhäuser, Basilea 2020
- Spuybroek, L. *NOX: Machining Architecture*, Thames & Hudson, Londra 2004

- Terzidis, K. *Expressive Form. A Conceptual Approach to Computational Design*, Spon Press, New York 2003
- Tzonis, A. *Santiago Calatrava's Creative Process. Vol I Fundamentals*, Birkhäuser, Basilea 2010
- Tzonis, A. *Santiago Calatrava's Creative Process. Vol. II Sktechbooks*, Birkhäuser, Basilea 2010
- Thompson, D. W. *On Growth and Form*, University Press, Cambridge 1917 tr. it. *Crescita e forma: la geometria della natura*, Bollati Boringhieri, Torino 1969
- Venturi, Robert. and Scully, Vincent Joseph. *Complexity and Contradiction in Architecture*, The Museum of Modern Art, New York 1966, tr. it. *Complessità e contraddizioni nell'architettura*, Dedalo, Bari 1977
- Wigginton, M. and Harris, J. *Intelligent Skins*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2002
- Witt, A. *Formulations: Architecture, Mathematics, Culture*, MIT Press, Cambridge (MA), 2021.
- Witt, A. Pertigkiozoglou, E. *Computation as Design: Ron Resch and the New Media of Geometry*, Canadian Centre for Architecture, Montréal 2019
- Zaera Polo, A. *The Ecologies of the Building Envelope*, Actar Publishers, Barcelona 2021
- Zuk, W. Clark, R. *Kinetic Architecture*, Van Nostrand Reinhold, New York 1970
- Zuk, W. Clark, R. *Kinetic Architecture*, Van Nostrand Reinhold, New York 1970

Articoli in rivista

- Ackerman J. S. "Architectural Practice in the Italian Renaissance," in *Distance Points: Essays in Theory and Renaissance Art and Architecture*, MIT Press, Cambridge (MA), e Londra 2004
- Aureli, P. V. "How We Became Architects", in *The Real Review 1*, Spring 2016
- dECOi Architects, "Technological Latency: From Autoplastic to Alloplastic", in *Digital Creativity*, vol. 11, 2000
- Findeli, A. "Moholy-Nagy's Design Pedagogy in Chicago (1937–46)", *Design Issues*, vol. 7, 1990
- Eco, U. "Le forme del disordine", in Morando, S. (a cura di) *Almanacco letterario Bompiani 1962*, Bompiani, Milano 1962
- Frazer, J. "The Architectural Relevance of Cyberspace", in *Architectural Design*, n. 65, 1995
- Hoberman, C. "Transformable Architecture" in *PingMag*, 13 luglio 2007
- Koleychuk, V F. "The Dvizheniye Group: Toward a Synthetic Kinetic Art" in *Leonardo*, vol. 27, no. 5, 1994
- Krieg, O. Christian, Z. Correa Zuluaga, D. Menges, A. Reichert, S. Rinderspacher, K. Schwinn, T. "HygroSkin – Meteorosensitive Pavilion", in *Fabricate*, UCL Press, Londra 2014
- Lynn G. "Blobs (or Why Tectonics is Square and Topology is Groovy)" in *ANY 14*, May 1996
- Pawley, M. "High-Tech Architecture: History Vs. The Parasites", in *AA Files*, no. 21, 1991
- Pask, G. "The Architectural Relevance of Cybernetics", in *Architectural Design*, September, n. 7/6, 1969
- Rickey, G. W. "The Morphology of Movement: A Study of Kinetic Art", in *Arts Journal*, n. 22, 1963
- Rowe, C., Slutzky, R. "Transparency: Literal and Phenomenal" in *Perspecta*, n. 8, 1963
- el Razaz, Z. "Sustainable Vision of Kinetic Architecture", in *Journal of Building Appraisal*, vol. 5, 2010
- Rickey G.W. "The Morphology of Movement: A Study of Kinetic Art", in *Arts Journal*, 1963

- Saggio, A. "Interactivity at the Centre of Architectural Research", in *Architectural Design*, 75(1), 2005
- Stalder, L. Gleich, M. (a cura di) *Architecture/Machine: Programs, Processes, and Performances*, gta, Zurigo, 2017
- Schumacher, P. "A New Global Style", in Carpo, M. *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*, John Wiley & Sons, Hoboken 2013
- Stevenson, C. "Morphological Principles: Current Kinetic Architectural Structures" in *Proceedings of the International Adaptive Architecture Conference*, 2011
- Till, J. Schneider, T. "Flexible Housing: The Means to the End", in *Architectural Research Quarterly*, 2005

Atti in convegno

- Eigensatz M. et al. "Case Studies in Cost-Optimized Paneling of Architectural Freeform Surfaces", in et al. (a cura di) *Advances in Architectural Geometry 2010*, Springer, Vienna 2010
- d'Estrée Sterk, T. "Building Upon Negroponte: A Hybridized Model of Control Suitable for Responsive Architecture", in *eCAADe 21 digital design*
- Osório, F. Paio, A. Oliveira, S. "Kinetic Origami Surface. From Simulation to Fabrication" in *Proceedings CAADFutures 17*, 2017

Siti web

- Stenson, M. W. *Nicholas Negroponte, Leon Groisser, Jerome Wiesner: The Architecture Machine Group and The Media Lab at Massachusetts Institute of Technology MIT*, Radical Pedagogies, sito web: <https://radical-pedagogies.com/search-cases/a13-architecture-machine-group-media-lab-massachusetts-institute-technology-mit/>
- Rajagopal, A. *Greg Lynn, Q&A: Greg Lynn on Architecture's Early Flirtations with the Computer*, in *Metropolis Mag*, 3 settembre 2013, <https://metropolismag.com/projects/qa-greg-lynn-architecture-flirtations-computer/> [01.10.21].

Parte II - Strumenti

- Albers, J. *The First General Meeting of Black Mountain College*, The Josef and Anni Albers Foundation, Bethany 22 settembre 1941.
- Arnheim, R. *Art and Visual Perception. A Psychology of the Creative Eye*, University of California Press, Berkeley 1954, tr. it. *Arte e percezione visiva*, Feltrinelli, Milano 1962
- Arnheim, R. *The Dynamics of Architectural Form*, University of California Press, Berkeley 1977, tr. it. *La dinamica della forma architettonica*, Feltrinelli, Milano 1981
- Banham, R. *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, University of Chicago Press, Chicago 1966
- Baird, G. *The Architectural Expression of Environmental Control Systems*, Spon Press, Londra 2001.
- Brott, S. *Digital Monuments. The Dreams and Abuses of Iconic Architecture*, Routledge 2020.
- Casale, A. Valenti, M. *Architettura delle superfici piegate: le geometrie che muovono gli origami*, Edizioni Kappa, Roma 2013
- Denning, P. Tendre, M. *Computational Thinking*, MIT Press, Cambridge 2019
- Deplazes, A. *Constructing Architecture. Materials Processes Structures. A Handbook*, Birkhäuser Verlag, Basilea 2008

- Hookway, B. Perry, C. "Responsive systems/appliance architectures" in *Architectural Design*, n. 76, 2006.
- Gorman, M. J. *Buckminster Fuller. Architettura in movimento*, Skira, Milano, 2005
- Ishii, K. *Structural Design and Retractable Roofs*, WIT Press, Southampton 2000
- FrancaVilla, C. *Teoria della percezione visiva e psicologia della forma*, Schena Editore, Fasano 2019, p.45.
- Fuller, R. B. *Nine Chains to the Moon* (1938), Southern Illinois University Press, Carbondale
- Goodhouse, A. (a cura di), *When is the digital in Architecture?*, Sternberg Press-Canadian Centre for Architecture, Montréal-Berlin 2015
- Griffero, T. *Atmosferologia. Estetica degli spazi emozionali*, GLF editori Laterza, Roma 2010.
- Jordan, J. *3D Printing*, MIT Press, Cambridge 2019
- Kouriny, M. A. "Relationship Between Origami and Interior Design Related Spaces Manipulation", Department of Interior Design & Furniture-College of Applied Arts, Helwan University, Cairo 2004
- Lewis Kausel, C. Pendleton-Jullian, A. (a cura di), *Santiago Calatrava: Conversations with Students*, Princeton Architectural Press, New York 2002
- Hensel, M., Menges, A., Weinstock, M., *Emergent Technologies and Design. Towards a Biological Paradigm for the Future*, Routledge, Abingdon 2010
- Moussavi, F. Kubo, M. Hoffman, J. *The Function of Ornament*, Actar, Barcelona 2006
- Otto, F. *IL 5 Wandelbare Dächer/Convertible Roofs*, Wittenborn and Company, New York 1972
- Pawllyn, M. *Biomimicry in Architecture*, RIBA, Londra 2011.
- Pierini O. S. (a cura di) «Spazio». *Gli editoriali e altri scritti*, Marinotti, Milano 2019, p. 191.
- REAL Lab, *Responsive Environments*, Actar, Barcelona 2021
- Reichlin, B. Tedeschi L. (a cura di) *Luigi Moretti. Razionalismo e trasgressività tra Barocco e Informale*, Electa, Milano 2010
- Rivas Adrover, E. *Deployable Structures*, Lawrence King, Londra 2015
- Sadler, S. *Archigram: Architecture Without Architecture*, MIT Press, Cambridge (MA) 2005
- Schafer M. *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*, Destiny Books, Rochester 1994
- Sennett, R. *The Craftsman*, Yale University Press, New Haven & Londra 2008, tr. it. *L'uomo artigiano*, Feltrinelli, Milano 2008
- Tedeschi, A. *AAD_Algorithms-Aided Design*, Le Penseur Publishing, Brienza 2014
- Thomas, K. *Material Matters: Architecture and Material Practice*, Routledge, New York 2007
- Yiannoudes, S. *Architecture and Adaptation. From Cybernetics to Tangible Computing*, Routledge, New York 2016
- Vidler, A. *The Architectural Uncanny. Essays in the Modern Unhomely*, MIT Press, Cambridge (MA) 1992
- Wick, R. K. *Teaching at the Bauhaus*, Hatje Cantz Verlag, Ostfildern-Ruit 2000
- Wingler, H. M. *Bauhaus: Weimar, Dessau, Berlin, Chicago*, MIT Press, Cambridge (MA) 1968
- Zaera Polo, A. *The Ecologies of The Building Envelope*, Actar, Barcellona 2021.
- Zumthor, P. *Atmosphäre*, Birkhäuser Verlag, Basilea 2006, tr. it. *Atmosfera. Ambienti architettonici, le cose che ci circondano*, Electa, Milano 2008

Articoli in rivista

Zodiac. A Review of Contemporary Architecture, 19, a cura di Maria Bottero, 1969

Zodiac. A Review of Contemporary Architecture, 21, a cura di Maria Bottero, 1972

Zodiac. A Review of Contemporary Architecture, 22, a cura di Maria Bottero, 1973

"Print me a Stradivarius: How a new Manufacturing Technology Will Change the World", *The Economist*, 10 febbraio 2011

Allen, S. "From Object to Field", in Peter Davidson, Donald L. Bates (a cura di), *Architecture After Geometry. AD Profile 127*, n. 67, maggio-giugno 1997

Barker, O. "Experimentation, Not Replication: Josef Albers and the Vorkurs" in *Bauhaus Magazine*, 1, Marzo 2011.

Casale, A. Calvano, M. "Castelli di carta. La piega per la costruzione di superfici articolate", in *Disegnarecon*, 9, 2012

Casale, A. Valenti, G.M. Calvano, M. *et al.* "Surfaces: Concept, Design, Parametric Modeling and Prototyping" in *Nexus Network Journal* 15, 2013

Eigensatz, M. *et al.* "Case Studies in Cost-Optimized Paneling of Architectural Freeform Surfaces", in C. Ceccato *et al.* (a cura di) *Advances in Architectural Geometry 2010*, Springer, Vienna 2010.

Hensel, M., Menges, A., Weinstock, M., "Introduction", in Id. (a cura di), *Emergence: Morphogenetic Design Strategies. AD Profile 169*, n. 74, maggio-giugno 2004

Ilerisoy, Z. Basegmez, M. "Conceptual Research of Movement in Kinetic Architecture" in *Gazi University Journal of Science*, 31, 2018

Kandel, E. R. *Arte e neuroscienze. Le due culture a confronto*, Raffaello Cortina, Milano 2017

Kazemi, M. Borjian, B. "Algorithmic Approach Functions in Digital Architecture and its Effect on Architectural Design Process", in *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 4, 2015

Massey, J. "Buckminster Fuller's Cybernetic Pastoral: The United States Pavilion at Expo 67", *Journal of Architecture*, vol. 11, 2006

Marcos, C. L., Fernández-Álvarez, A. J., McCormick, L. "Semperian Digitally Woven Mythologies. On Grids, Warps, Wefts and Skins in the Computer Age" in *XY: rassegna critica di studi sulla rappresentazione dell'architettura e sull'uso dell'immagine nella scienza e nell'arte*, n. 8, luglio-dicembre 2019

Megahed, N. "Understanding Kinetic Architecture: Typology, Classification, and Design Strategy", in *Architectural Engineering and Design Management*, 2016

Moretti, L. "Struttura come forma" in *Spazio*, n. 6, Dicembre 1951-Aprile 1952.

Moretti, L. "Struttura e sequenze spaziali" in *Spazio*, n. 7, Dicembre 1952-Aprile 1953.

Migliari, R. "Geometria - Costruzione - Architettura" in *Disegnarecon*, 9, 2012.

Olóri, C. "Repetition as the Crystallization of a Design Method" in *MAS Context*, Issue 21, Spring 2014

Paio, A. "Architecture In-Play: Digitally-Driven Kinetic Origami Architecture", in *Nexus Network Journal* 20, 2018

Pasquero C, Poletto M. "Bio-Digital Aesthetics as Value System of Post-Anthropocene Architecture" in *International Journal of Architectural Computing*, 2020

Pérez Piñero, E. "Estructuras Reticulares Tridimensionales" in *Arquitectura*, n. 112, Aprile 1968.

Pottmann, H. *et al.* *Architectural Geometry*, Bentley Institute Press, Exton 2007

el Razaz, Z. "Sustainable Vision of Kinetic Architecture", in *Journal of Building Appraisal*, 5, 2010

- Rodonò, G. Sapienza, V. "Kinetic Architecture and Foldable Surface", in *Athens Journal of Architecture*, Vol. 2, Issue 3, 2016
- Rodonò, G. Sapienza, V. "KREO- Kinetic Responsive Envelop by Origami", in *TEMA*, Vol. 2, n.2, 2016
- Valenti, G. R. Romor, J. "Geometria Responsiva" in *Disegnarecon*, 9, 2012
- Zeki, S. Lamb, M, "The Neurology of Kinetic Art", in *Brain. A Journal of Neurology*, 1994

Atti in convegno

- Anshuman, S. "Responsiveness and Social Expression, Seeking Human Embodiment in Intelligent Façades", in *ACADIA05*, 2005
- Capone, M. "Theories and Methods for Development of Developable Ruled Surfaces and Approximate Flattening of Non-developable Surfaces", in *diségno*, 3, 2018
- Capone, M. Lanzara, E. "Kerf Bending: Ruled Double Curved Surfaces Manufacturing", in *XXII Congresso internazionale da sociedade iberoamericana de gráfica digital*, Blucher, São Paulo 2018
- Capone, M. Lanzara, E. Marsillo, L. & Silva, C. "Responsive Complex Surfaces Manufacturing Using Origami", in *eCAADe 3/SIGraDi 23 Proceedings*, 2019
- Carmo, M. "How Computers Think and Make", in *Craftsmanship in the Digital Age. Architecture, Values and Digital Fabrication*, ANCB The Aedes Metropolitan Laboratory, Berlin 2019
- De Bono, J. Moleta, T. "Sentimentality and the Digital Expanse. An Exploration of Virtual Environments and their Emotive Impact on Virtual Inhabitants", in *SIGraDi 2016 Proceedings*, 2016
- Fox M. and Yeh B. P. "Intelligent Kinetic Systems in Architecture", in Nixon, P. Lacey, G. Dobson, S. (a cura di) *Managing Interactions in Smart Environments: First International Workshop*, Springer, Londra 2000
- Levy, M. Luebkehan, C. "Typology of Mobile and Rapidly Assembled Structures" in *Proceedings of the IASS 40th Anniversary Congress, Shells and Spatial Structures: From Recent Past to the Next Millenium*, 1999
- Loonen, R. *Overview of 100 climate adaptive building shells*, Eindhoven University of Technology, 2010
- Magrone, P. "Form and Art of Closed Crease Origami" in *Proceedings of the 14th Conference on Applied Mathematics APLIMAT*, 2015
- Osório, F. Paio, A. Oliveira, S, "Kinetic Origami Surface. From Simulation to Fabrication" in *Proceedings CAADFutures 17*, 2017
- Oungrinis, K. "Implementation of Kinetic Systems in Architecture: A Classification of Techniques and Mechanisms Appropriate for Discreet Building Parts" in *Proceeding of International Conference on Adaptation and Movement in Architecture - ICAMA2013*, 2013
- Retsin, G. "Toward Discrete Architecture: Automation Takes Command" in Kory Bieg, Danelle Briscoe, Clay Odom (a cura di), *ACADIA 19. Ubiquity and Autonomy, Proceedings of the 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, The University of Texas at Austin - School of Architecture
- Stevens, P. S. *Patterns in Nature*, Little Brown & Co. 1979
- Stevenson, C. "Morphological Principles: Current Kinetic Architectural Structures" in *Proceedings of the International Adaptive Architecture Conference*, 2011

Tesi di dottorato

- Gardiner, M. *On the Aesthetics of Folding and Technology*, University of Newcastle 2018

Giodice, M. *Modellazione parametrica e comportamento meccanico di superfici adattive in architettura: analisi e sperimentazione*, Tesi di Dottorato in Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", XXIX Ciclo, 2017

Jaskiewicz, T. *Towards a Methodology for Complex Adaptive Interactive Architecture*, TU Delft 2013

Lanzara, E. *Paneling Complex Surfaces. Razionalizzazione di Superfici complesse per l'industrializzazione*, Tesi di Dottorato in Tecnologia dell'Architettura e Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente, Università degli Studi di Napoli "Federico II", XXVII Ciclo, 2015

Romano, R. *Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, Firenze University Press, Firenze 2011

Turrin, M. *Performance Assessment Strategies. A Computational Framework for Conceptual Design of Large Roofs*, Architecture and the Built Environment, TU Delft 2014

Tesi di Laurea

Lee, J. *Adaptable, Kinetic, Responsive, and Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design* (M.Sc. thesis). The University of Texas at Austin, Austin 2012.

Siti Web

Amy Kulper, *Architecture's Digital Turn and the Advent of Photoshop*, conferenza nell'ambito della mostra "Archaeology of the Digital: Complexity and Convention", giugno 2016, <https://www.cca.qc.ca/en/articles/issues/4/origins-of-the-digital/41052/architectures-digital-turn-and-the-advent-of-photoshop> [01.10.2021]

Rajagopal, A. *Greg Lynn, Q&A: Greg Lynn on Architecture's Early Flirtations with the Computer*, in *Metropolis Mag*, 3 settembre 2013, <https://metropolismag.com/projects/qa-greg-lynn-architecture-flirtations-computer/>

Saletnik J. "Josef Albers, Eva Hesse, and the Imperative of Teaching", in *Tate Papers*, no.7, Spring 2007, <https://www.tate.org.uk/research/publications/tate-papers/07/josef-albers-eva-hesse-and-the-imperative-of-teaching>

Mostre

Arquitecturas Ausentes del siglo XX / Absent Architecture of the 20th Century, mostra di architettura, CIVA, Bruxelles 26.02.2010 – 18.04.2010.

Parte III – Progetto

Adamson, G. *The Invention of Craft*, AVA Publishing, Oxford 2018

Adamson, G. *Thinking Through Craft*, Berg Publishers, Oxford 2007

Anderson, C. *Makers. The New Industrial Revolution*, Crown Business, New York 2012 tr. it. *Makers. Il ritorno dei produttori. Per una nuova rivoluzione industriale*, Rizzoli Etas, Milano 2013

Andre, C. *Cuts: Texts 1959-2004*, MIT Press, Cambridge 2005

Andre, C. Raymond, Y. Vergne, P. *Carl Andre: sculpture as place, 1958-2010*, Dia Art Foundation, New York 2014

Astrup Bull, K. Gali, A. (a cura di) *Material Perceptions. Documents on Contemporary Crafts No. 5*, Arnoldsche Art Publishers, Stuttgart 2018

Benjamin, W. *Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit* (1936), Surkamp, Francoforte 1963, tr. it. *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*, Einaudi, Torino 1970

- Böhme, G. "Urban Atmospheres: Charting New Directions for Architecture and Urban Planning." in Borch, C. (a cura di) *Architectural Atmospheres. On the Experience and Politics of Architecture*, Birkhäuser, Basilea 2014
- Calvino, I. *Lezioni americane. Sei proposte per il prossimo millennio*, Mondadori, Milano 1993
- Campo Baeza, A. *L'idea costruita*, Lettera Ventidue, Siracusa 2012
- Carpo, M. *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*, John Wiley & Sons, Hoboken 2013
- Carpo, M. *The Second Digital Turn. Design Beyond Intelligence*, MIT Press, Cambridge 2017
- Caruso, A. *The Feeling of Things*, Ediciones Polígrafa, Barcelona 2008 tr. it. *In sintonia con le cose. La base materiale della forma nell'architettura contemporanea*, Marinotti, Genova 2016
- Davies, C. Weiss, D. *Robert Morris: Object Sculpture, 1960-1965*, Yale University Press, New Haven 2014
- Deleuze, G. Guattari, F. *Mille plateaux. Capitalism et schizofrénie*, Les Editions de Minuit, Parigi 1980, tr. It. *Millepiani. Capitalismo e schizofrenia*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma 1987
- Deleuze, G. *La piega. Leibniz e il barocco*, Einaudi, Torino 1990
- Denning, P. Tendre, M. *Computational Thinking*, MIT Press, Cambridge 2019
- Dewey, J. *Art as Experience*, Minton, Balch & C, New York 1934, tr. it. *L'arte come esperienza*, La Nuova Italia, Firenze 1967
- Dumouchel, P. Damiano, L. *Vivre avec les robots. Essai sur l'empathie artificielle*, Seuil Parigi 2016 tr. it. *Vivere con i robot. Saggio sull'empatia artificiale*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2019
- Ehrenzweig, A. *The Hidden Order of Art*, Weidenfeld & Nicolson, Londra 1967
- Espuelas, F. *Madre Materia*, Lampreave, Madrid 2009, tr. it. *Madre Materia*, Marinotti, Milano 2012
- Gallagher, A. Donovan, M. Dillon, B. *Rachel Whiteread*, Tate Publishing, Londra 2017
- Goodman, N. *I linguaggi dell'arte*, Il Saggiatore, Milano 1968
- Gramazio, F. Kohler, M. *Digital Materiality in Architecture*, Lars Müller Publishers, Baden 2008
- Gropius, W. *Scope of Total Architecture*, Harper & Row, New York 1955 tr. it. *Architettura Integrata*, Il Saggiatore, Milano 1963
- Hansmann, S. Geipel, F. (a cura di) *Raummaschine: Exploring Manifold Space*, Jovis, Berlino 2019
- Harman, G. *Art and Objects*, Polity, Cambridge 2018
- Harman, G. *Object-Oriented Ontology. A new Theory of Everything*, Pelican Books, Londra 2018
- Ingold, T. *Ecologia della Cultura*, Meltemi, Sesto San Giovanni 2016
- Ingold, T. *Making. Anthropology, Archaeology, Art and Architecture*, Routledge, Londra 2013, tr. it. *Making. Antropologia, Archeologia, Arte e Architettura*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2019
- Jones, L. *Haptics*, MIT Press, Cambridge 2018
- Judd, D. C. *Donald Judd Writings*, David Zwirner Books, New York 2016
- Leatherbarrow, D. Mostafavi, M. *Surface architecture*, MIT Press, Cambridge 2002
- Leroi-Gourhan, A. *Le geste et la parole*, Albin Michel, Parigi 1964 tr. it. *Il gesto e la parola*, Einaudi, Torino 1977
- Maldonado, T. *Arte e Artefatti. Intervista di Hans Ulrich Obrist*, Feltrinelli, Milano 2010
- Maldonado, T. *Memoria e conoscenza. Sulle sorti del sapere nella prospettiva digitale*, Feltrinelli, Milano 2005

- Maldonado, T. *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano 1993
- Martí Arís, C. *Silencios elocuentes*, Edicions UPC, Barcelona 1999, tr. it. *Silenzi eloquenti*, Marinotti, Milano 2002
- Merleau-Ponty, M. *Phénoménologie de la perception*, Edition Gallimard, Parigi 1945, tr. it. *Fenomenologia della percezione*, Il Saggiatore, Milano 1965
- Morton, T. *Being Ecological*, Penguin Books, Londra 2018 tr. it. *Noi, esseri ecologici*, Laterza, Roma 2018
- Mumford, L. *Technics and Civilization*, Harcourt, New York 1934, tr. it. *Tecnica e cultura*, Il Saggiatore, Milano 1961
- Mumford, L. *The Myth of the Machine*, Harcourt, New York 1970, tr. it. *Il mito della macchina*, Il Saggiatore, Milano 1969
- Openshaw, J. *Postdigital Artisans: Craftmanship With a New Esthetic in Fashion, Art, Design and Architecture*, Frame Publishers, Amsterdam 2015
- Ordine, N. *L'utilité de l'inutile*, Les Belles Lettres, Parigi 2013, tr. it. *L'utilità dell'inutile. Manifesto*, Bompiani, Milano 2013
- Pallasmaa, J. *The Embodied Image: Imagination and Imagery in Architecture*, John Wiley & Sons, Chichester 2011, tr. it. *L'immagine incarnata. Immaginazione e immaginario nell'architettura*, Safarà Editore, Pordenone 2014
- Pallasmaa, J. *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*, Academy Editions, Londra 1996, tr. it. *Gli occhi della pelle. L'architettura e i sensi*, Jaca Book, Milano 2007
- Pallasmaa, J. *The Thinking Hand: Existential and Embodied Wisdom in Architecture*, John Wiley & Sons, Chichester 2009, tr. it. *La Mano che pensa. Saggi e saggezza esistenziale e incarnata nell'architettura*, Safarà Editore, Pordenone 2014
- Parisi, L. *Contagious Architecture. Computation, Aesthetics, and Space*, MIT Press, Cambridge 2013
- Plummer, H. *The Experience of Architecture*, Thames and Hudson, Londra 2016, tr. it. *L'esperienza dell'architettura*, Einaudi, Torino 2016
- Pye, D. *The Nature and Art of Workmanship*, University Press, Cambridge 1968
- Radic, S. Smiljan Radic 2013-2019, El Croquis 199, El Croquis Editorial, Madrid 2019
- Rahm, P. Scuderi, M. *Atmosfere costruite: l'architettura come design meteorologico*, Postmedia, Milano 2014
- Ratti, C. Claudel, M. *The City of Tomorrow: Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life*, Yale University Press, New Haven 2016
- Riedijk, M. (a cura di) *Architecture as Craft*, SUN Architecture, Amsterdam 2010
- Rogers, E. N. *Esperienza dell'architettura*, Skira, Milano 1997
- Rogers, E. N. *Gli elementi del fenomeno architettonico*, Guida editori, Napoli 1981
- Rossi, P. *I filosofi e le macchine 1400-1700*, Feltrinelli, Milano 1962
- Rykwert, J. *L'architettura e le altre arti*, Jaca Book, Milano 1993
- Rykwert, J. *Necessità dell'artificio*, Mondadori, Milano 1994
- Saarinen, E. *The Search for Form in Art and Architecture*, Dover Publications, New York 1985
- Scalbert, I. *Never modern*, Park Books, Zürich 2013
- Scalbert, I. *A Real Living Contact with the Things Themselves: Essays on Architecture*, Park Books, Zürich 2018
- Sennett, R. *The Craftsman*, Yale University Press, New Haven & Londra 2008, tr. it. *L'uomo artigiano*, Feltrinelli, Milano 2008

- Sennett, R. *Together. The Rituals, Pleasures and Politics of Cooperation*, Allen Lane, Londra 2012, tr. it. *Insieme. Rituali, piaceri, politiche della collaborazione*, Feltrinelli, Milano 2012
- Serra, R. *Writings, interviews*, The University of Chicago Press, Chicago 1994
- Severino, E. *Tecnica e architettura*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2003
- Shanahan, M. *The Technological Singularity*, MIT Press, Cambridge 2018
- Sudjic, D. *The Language of Things*, Penguin, Londra 2009, tr. it. *Il linguaggio delle cose*, Laterza, Roma 2009
- Tessenow, H. *Hausbau und Dergleichen*, Bruno Cassirer Verlag, Berlin 1916 tr. it. *Osservazioni elementari sul costruire*, Franco Angeli, Milano 1974
- Vesely, D. *Architecture in the Age of Divided Representation: The Question of Creativity in the Shadow of Production*, MIT Press, Cambridge 2004
- Zellner, P. "Between Heaven and Earth", in *Domus*, 947, 2011
- Zumthor, P. *Atmosphäre*, Birkhäuser Verlag, Basilea 2006, tr. it. *Atmosfera. Ambienti architettonici, le cose che ci circondano*, Electa, Milano 2008
- Zumthor, P. Lending, M. *A Feeling of History*, Scheidegger und Spiess Ag Verlag, Zürich 2018
- Zumthor, P. *Pensare Architettura*, Mondadori Electa, Milano 2003

Articoli in rivista

- Freedberg, D. Gallese, V. "Motion, emotion and empathy in esthetic experience" in *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 2007
- GAM: Nonstandard Structures*, 06, 2010
- Gramazio, Fabio. "Digital Materiality in Architecture" in *Architecture and Technology: Future of Cities*, Norman Foster Foundation, Norman Foster Foundation, Madrid 2021
- Harries, K. "Thoughts on a Non-arbitrary Architecture", *Perspecta*. 20, 1983
- Kohler, Matthias. "Sensibilities of a Digital Building Culture" in *Architecture and Technology: Future of Cities*, Norman Foster Foundation, Norman Foster Foundation, Madrid 2021
- Lotus: Architectural Turn*, 160, 2016
- Manaugh, G. "Stampa 3D collettiva", in *Domus*, 1036, 2019
- May, J. "Life, autocompleted", in *Harvard Design Magazine. No Sweat*, 46, 2018
- Mori, M. "The Uncanny Valley" in *Energy* 7 (4), 1970
- Nunziante, P. "Le cose che contano", in *Op. cit.* 142, 2011
- Pone, S. Colabella, S. "Maker", in *Op. cit.* 149, 2014
- Scalbert, I. "The Architects as Bricoleur", in *Candide. Journal for Architectural Knowledge*, 4, 2011
- The Architectural Review: Craft*, 1438, 2017

Atti in convegno

- Gorczyca, A. "A Motion as a Modern Way of ex-pressing Architecture", in Proceedings of the 7th European Architectural Endoscopy Association Conference, Montpellier 2006
- Sennett, R. *The Digital and the Urban*, in "Craftsmanship in the Digital Age. Architecture, Values and Digital Fabrication", ANCB The Aedes Metropolitan Laboratory, Berlin 2019

Yiannoudes, S. "Identifying Criteria for the Design of Affective Socially Engaging Kinetic Architectural Structure", in *Proceedings of Intelligent Environments Conference*, 2007

Tesi di dottorato

Marzaro, M. *Idea, Processo, Architettura. Fenomenologia di un procedere pratico nella progettazione architettonica*, Tesi di Dottorato in Scienze dell'uomo, del territorio e della società - Politiche sociali e Architettura, Università degli Studi di Trieste, XIII Ciclo, 2011