

Drawing without. From virtual reality to artificial intelligence

In the evolution of the relationship between architecture and representation, the traditional centrality of manual drawing has progressively been challenged by alternative methodologies within the design process. Starting from the emblematic cases of Walter Gropius and Oscar Niemeyer, this contribution shows how an architectural idea may emerge even without an immediate graphic transcription, through mental prefiguration, physical models, or collaborative design processes.

The concept of “drawing in absentia” is explored through the experiments of Antoni Gaudí, Frei Otto, Sergio Musmeci, and Frank O. Gehry, whose hanging-chain models, elastic membranes, and study maquettes anticipated many principles of contemporary digital and parametric modeling. The paper investigates three current directions in architectural representation that no longer depend on conventional drawing: immersive

Virtual Reality (VR), parametric computational design, and generative Artificial Intelligence. VR enables designers to sketch directly in three-dimensional space through immersive and haptic interaction. Parametric environments such as Grasshopper, Dynamo, and Houdini replace lines with operational diagrams and algorithmic relationships, making the project the outcome of flexible computational processes. Finally, machine learning systems, including deep neural networks are transforming image and model production through automated generation, three-dimensional shape recognition, image-to-model conversion, and text-prompt-driven rendering. These developments reveal a progressive transition from drawing as a direct representational act to new forms of design mediation in which the architectural project emerges through simulation, computation, and intelligent generative processes.



Alberto Sdegno
Professor of Drawing at the University of Udine, he has chaired the Architecture degree programmes since 2020. Author, co-author or editor of over 200 scientific publications, including *Le Corbusier Reloaded*. *Disegni, modelli, video* (2015) and *Città ideali, città virtuali* (2025), his teaching, research and outreach focus on advanced technologies for architectural representation.



Ferdinand Rexhaj
PhD candidate in the Inter-university PhD Programme in Civil-Environmental Engineering and Architecture at the Universities of Udine and Trieste. His research focuses on surveying, representation, and digital 3D modelling of architectural heritage, integrating HBIM, artificial intelligence, VR/AR, and 3D printing, with particular attention to the perspective reconstruction of pictorial images.

Keywords:
Artificial Intelligence; Parametric Architecture;
Virtual Reality; Drawing; Modeling

INTRODUCTION

In a letter to his mother dated 21 October 1907, Walter Gropius wrote that he was “unable to draw even a straight line,” adding shortly afterwards: “a cramp immediately seizes my hand, I keep breaking pencil points, and after five minutes I have to rest” (Isaacs, 1983, p. 91). A few lines earlier, he had already expressed his concern that this limitation might prevent him from fulfilling his ambitions: “My absolute inability to put even the simplest drawing on paper deprives me of many pleasures and often makes me fear for my future profession” (Isaacs, 1983, p. 91). His difficulty in drawing on paper is well documented; even as a university student, he always needed a draftsman to assist him in the preparation of drawings.

Gropius was not the only architect who designed without directly employing any form of graphic representation. The high level of abstraction underlying the conception of his works enabled him to prefigure a compositional idea without producing preliminary drawings, relying instead on a strong degree of conceptualization that allowed geometric construction to take shape through mental elaboration alone. Particularly revealing are the words he wrote in response to Luigi Vagnetti’s request for drawings for a volume dedicated to architects’ graphic production: “I cannot send any drawings, because I never make them, and the representational drawings produced in my office are executed by other people” (Vagnetti, 1965, 27). Unsurprisingly, Vagnetti ultimately published executive drawings from Gropius’s office as representative of his graphic activity (fig. 1).

Had Gropius been working today, he would likely have relied on prompting—that is, the textual descriptions used in conjunction with deep-learning systems, which interpret such requests as instructions to interpret linguistic instructions through learned computational processes capable of generating images, models, or animations. Indeed, his mode of mental design immediately reflected what was perhaps his principal concern: the industrialization of the architectural project—an ante litteram form of Building Information Modeling (BIM).

For Gropius, serial production represented the key response to the challenges posed by modernity. It may also explain why Frank Lloyd Wright refused to meet him in 1937 and later described “the International Style of Le Corbusier and Gropius as a pure expression of the domination of the machine over man” during a lecture in 1939 (Nerdinger, 1993, 37). The memoirs of his wife Ise confirm Gropius’s frequent absences from the office (Gropius, 1927), due in part to his numerous institutional commitments. As a result, collaborators such as the highly skilled Adolf Meyer and later the rigorous Ernst Neufert—soon to become the author of one of the most influential architectural handbooks of the twentieth century (Neufert, 1936)—applied strict principles of compositional standardization (Gropius, 2004) to projects that were often not even reviewed by Gropius himself (Nerdinger, 1993, 40). Significantly, after relocating to the United States following the closure of the Bauhaus under racial policies, he founded an architectural practice whose name clearly reflected this working philosophy: The Architects Collaborative (TAC) (Gropius, Harkness, 1966). The defining characteristic of the firm was precisely its highly disciplined organization of work and its collaborative approach to the development of architectural ideas.

ARCHITECTURE WITHOUT DRAWING

Despite embracing a radically different philosophy, Oscar Niemeyer also initially conceived his projects purely as mental prefigurations, often gesturing with his hands in the air—although he was, in fact, a highly skilled draftsman—and only later refined the concept through graphic elaboration. In his memoirs, the architect frequently referred to his childhood in this regard: “I used to draw without pencil or paper. I drew in the air, with one hand raised. My mother would ask me, ‘What are you doing, little boy?’ And I would answer, ‘I’m drawing.’ She smiled because it seemed amusing to her. Sometimes I would think again about the drawing I had made and return to it, correcting it as if it really existed! I continued to draw first in my mind, as I did as a child, as though it were a pastime—a pas-

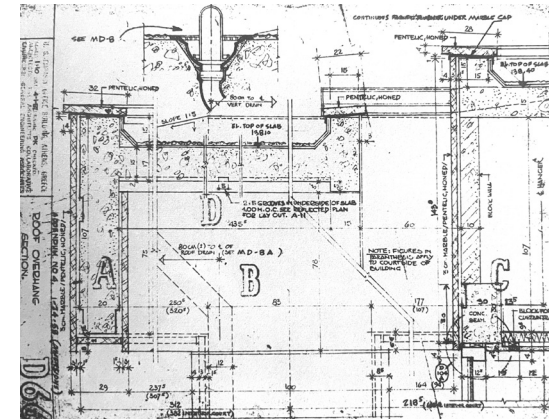


Fig. 1 - W. Gropius, Drawing of construction detail.

time to which I devoted my entire life” (Niemeyer, 2012, 30).

In this case, however, the allographic process practiced by Gropius—where a mentally conceived design was transmitted to collaborators through well-defined operational principles—finds its counterpart in Niemeyer’s strongly authorial sensibility. He would sketch rapidly, but only after the idea had fully matured: “I let my brain work,” he wrote, “and for several days, without even allowing myself the rest of sleep, I observe the problem

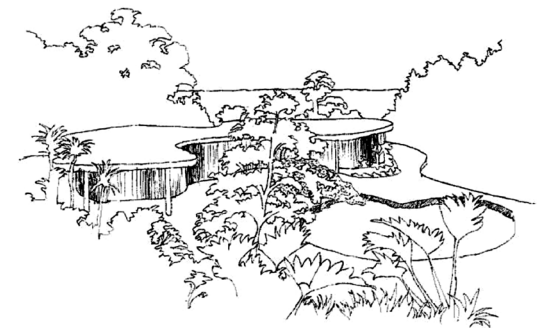


Fig. 2 - O. Niemeyer, Sketch of Casa das Canoas in Rio de Janeiro.

as though it were an equation to be solved" (Niemeyer, 1980).

Significantly, in Niemeyer's recollection of a visit by Gropius to his Casa das Canoas in Rio de Janeiro (fig. 2)—whose organic forms reflect the surrounding landscape and which today houses the foundation dedicated to him—the guest reportedly remarked that the house was "very beautiful, but not reproducible" (Niemeyer, 2012, 137). The statement evidently surprised the South American architect, who recounted the episode on several occasions. It is difficult to imagine Niemeyer wearing a VR headset and drawing within a three-dimensional virtual environment; nevertheless, his description of drawing in the air closely resembles the processes enabled today by software such as Gravity Sketch or Open Brush, which allow free-form geometries to be created through lines traced by haptic controllers within immersive environments.

Nor should one overlook the fact that the teaching of descriptive geometry—which, as is well known, has as its principal objective "to represent accurately on drawings having only two dimensions those objects which possess three" (Monge, 1799, 1-2)—also relied heavily upon mental prefiguration as an indispensable exercise. During his lectures at the École Polytechnique, Monge himself "knew how to make his students conceive in space, to an extraordinary degree, the most complicated forms of extension and penetrate their general relations and most hidden properties with no aid other than his hands, whose movements gracefully accompanied his words" (Chasles, 1837, 209). Even the most rigorous representation, therefore, requires intellectual training to enable one to see without drawing, allowing imagination to operate freely.

In this respect, Virtual Reality environments may support the creation of models through 3D sculpting operations, as in software such as ShapeLab or Substance 3D Modeler, which employ hand-tracking technologies and gesture-recognition systems. The significant contribution of physical models as instruments for anticipating graphic transcription must also be acknowledged. Consider Antoni Gaudí's suspended funicular models, constructed using systems of hanging chains and ropes to which

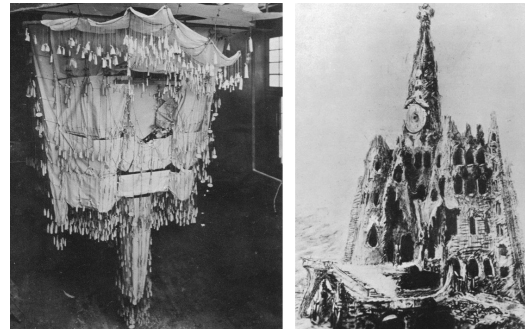


Fig. 3. A. Gaudí, Funicular model and sketch for the Colònia Güell.



Fig. 4. F. Otto, Soap-film study model.



Fig. 5. F. Otto, Roof structure of the Munich Olympic Stadium.

lead weights were attached in order to control load equilibrium and ensure structural stability. As George Collins notes, Gaudí habitually compiled "a table of available building materials, classified according to their specific weight and resistance in his tests" (Collins, 1963, 77), thereby establishing a precise range of tools for his investigations. He calculated "the thrusts of his arches [...] by suspending from a funicular representing the arch a series of weighted sacks proportional to the loads that the arch would have to support in reality" (Collins, 1963, 77) (fig. 3).

The suspended model was subsequently photographed, and the inverted image became the analytical basis for the structural drawing of elevations and sections, from which the plan could eventually be derived.

Direct references to Gaudí's inverse method of gravitational analysis appeared in the teaching and research activities of the Institute for Lightweight Structures (IL), directed by Frei Otto at the University of Stuttgart from 1964 onward. There, researchers experimented not only with catenary systems but also with structural models based on soap-film minimal surfaces (fig. 4), tension analyses of elastic membranes, nylon fabrics and reticular systems, as well as pneumatic structures inflated by compressed air. These investigations eventually led to the design and construction of the Munich Olympic Stadium, one of Otto's most celebrated works (fig. 5).

To translate these physical models into drawings, photographs were again employed and subsequently traced during the production of conventional graphic representations. Since these structures often consisted of transparent volumes composed of filament-like elements and non-opaque surfaces—such as those generated by soap films—a geometric grid was placed behind the model. This provided the draftsman with a reference framework for generating projections in plan and elevation, allowing space to be measured through an analytical procedure analogous to that by which Eadweard Muybridge, nearly a century earlier, had measured time through chronophotography, recording the movements of humans and animals by means of

successive photographic exposures (fig. 6). During the same years in which Frei Otto was developing these methodologies, other contemporaries pursued similar lines of research. Notable among them were Heinz Isler and Sergio Musmeci, both dedicated to investigating minimum structures through experimental procedures involving suspended fabric membranes and soap-film surfaces. Isler's roof for the Deitingen Süd Service Station in Switzerland (fig. 7) and Musmeci's celebrated Basento Bridge in Potenza (Guccione, 2004) represent particularly significant examples. In Musmeci's case, successive investigations based first on soap-film models and later on neoprene membranes (fig. 8) enabled more stable measurement and verification of experimental results. The stretched-rubber model could be surveyed using methods similar to those employed in naval engineering for hull design, through a system of transverse sections subsequently connected by longitudinal profiles (Zanon, 2020, 104). Flexible battens were used according to the logic of spline construction.

Similarly, Frank O. Gehry—another architect who relied extensively on physical models during the early phases of design—used projection techniques to derive planimetric and altimetric geometries from scale models representing alternative design hypotheses, before computers entered his office. Examples of photographs and orthographic drawings derived from these models can be found in publications concerning projects such as the Weisman Art Museum in Minneapolis (fig. 9), built between 1990 and 1993 and among the last of Gehry's projects completed without digital technologies (Lindsey, 2002, 40).

As is well known, the transition to digital tools preserved the centrality of the model, which was no longer redrawn manually but instead acquired through 3D digitization devices—initially digital pantographs and later, as technology became available, directly through three-dimensional scanners (Sdegno, 2001).

What is certain is that new technologies have progressively weakened the role of manual drawing in favor of computer-assisted processes. Indeed,

<http://disegnarecon.univaq.it>

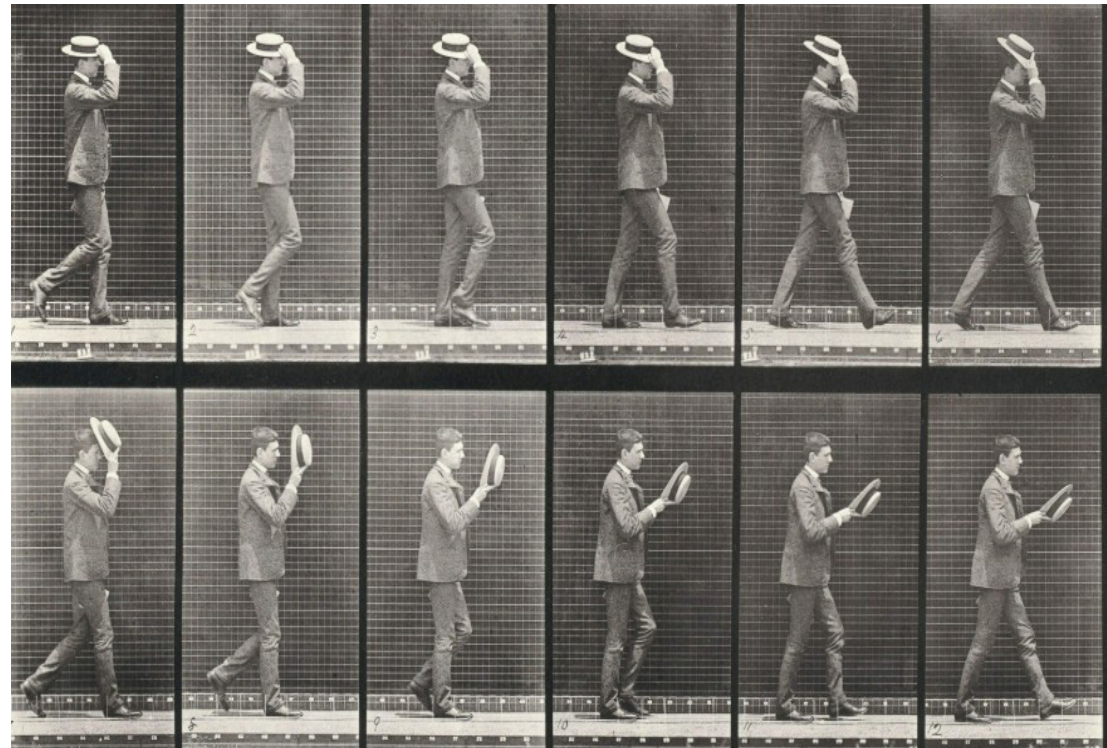


Fig. 6. E. Muybridge, Chronophotograph of a man walking.



Fig. 7. H. Isler, Roof structure of Deitingen Süd Service Station, Switzerland.

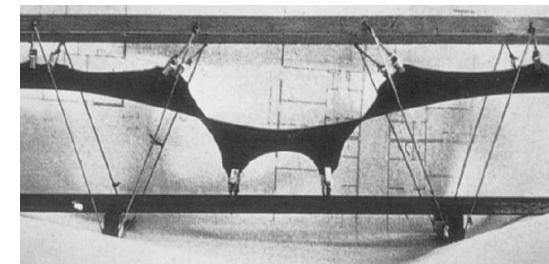


Fig. 8. S. Musmeci, Neoprene study model for the Basento Bridge.

DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.36.2026.18>

when presenting the first digital drawing system in 1963—Sketchpad (Sutherland, 1963)—Ivan Sutherland questioned whether the process should still be called “drawing,” given that no physical graphic mark was deposited on a material surface and that all information remained stored solely within computer memory.

In a section significantly entitled *Drawing vs. Moving* within his doctoral dissertation, where the functioning of Sketchpad was explained, Sutherland reflected on the meaning of drawing in its digital translation:

“An idea that was difficult for the author to grasp was that there is no state of the system that can be called a ‘drawing.’ Conventionally, drawing is an active process that leaves a trace of carbon on paper. With a computer sketch, however, every line segment is straight and can be repositioned by moving one or both of its endpoints” (Sutherland, 1963, 102).

The operation of physical materialization, therefore, occurs only at a later stage, when the graphic document is transferred from the electronic processing system to an output device for its final transcription onto paper.

INNOVATIVE METHODOLOGIES AND DRAWING IN ABSENTIA

Among the many new operational approaches emerging within the field of technological innovation for representation, at least three are particularly significant in highlighting forms of drawing in absentia—that is, processes in which the contribution of manual drawing is marginal or even entirely absent.

DRAWING WITH VIRTUAL REALITY

One of these approaches still involves the use of the hand, although tracing is mediated by tools very different from traditional ones. This is the case of haptic interfaces, especially—but not exclusively—those connected to virtual reality systems. Such technologies allow users wearing immersive VR headsets to draw freehand directly within three-di-

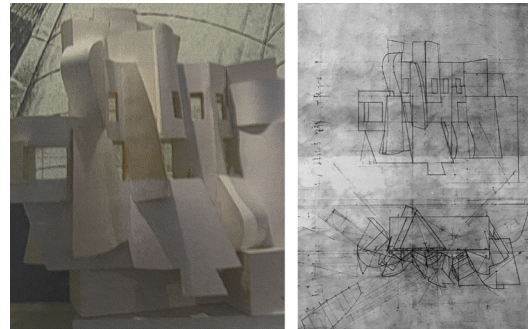


Fig. 9. F. O. Gehry, Study model and orthographic projections derived from the image of the Weisman Art Museum model, Minneapolis.

dimensional space, while also enabling digital modeling through extrusion and Boolean operations using handheld motion controllers equipped with buttons and joysticks typically employed for navigation and movement.

Designing a space while being immersed within it and controlling its geometry in real time represents a highly innovative methodology, entirely distinct from traditional practices. Zaha Hadid Architects has been using such interfaces for several years, enabling a form of modeling that may be described as experiential and which, when combined with multi-user communication environments such as the Metaverse, opens unprecedented possibilities for collaborative and participatory design.

In this context, it is useful to distinguish between immersive modeling and collaborative design in virtual environments. Platforms such as Gravity Sketch allow users to create, modify, and visualize models in virtual reality, transferring the graphic act from the flat screen to the surrounding three-dimensional space. Lines, surfaces, and volumes can be drawn, moved, scaled, or corrected within a stereoscopic scene, transforming movement into graphic gesture (fig. 10).

Other software radicalizes this condition even further. Arkio, for example, enables the importation of models from digital architectural-design environments, allowing them to be explored both as reduced-scale objects and, through mixed reality,

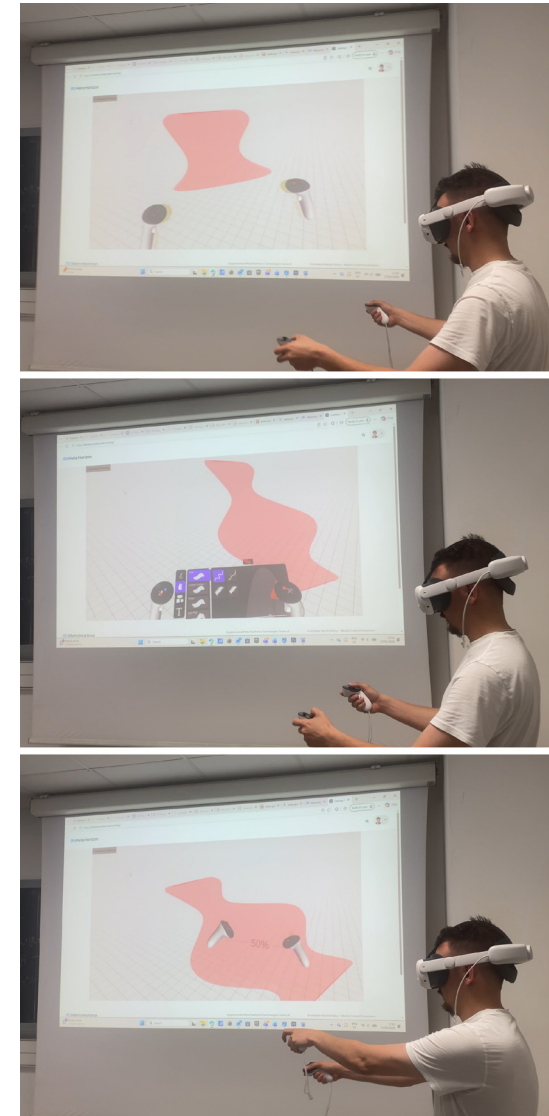


Fig. 10. Digital modeling with Gravity Sketch in a Virtual Reality environment (elab. Ferdinand Rexhaj).

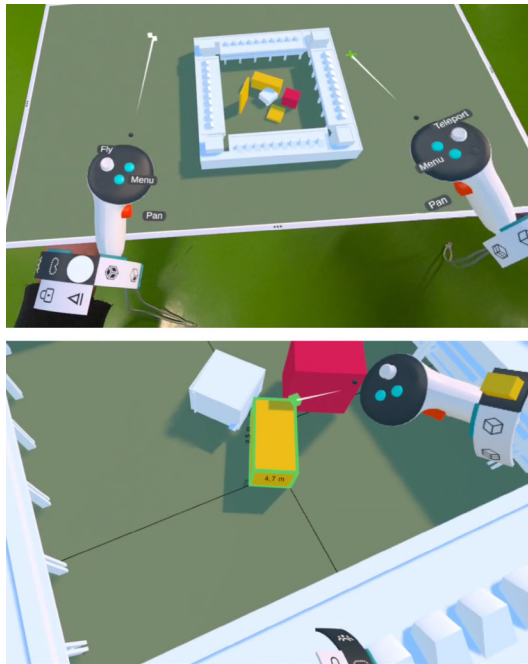


Fig. 11. Digital modeling with Arkio in a Virtual Reality environment (elab. Ferdinand Rexhaj).

at full scale. The traditional study model used by architects to understand spatial and formal relationships can thus become a 1:1 mock-up, capable of being inhabited, measured through bodily experience, and modified directly (fig. 11).

A paradoxical condition emerges: on the one hand, paper, pencil, and the physical resistance of the drawing surface disappear; on the other, hand movement, muscular memory, perception of scale, and bodily orientation regain central importance. Virtual reality therefore constitutes a form of drawing without matter, but not without corporeality.

DRAWING WITH PARAMETRIC DIAGRAMS

A second direction concerns node-based computa-

tional design and, more generally, the parametric and algorithmic procedures of architectural modeling. In this field, form is not produced through the direct tracing of lines, surfaces, or volumes, but through the construction of networks of logical, geometric, and numerical relationships.

Environments such as Grasshopper, Dynamo, Blender Geometry Nodes, Houdini, and other parametric workflows generate spatial configurations through the connection of operators, data, functions, and parameters (Leach, Yuan, 2017). Points, curves, surfaces, vectors, transformations, rotations, extrusions, attractors, numerical series, and geometric constraints are organized into nodal structures capable of producing variable and continuously updatable forms (Tedeschi, 2014). Alphanumeric coding makes it possible to construct models without relying on conventional graphic interfaces, operating instead through tree-like diagrammatic structures that convey equations and numerical values (Kolarevic, 2003).

Within these systems, drawing no longer coincides with the static representation of a completed form but becomes the definition of a process. The node partially replaces the line as the fundamental operative unit: it represents not merely a sign but a function, relationship, or transformation. The generated form is therefore the temporary outcome of a chain of modifiable dependencies. By altering a parameter, distance, rotation angle, subdivision value, or distribution rule, the entire system can transform while maintaining internal coherence. The project is not directly drawn; rather, drawing emerges a posteriori through visual programming governed by a grammar of connections (Carpo, 2011).

While Grasshopper played a central role in disseminating computational design by making visual parametric logic accessible without requiring textual coding, Dynamo extended these principles into BIM environments, linking geometry, data, parametric families, and information-processing procedures. In software such as Blender Geometry Nodes and Houdini, form is generated through force fields, iterative processes, distributions, sim-

ulations, and progressive transformations. In every case, drawing becomes an operational diagram containing the instructions necessary to generate form.

From one perspective, similar methodologies can be recognized in certain design procedures predating digital tools. Peter Eisenman's early House projects, for example, relied upon rigorous operations of rotation, translation, interpenetration, scaling, decomposition, and superimposition, generating architectures that were syntactically coherent even when semantically elusive. Here, drawing documents the logical process through which architecture is generated rather than merely representing the final building (Eisenman, 1999; Allen, 1998; Sdegno, 2001).

Patrik Schumacher is among the most influential theorists of Parametric architecture. As Zaha Hadid's principal collaborator and later director of Zaha Hadid Architects, Schumacher has proposed Parametricism as the architectural style of the twenty-first century. Following the debate initiated at the 11th Venice Architecture Biennale in 2008 (Schumacher, 2008), he further developed these ideas in *The Autopoiesis of Architecture* (2011, 2012) and *Parametricism 2.0* (2016).

An emblematic example of parametric design can be found in the Generali Tower within Milan's City-Life complex, designed by Zaha Hadid Architects and completed in 2017. Nicknamed *Lo Storto* ("The Twisted One") because of its torsional geometry, the building's morphology derives directly from a transformational algorithm that governs the progressive rotation of both its form and structural elements (fig. 12).

Academic exercises in parametric modeling are also frequently employed to understand historical form-finding processes developed through traditional techniques, including those of Gaudí, Otto, and Musmeci. The computational reconstruction of Musmeci's Basento Bridge, for example, reveals the network of nodes and relationships underlying its form and remains one of the most studied examples of computational form generation (Otto, Rasch, 1995) (fig. 13).

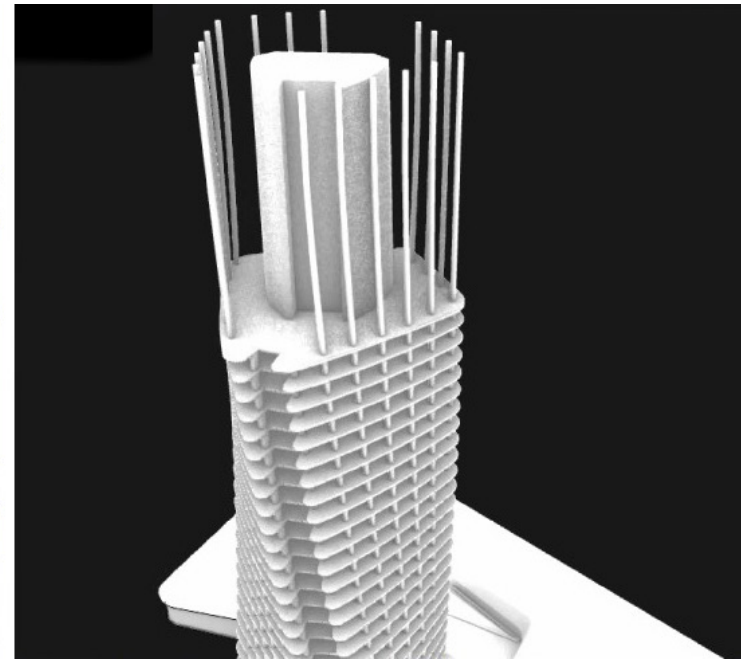
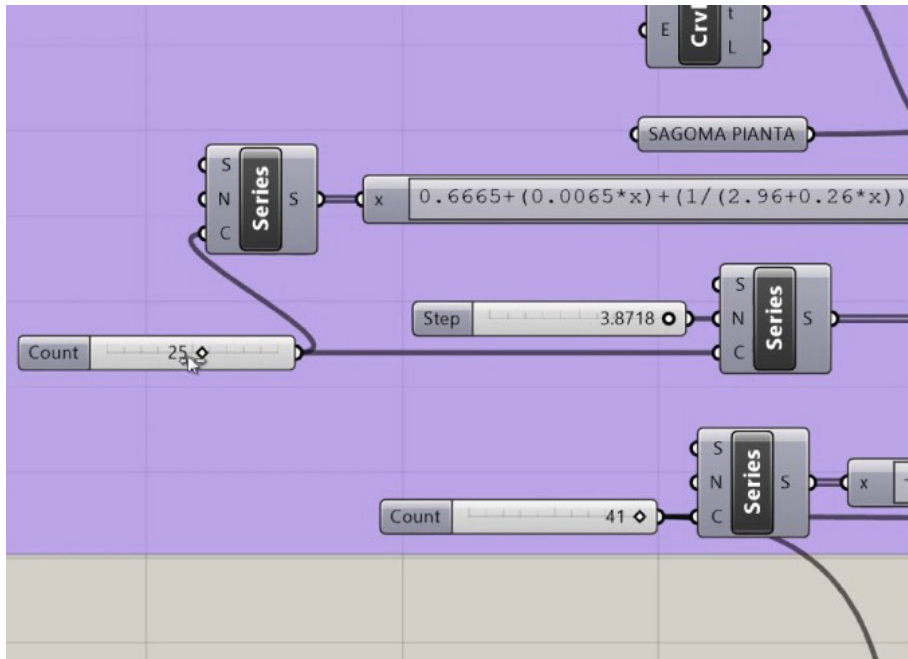


Fig. 12. Partial Grasshopper node diagram for the generation of the Generali Tower model by Zaha Hadid in the CityLife district of Milan, and corresponding digital model (elab. Eze Elarab Cherqaoui).

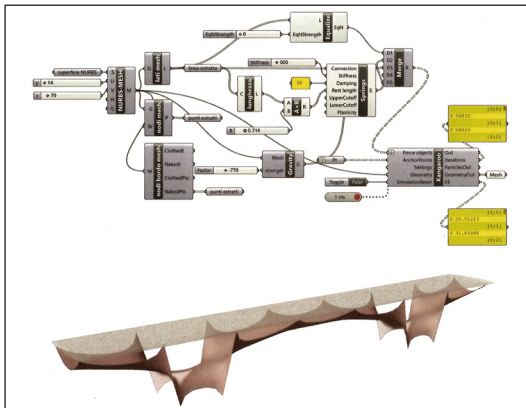


Fig. 13. Grasshopper node diagram for the generation of Sergio Musmeci's Basento Bridge model (elab. Elena Zanon).

Ultimately, node-based computational design follows a logic of continuous transformation in which the hand is largely absent from the compositional process. The hand becomes instead the operator of an abstract diagram whose outcomes emerge from data, equations, and numerical values capable of producing even unforeseen morphological configurations.

DRAWING WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The third direction concerns artificial intelligence, which develops knowledge from data acquired either through machine-learning systems or deep-learning neural networks (Russell, Norvig, 2021; Leach, 2026). In the first case, machine learning relies on data-driven algorithms that generally require human-designed features or supervision,

whereas in the second, deep-learning systems based on convolutional neural networks (CNNs) are capable of automatically learning hierarchical feature representations and are particularly effective in visual tasks relevant to architectural representation [Bishop, 2023].

In simplified terms, machine learning resembles a talented student who still requires guidance from a teacher, whereas deep learning resembles a student capable of independently reaching solutions through the analysis of vast quantities of information and examples. In both cases, traditional notions of authorship become less evident, while image generation follows generalized protocols that exclude direct intervention by the operator (Carpo, 2023).

Platforms such as Midjourney and ArtSmart transform brief textual prompts into evocative images,



Fig. 14. Photograph of the composite capital under investigation.

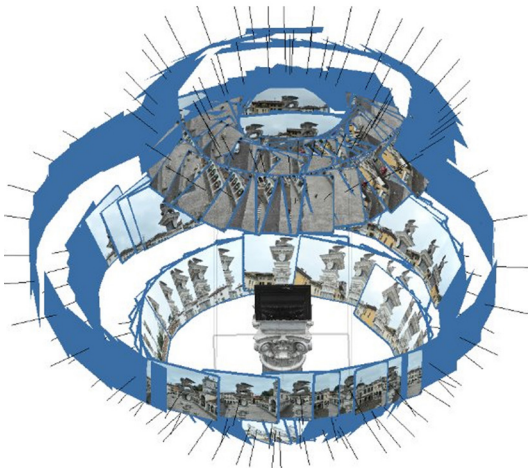


Fig. 15. Structure from Motion workflow for the generation of the composite capital model (elab. Ferdinand Rexhaj).



Fig. 16. Comparison between the composite capital model generated through the Structure from Motion procedure (left) and the model generated from a single photograph using AI (right) (elab. Ferdinand Rexhaj).



generating different outcomes even when the same prompt is repeated. AutoDraw, by contrast, recognizes freehand sketches and proposes refined graphic interpretations based on them. More significant, however, is the transformation of photographs into three-dimensional models through AI-driven recognition and association with existing datasets. A composite capital, for example, may be reconstructed with remarkable accuracy from a single photograph (fig. 14), generating a stereometric model in only a few seconds through AI-based single image 3D technologies.

When compared with conventional Structure from Motion procedures—which typically require hundreds of photographs and extensive processing (fig. 15)—the results are often comparable and occasionally superior. The distinction, however, is fundamental: AI-generated reconstructions do not constitute metric surveys, since they are based not on measurement but on plausible reconstruction derived from visual information, statistical models, and learned morphological regularities. The image is not simply translated into geometry; rather, it is

interpreted by a system that infers depth, surface continuity, symmetries, curvatures, and details not always explicitly documented in the original photograph (fig. 16).

Further developments concern raster-to-vector conversion, whereby images are translated into lines, contours, polylines, and surfaces exportable to CAD environments, while simultaneously recognizing elementary geometric forms such as triangles, polygons, circles, and ellipses. Ongoing research also focuses on the recognition of volumetric forms from point clouds through intelligent segmentation within Scan-to-BIM workflows.

Another area of transformation concerns architectural rendering and animation. Traditionally, rendering requires a three-dimensional model to which materials, lighting, viewpoints, and computational parameters are applied. With the introduction of generative systems based on textual prompts, this process is being partially reconfigured. Final images may now be generated or modified not only through technical settings but also through linguistic instructions capable of altering

atmosphere, illumination, viewpoints, temporal references, and visual quality.

Similarly, generative systems can create animated sequences from static views or individual frames, simulating movement through architectural space, atmospheric changes, camera paths, and progressive scene transformations (fig. 17). Such animations construct plausible visual narratives, even when they do not constitute rigorous technical verification, foreshadowing transformations already becoming evident within the film industry.

CONCLUSIONS

The relationship between architecture and drawing has historically been far more complex than traditional interpretations suggest. Architectural ideas do not necessarily coincide with their immediate graphic translation. Numerous examples—from Walter Gropius and Oscar Niemeyer to Antoni Gaudí, Frei Otto, Sergio Musmeci, and Frank O. Gehry—demonstrate the existence of design processes grounded in mental prefiguration, physical experimentation, and indirect methods of form generation. In these cases, drawing does not disappear; rather, it is postponed, delegated, or reconstructed through alternative cognitive devices. The notion of drawing in absentia thus enables many historical experiences to be reinterpreted as anticipations of practices that have become central within contemporary digital culture. Funicular models, elastic membranes, minimal surfaces, and study maquettes are not merely alternative tools of design verification; they are genuine generative systems in which form emerges through relationships, constraints, and processes.

The three areas discussed here suggest possible future directions for drawing in which manual execution becomes only partially present. Immersive virtual-reality technologies relocate the design gesture into three-dimensional space, restoring the importance of bodily perception despite the absence of a material support. Parametric computational design replaces the representation of form with the definition of the rules that generate it, transforming the project into a dynamic system

of relationships. Artificial intelligence introduces a further level of complexity by enabling the production of images, models, and simulations through procedures that require neither drawing nor direct modeling but instead rely upon data, examples, and linguistic instructions.

In this scenario, drawing does not appear destined to disappear but rather to redefine its role (Scheer, 2014). From a tool of representation, it increasingly becomes a device for controlling, interpreting, and critically evaluating generative processes. The central question is therefore not the survival of drawing but the ability of the discipline of representation to understand and govern new forms of visual knowledge production. If the twentieth century progressively separated the idea from the graphic gesture, the twenty-first century seems to be moving toward a condition in which words, algorithms, data, models, and immersive environments collectively contribute to the construction of architectural projects. Understanding this transformation means questioning not only the tools of drawing but also the very meaning of representation in the age of artificial intelligence and computational design.



Fig. 17. Generation of an animated sequence from the painting "Ideal City View" preserved at the Galleria Nazionale delle Marche di Urbino. (elab. Ferdinand Rexhaj).

REFERENCES

Allen, S. (1998). *Diagrams Matter*. Any, 23, 16-19.

Bishop, C.M. (2023). *Deep Learning: Foundations and Concepts*. Cham: Springer.

Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge MA-London: MIT Press.

Carpo, M. (2023). *Beyond Digital. Design and Automation at the End of Modernity*. Cambridge, MA-London Eng: The MIT Press.

Chasles, M. (1837). *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, Bruxelles: M. Hayez.

Collins, G.T. (1963). *Antonio Gaudi: Structure and Form*. Perspecta, 8. Eisenman, P. (1999). *Diagram Diaries*. New York: Universe Publishing.

Gropius, W. (2004). *La nuova architettura e il Bauhaus*. Milano: Abscondita (prima ed. *The New Architecture and The Bauhaus*. London: Faber and Faber, 1935).

Gropius, I. (1927). *Tagebuch 1923-1928*. Berlin: Bauhaus-Archiv, manoscritto inedito, nota del 17 ottobre 1927.

Gropius, W. & Harkness S.P. (eds.) (1966). *The Architects Collaborative 1945-1965*. Teufen: Arthur Niggli Ltd.

Guccione, M. (a cura di) (2004). *Il ponte e la città*. Sergio Musmeci a Potenza. Roma: Gangemi.

Isaacs, R. (1983). *Walter Gropius Der Mensch und sein Werk*. Berlin: Gebrüder Mann.

Kolarevic, B. (ed.) (2003). *Architec-*

ture in the Digital Age: Design and Manufacturing. New York-London: Spon Press.

Leach, N. (2026). *L'architettura nell'era dell'intelligenza artificiale*. Siracusa: LetteraVentidue.

Leach, N. & Yuan, P.F. (2017). *Computational Design*. Shanghai: Tongji University Press.

Lindsey, B. (2002). *Gehry digitale. Resistenza materiale/costruzione digitale*. Torino: Testo&immagine.

Monge, G. (1799). *Géométrie descriptive. Leçons données aux Écoles normales, l'an III de la République*, Paris: Baudouin.

Nerdinger, W. (1993). *Walter Gropius. Opera completa*. Milano: Electa.

Neufert, E. (1936). *Bauentwurfslehre: Grundlagen, Normen, Vorschriften über Anlage, Bau und Einrichtung der Gebäude*. Berlin: Verlagsanstalt Otto Stollberg.

Niemeyer, O. (1980). *Metodo de trabalho*. Módulo, 58.

Niemeyer, O. (2012). *Il mondo è ingiusto*. Milano: Mondadori, Milano, ebook.

Otto, F. & Rasch, B (1995). *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*. Stuttgart-London: Edition Axel Menges.

Russell, S. & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: a modern approach*. Milano: Pearson.

Scheer, D. R. (2014). *The Death of Drawing, Architecture in the Age of Simulation*. London and New York: Routledge.

Schumacher, P. (2008), *Parametricism as Style – Parametricistic*

manifesto. <https://patrikschumacher.com/parametricism-as-style-parametricist-manifesto/>

Schumacher, P. (2011). *The Autopoiesis of Architecture, Vol. I: A New Framework for Architecture*. Chichester: John Wiley & Sons.

Schumacher, P. (2012). *The Autopoiesis of Architecture, Vol. II: A New Agenda for Architecture*. Chichester: John Wiley & Sons.

Schumacher, P. (2016). *Parametricism 2.0. Architectural Design*, 86, 2.

Sdegno, A. (2001). *e-architecture. L'architettura nell'epoca del computer*. Casabella, 691, 58-67.

Sutherland, I.E. (1963). *Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System*. Cambridge (MA): Massachusetts Institute of Technology (MIT), PhD thesis.

Tedeschi, A. (2014). *AAD_Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using Grasshopper*. Brienza: Le Penseur.

Vagnetti, L. (1965). *Il linguaggio grafico dell'architetto, oggi*. Genova: Vitali e Ghianda.

Zanon, E. (2020). *Il ponte sul Baisento di Sergio Musmeci*. Brienza: Le Penseur.

Disegnare senza. Dalla realtà virtuale all'intelligenza artificiale

Nell'evoluzione del rapporto tra architettura e rappresentazione, la tradizionale centralità del disegno manuale è confrontata con altre metodologie del processo progettuale. A partire dai casi emblematici di Walter Gropius e Oscar Niemeyer, viene evidenziato come l'idea architettonica possa nascere anche in assenza di una trascrizione grafica immediata, attraverso processi di prefigurazione mentale, modelli fisici o sistemi collaborativi di elaborazione.

Il "disegno in absentia" attraversa le sperimentazioni di Antoni Gaudí, Frei Otto, Sergio Musmeci e Frank O. Gehry che, grazie all'impiego di modelli funicolari, membrane elastiche e plastici di studio, anticipano molte logiche oggi proprie della modellazione digitale e parametrica. Obiettivo è approfondire alcune direzioni contemporanee della rappresentazione architettonica che non fanno uso del disegno diretto anche se coadiuvato da dispositivi di puntamento da scrivania: la realtà virtuale (VR) immersiva, il disegno computazionale parametrico e l'intelligenza

artificiale generativa. Nel primo caso, strumenti VR consentono di disegnare direttamente nello spazio tridimensionale mediante interfacce aptiche, trasformando il gesto grafico in esperienza corporea immersiva. Nel secondo, ambienti come Grasshopper, Dynamo o Houdini sostituiscono la linea con diagrammi operativi e relazioni algoritmiche, facendo del progetto l'esito di processi parametrici modificabili. Infine, i sistemi di machine learning e deep learning ridefiniscono radicalmente la produzione dell'immagine e del modello, introducendo pratiche di generazione automatica, riconoscimento di forme tridimensionali, conversione di immagini in modelli e rendering guidati da prompt testuali.

Questi sviluppi rivelano una progressiva transizione dal disegno inteso come atto diretto di rappresentazione verso nuove forme di mediazione progettuale, nelle quali il progetto architettonico emerge attraverso processi di simulazione, calcolo computazionale e generazione intelligente



Alberto Sdegno
Professore ordinario di Disegno presso l'Università di Udine, dove è presidente dei corsi di laurea in Architettura. È autore, coautore o curatore di oltre 200 pubblicazioni scientifiche, tra cui *Le Corbusier Reloaded. Disegni, modelli, video* (2015) e *Città ideali, città virtuali* (2025). Svolge attività didattica, di ricerca e di divulgazione sulle tecnologie avanzate per la rappresentazione dell'architettura.



Ferdinand Rexhaj
Dottorando del Corso di Dottorato interateneo in Ingegneria Civile-Ambientale e Architettura tra le Università di Udine e Trieste. La sua attività è svolta nel campo del rilievo, della rappresentazione e della modellazione digitale 3D del patrimonio architettonico, integrando HBIM, intelligenza artificiale, VR/AR e stampa 3D, con particolare attenzione alla ricostruzione prospettica di immagini pittoriche.

Keywords:
Intelligenza Artificiale; Architettura Parametrica; Realtà Virtuale; Disegno; Modellazione

INTRODUZIONE

In una lettera del 21 ottobre 1907 alla madre, Walter Gropius scriveva che non era "in grado di tirare nemmeno una linea dritta" aggiungendo poco oltre: "un crampo mi afferra subito la mano, continuo a spezzare la punta delle matite e dopo cinque minuti devo riposarmi" (Isaacs, 1983, 91). Qualche riga prima aveva anticipato le sue preoccupazioni sul fatto che questo impedimento potesse impedirgli di giungere alle sue aspirazioni: "La mia assoluta incapacità di mettere su carta anche il più semplice disegno mi toglie molti piaceri e spesso mi fa temere per la mia professione futura" (Isaacs, 1983, 91). La sua difficoltà nel tracciare linee su di un foglio di carta è nota, tanto che – anche da studente universitario – aveva sempre bisogno di un disegnatore che lo assistesse per la redazione dei grafici.

Gropius non era l'unico architetto che progettava senza utilizzare direttamente alcuna forma di rappresentazione grafica. Il forte livello di astrazione nella predisposizione delle sue opere gli consentiva di prefigurare un'idea compositiva senza tracciare alcun disegno preventivo, con un forte livello di concettualizzazione che ne permetteva la costruzione geometrica solo con l'ausilio dell'elaborazione mentale e senza un preliminare schizzo. Singolari infatti sono le parole che scrisse in risposta alla richiesta di disegni da parte di Luigi Vagnetti, che stava preparando un volume dedicato al disegno degli architetti: "Io non posso inviare alcun disegno, perché non ne faccio mai, ed i grafici rappresentativi nel mio ufficio sono eseguiti da altre persone" (Vagnetti, 1965, 27). Non a caso Vagnetti pubblicò disegni esecutivi dello studio, come rappresentativi dell'attività grafica di Gropius (fig. 1). Probabilmente se Gropius si fosse trovato ad operare oggi si sarebbe fatto aiutare dal prompting, ovvero dalla descrizione testuale che viene predisposta per un utilizzo con programmi intelligenti di deep learning che considerano tale richiesta una procedura per tradurre le parole in un algoritmo, per generare un'immagine, un modello o un'animazione. D'altronde il suo lavoro mentale descriveva immediatamente il suo interesse principale che era quello di pensare all'industrializzazione del progetto archi-

tettonico – un BIM ante litteram – dal momento che proprio Gropius vedeva nella produzione in serie la chiave di volta lanciata dalla sfida della modernità. Fu forse anche questo il motivo per cui Frank Lloyd Wright nel 1937 si rifiutò di incontrarlo e in una conferenza del 1939 definì "l'International Style di Le Corbusier e Gropius come una pura espressione del dominio della macchina sull'uomo" (Nerdinger, 1993, 37). Le memorie della moglie Ise confermano le frequenti assenze del marito dallo studio (Gropius, 1927), anche a causa dei suoi molti impegni istituzionali, per cui i suoi collaboratori – tra i quali un valente Adolf Meyer e successivamente un rigoroso Ernst Neufert, di lì a poco autore di uno dei più importanti manuali tecnici di progettazione (Neufert, 1936) – applicavano rigorosi principi di standardizzazione compositiva (Gropius, 2004) su progetti che spesso non venivano nemmeno visionati dallo stesso Gropius (Nerdinger, 1993, 40). Non a caso dopo il suo trasferimento negli Stati Uniti, a causa della chiusura del Bauhaus per le leggi razziali, decise di fondare uno studio con un nome pertinente con questo suo indirizzo di lavoro, The Architects Collaborative (TAC) (Gropius, Harkness, 1966), in cui la caratteristica peculiare riposava proprio in un'organizzazione molto disciplinata del lavoro in relazione al processo di sviluppo dell'idea progettuale.

ARCHITETTURE SENZA DISEGNI

Pur con una filosofia del tutto differente, anche Oscar Niemeyer concepiva il progetto inizialmente solo come prefigurazione mentale, di solito facendo roteare le mani nel vuoto – pur essendo per la verità un abile disegnatore – e solo in un secondo momento affina il concetto con l'elaborazione grafica. Nei ricordi dell'architetto non mancano a tal riguardo riferimenti alla sua infanzia: "Disegnavo senza matita e senza foglio. Disegnavo in aria, con una mano alzata. Mia madre mi chiedeva: 'Cosa stai facendo, ragazzino?'. E io rispondevo: 'Sto disegnando'. Lei sorrideva, le pareva una cosa buffa. Talvolta ripensavo al disegno che avevo fatto e allora ci tornavo su e lo correggevo, come se realmente esistesse! Ho continuato a disegnare prima nella

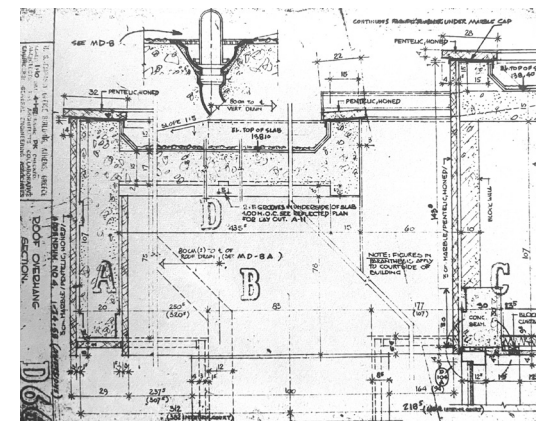


Fig. 1. W. Gropius, Disegno di particolare costruttivo.

mia testa, come facevo da bambino, come fosse un passatempo, un passatempo a cui mi sono dedicato per tutta la vita" (Niemeyer, 2012, 30). In questo caso, però, all'allografia esercitata da Gropius, che vedeva in un disegno mentale trasmesso secondo principi applicativi ben definiti ai suoi collaboratori, fa da contraltare una marcata sensibilità autoriale di Niemeyer, che tracciava il lavoro con schizzi rapidi, ma solo dopo la maturazione dell'idea: "lascio lavorare il cervello – scriveva – e per qualche giorno, senza concedermi neanche il riposo not-

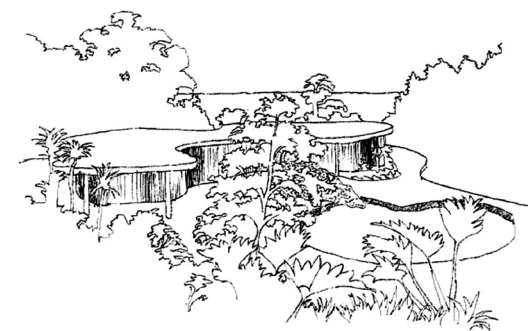


Fig. 2. O. Niemeyer, Schizzo di Casa das Canoas a Rio de Janeiro.

turno, osservo il problema come un'equazione da risolvere" (Niemeyer, 1980). Non a caso nel ricordo di quest'ultimo di un incontro proprio con Gropius in visita nella sua Casa das Canoas a Rio de Janeiro (fig. 2) – le cui forme organiche riflettono le suggestioni del paesaggio circostante, oggi sede della Fondazione a lui dedicata – l'ospite sentenziò che la casa era "molto bella, ma non moltiplicabile" (Niemeyer, 2012, 137), affermazione che indubbiamente stupì l'architetto sudamericano, che riportò l'avvenimento in varie memorie. Difficile è immaginare Niemeyer con un casco VR e un'interfaccia di disegno nello spazio virtuale tridimensionale, anche se il modo con il quale ci ha descritto ciò che faceva da giovane risulta essere simile a ciò che viene fatto con software quali Gravity Sketch o Open Brush, con i quali è possibile costruire modelli a geometria libera proprio a partire da linee che vengono tracciate con i dispositivi aptici dal disegnatore nello spazio immersivo.

Né bisogna tralasciare il fatto che anche l'insegnamento della geometria descrittiva che, come è noto ha come obiettivo principale "rappresentare con esattezza, su disegni che hanno solo due dimensioni, gli oggetti che ne hanno tre" (Monge, 1799, 1-2) trovava nella prefigurazione mentale un esercizio indispensabile. Lo stesso Monge, infatti, nel corso delle sue lezioni all'École Polytechnique, "sapeva far concepire nello spazio, ad un grado inaudito, tutte le forme più complicate dell'estensione e penetrare nelle loro relazioni generali e nelle loro proprietà più nascoste senz'altro soccorso che quello delle sue mani, i movimenti delle quali assecondavano amabilmente le parole" (Chasles, 1837, 209). Anche la rappresentazione più precisa, quindi, richiede l'allenamento intellettuale per riuscire a vedere "senza il disegno", dando libero spazio all'immaginazione. Anche in questo caso l'elaborazione in Realtà Virtuale potrebbe aiutare a realizzare modelli con operazioni di sculpting 3D, come ad esempio ShapeLab o Substance 3D Modeler, facendo uso proprio di tecnologie di hand tracking e di riconoscimento della gestualità fisica.

Ricordiamo anche il grande contributo dei modelli fisici come strumento di anticipazione della trascrizione grafica. Si pensi ai modelli funicolari sospesi

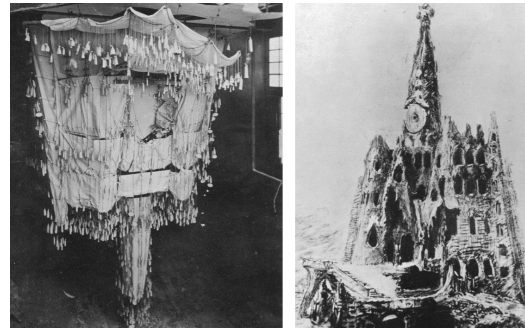


Fig. 3. A. Gaudí, Modello funicolare e schizzo per la Colònia Güell.



Fig. 4. F. Otto, Modello di studio a pellicola di sapone.

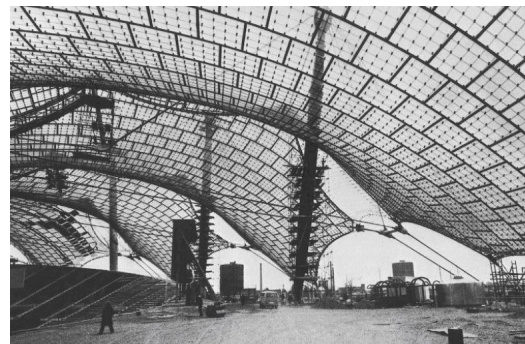


Fig. 5. F. Otto, Copertura per lo Stadio Olimpico di Monaco di Baviera.

di Antoni Gaudí, realizzati grazie a sistemi costituiti da catene e funi in sospensione ai quali erano applicati sacchetti di piombo per controllare l'equilibrio dei pesi e garantire il controllo strutturale della forma. Come ci ricorda George Collins, Gaudí era solito compilare "una tabella dei materiali da costruzione disponibili, classificati secondo il loro peso specifico e la loro resistenza ai suoi test" (Collins, 1963, 77) in modo da avere una gamma precisa di strumenti per procedere con le sue indagini, e calcolare "le spinte dei suoi archi [...] appendendo a una funicolare che rappresentava l'arco una serie di sacchi zavorrati proporzionali ai carichi che l'arco avrebbe dovuto sostenere nella realtà" (Collins, 1963, 77) (fig. 3). Il modello sospeso veniva poi fotografato e l'immagine capovolta costituiva la base conoscitiva per il disegno strutturale del prospetto/sezione dal quale poi si perveniva alla pianta.

Riferimenti diretti al meccanismo inverso dell'analisi della gravità da parte di Gaudí erano presenti nell'attività didattica e di ricerca presso l'Institute for Lightweight Structures (IL) diretto da Frei Otto presso l'Università di Stoccarda a partire dal 1964 dove venivano sperimentati – oltre alle funi catenarie – anche altri sistemi strutturali basati su superfici minime a pellicola di sapone (fig. 4), sull'analisi delle tensioni di membrane con tessuti elastici, nylon e sistemi reticolari, sull'impiego di modelli pneumatici gonfiabili ad aria compressa; ricerche che portarono anche alla progettazione e realizzazione dello Stadio Olimpico di Monaco di Baviera, tra le principali opere di Otto (fig. 5). Per la traduzione dei modelli in disegni anche in questo caso venivano utilizzate immagini fotografiche dei modelli da trattare a ricalco in fase di elaborazione grafica tradizionale ed, essendo spesso strutture a volume trasparente – costituite da elementi filiformi e da superfici non opache, come appunto quelle generate da lamine saponate – si procedeva collocando un reticolo geometrico posteriormente in modo che il disegnatore avesse già una griglia di supporto per la generazione delle proiezioni, sia in pianta che in alzato, in modo che lo spazio potesse essere misurato, con lo stesso meccanismo analitico col quale Eadweard Muybridge circa cento anni prima aveva misurato il tempo, nelle sequenze in cui, grazie alla

cronofotografia, i movimenti di persone e animali, erano registrati rigorosamente attraverso scatti progressivi (fig. 6).

Negli stessi anni in cui Frei Otto sperimentava queste metodologie, altri autori coetanei di Otto, si dedicavano a questo tipo di ricerca. Basti pensare a Heinz Isler e a Sergio Musmeci entrambi orientati allo studio del minimo strutturale attraverso procedimenti sperimentali simili basati su gusci membranali in tessuto sospeso e superfici di sapone: la copertura del Deitingen Süd Service Station in Svizzera (fig. 7) del primo o il noto Ponte sul Basento a Potenza del secondo (Guccione, 2004) risultano essere esempi estremamente significativi. In particolare nel caso del secondo le differenti indagini, basate prima sulla soluzione saponata e poi sui modelli in neoprene (fig. 8), consentono di misurare e verificare con maggiore stabilità i risultati della sperimentazione. Il modello in gomma tesa, infatti, può essere rilevato procedendo con lo stesso meccanismo impiegato per la progettazione degli scafi nell'ingegneria navale, utilizzando sezioni trasversali, poi raccordate con quelle longitudinali (Zanon, 2020, 104), grazie all'impiego di listelli flessibili, nella logica delle spline.

Similmente anche Frank O. Gehry – altro architetto che ha fatto un uso preventivo del modello fisico – utilizzava gli strumenti proiettivi per ottenere geometrie altimetriche e planimetriche dei suoi progetti, a partire da plastici in scala ridotta delle varie ipotesi di progetto, prima che il computer entrasse nel suo studio. Esempi di fotografie e disegni in doppia proiezione mongiana ricavati da queste, si trovano pubblicati, come ad esempio quelli relativi al Weisman Art Museum di Minneapolis (fig. 9), realizzato nel periodo 1990-93, tra gli ultimi progetti costruiti senza l'ausilio delle tecnologie digitali (Lindsey, 2002, 40). Come è noto la conversione al digitale ha mantenuto la centralità del modello, che non viene più ridisegnato a mano ma, prima attraverso strumenti di digitalizzazione 3D nella forma di pantografi digitali e poi, non appena la tecnologia si è resa disponibile, direttamente con scanner tridimensionali (Sdegno, 2001).

Certo è che le nuove tecnologie hanno sempre di più indebolito il disegno manuale a discapito del lavoro

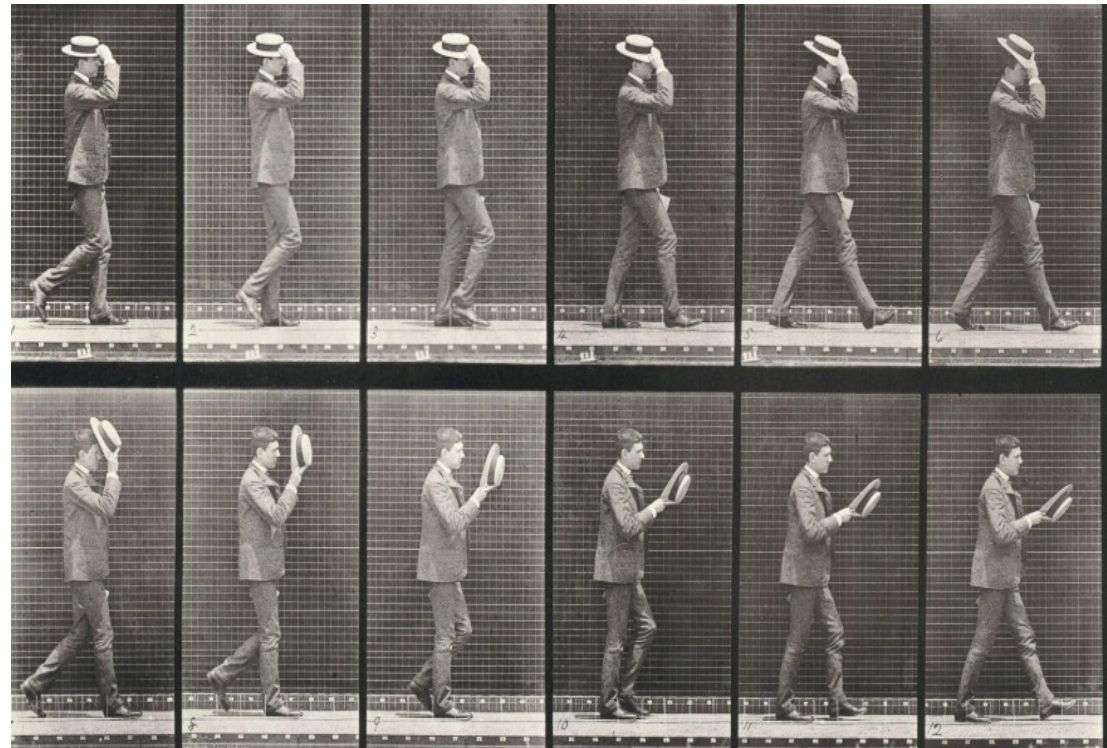


Fig. 6. E. Muybridge, Cronofotografia di uomo che cammina.



Fig. 7. H. Isler, Copertura del Deitingen Süd Service Station in Svizzera.

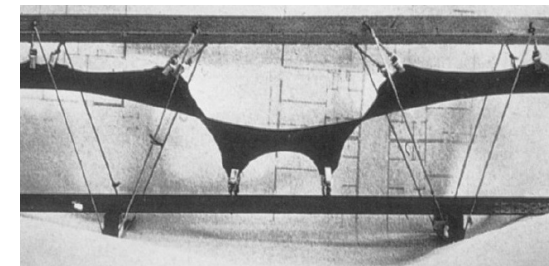


Fig. 8. S. Musmeci, Modello di studio in neoprene per il Ponte sul Basento.

assistito da elaboratore, tanto che Ivan Sutherland, presentando il primo sistema di disegno digitale nel 1963, il ben noto Sketchpad (Sutherland, 1963), si chiedeva se è corretto che sia chiamato ancora disegno, dal momento che non viene depositato alcun segno grafico su di un supporto fisico, ma il contenuto resta registrato solo nella memoria del software. In un paragrafo intitolato significativamente Drawing vs. moving, all'interno della sua tesi di dottorato in cui veniva esplicitato il funzionamento di Sketchpad, l'autore si interroga sul senso del termine disegno nella sua traduzione digitale: "Un'idea che risultava difficile da comprendere per l'autore era che non esiste uno stato del sistema che possa essere chiamato 'disegno'. Convenzionalmente, infatti, il disegno è un processo attivo che lascia una traccia di carbone sulla carta. Con uno schizzo realizzato al computer, invece, ogni segmento di linea è rettilineo e può essere riposizionato spostando uno o entrambi i suoi punti estremi" (Sutherland, 1963, 102). L'operazione di materializzazione fisica, infatti, avviene solo in un secondo momento, quando dal programma di elaborazione elettronica il documento grafico viene inviato alla periferica di output, per la definitiva trascrizione su carta.

METODOLOGIE INNOVATIVE E DISEGNO IN ABSENTIA

Tra le tante nuove modalità operative che si presentano continuamente a chi sperimenta nel campo delle innovazioni tecnologiche per la rappresentazione, ve ne sono almeno tre che presentano significativi aspetti che mettono in luce delle dinamiche di figurazione in absentia, vale a dire in cui l'apporto del disegno a mano è del tutto marginale, se non addirittura completamente assente.

DISEGNARE CON LA REALTÀ VIRTUALE

Tra queste ve n'è una che prevede ancora l'esercizio della mano, sebbene il tracciamento sia veicolato da strumenti dissimili rispetto ai tradizionali. Si tratta dell'impiego delle interfacce aptiche soprattutto ma non esclusivamente collegate a sistemi di realtà virtuale, che permettono da un lato il disegno

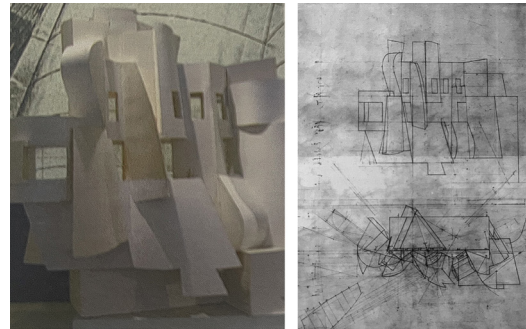


Fig. 9. F.O. Gehry, Plastico di studio e proiezioni ortogonali ricavate dall'immagine del modello del Weisman Art Museum di Minneapolis

a mano libera nello spazio tridimensionale da parte dell'utente che indossa un casco immersivo di VR; dall'altro la modellazione digitale per estrusione ed elaborazione booleana a partire da dispositivi manuali nella forma di controller di movimento – sempre all'interno di sistemi di esplorazione virtuale 3D – che dispongono di pulsanti e joystick di solito utilizzati per la navigazione e lo spostamento. Disegnare uno spazio trovandosi all'interno di esso e controllandone la geometria in tempo reale è sicuramente una metodologia ad alto contenuto innovativo, del tutto assente rispetto alle dinamiche tradizionali. Lo studio di Zaha Hadid utilizza già da alcuni anni queste interfacce, che consentono una modellazione che potremmo definire esperienziale, e che – se trasmessa anche attraverso i sistemi di comunicazione multipla quali Metaverso – proporranno un'attività collaborativa inedita nel campo della progettazione partecipata.

In questa prospettiva è opportuno distinguere tra modellazione immersiva e progettazione collaborativa in ambiente virtuale. Ambienti come VR Gravity Sketch consentono di creare, modificare e visualizzare modelli in realtà virtuale, trasferendo l'atto grafico dal piano dello schermo allo spazio tridimensionale circostante. Linee, superfici e volumi possono essere tracciati, spostati, scalati o corretti all'interno di una scena stereoscopica, trasformando il movimento in gesto grafico (fig. 10). Vi sono poi software che radicalizzano ulteriormente

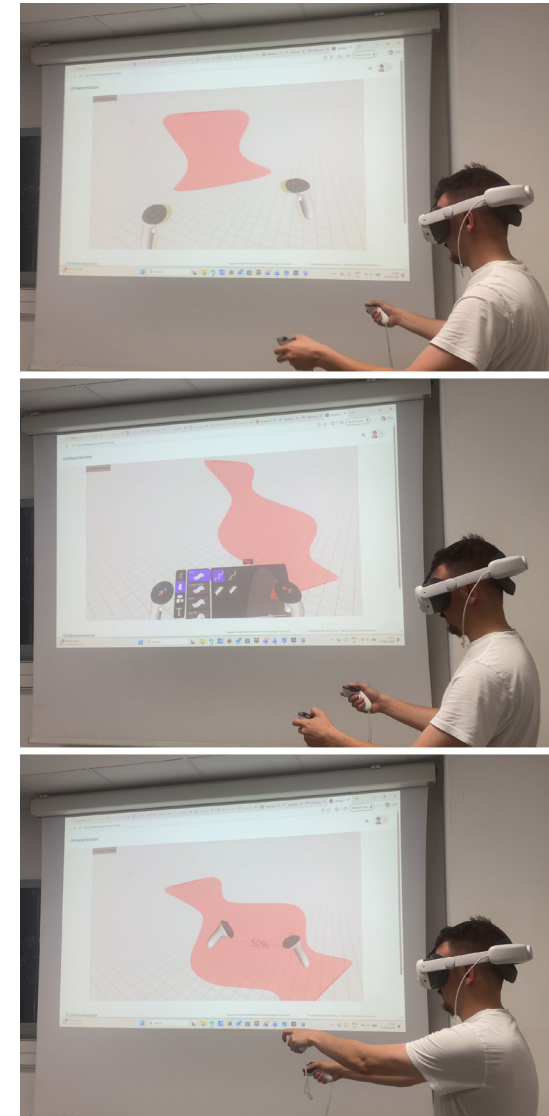


Fig. 10. Modellazione digitale con Gravity Sketch in ambiente Virtual Reality (elab. Ferdinand Rexhaj).

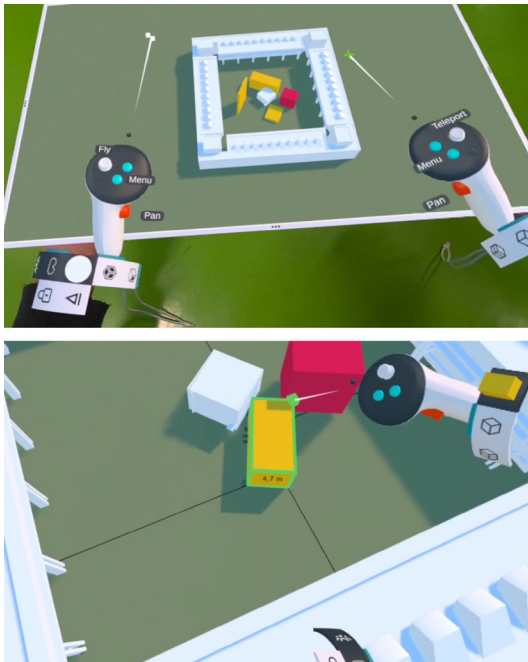


Fig. 11. Modellazione digitale con Arkio in ambiente Virtual Reality (elab. Ferdinand Rexhaj).

questa condizione, come Arkio, perché permettono di importare modelli da ambienti di disegno digitale architettonico, esplorandoli in scala ridotta, ma allo stesso tempo consentendo la visita in scala reale mediante realtà mista. Il piccolo plastico di studio, tradizionalmente utilizzato dall'architetto per comprendere la spazialità e l'articolazione formale, si può trasformare in mock-up in scala 1:1, per una fruizione attiva tanto da poter essere non soltanto osservato, ma anche abitato, misurato con il corpo e modificato (fig. 11). Una condizione paradossale si offre quindi all'osservazione attenta di chi si trova a provare queste esperienze: da un lato scompaiono carta, matita e resistenza fisica del supporto, dall'altro ritornano il movimento della mano, la memoria muscolare, la percezione della scala e

l'orientamento corporeo nello spazio. La realtà virtuale, quindi, configura un disegno senza materia, ma allo stesso tempo non privo di corporeità.

DISEGNARE CON DIAGRAMMI PARAMETRICI

Una seconda direzione riguarda il disegno computazionale basato su nodi e, più in generale, le procedure parametriche e algoritmiche della modellazione architettonica. In questo ambito la forma non viene prodotta attraverso il tracciamento diretto di linee, superfici o volumi, ma mediante la costruzione di una rete di relazioni logiche, geometriche e numeriche. Ambienti come Grasshopper, Dynamo, Blender Geometry Nodes, Houdini e alcuni workflow parametrici consentono di generare configurazioni spaziali attraverso la connessione di operatori, dati, funzioni e parametri (Leach, Yuan, 2017). Punti, curve, superfici, vettori, trasformazioni, rotazioni, estrusioni, attrattori, serie numeriche e vincoli geometrici vengono organizzati in strutture nodali capaci di produrre forme variabili e aggiornabili (Tedeschi, 2014). Codici alfanumerici consentono di strutturare informazioni per costruire modelli senza utilizzare un'interfaccia interattiva di tipo grafica, ma operando direttamente con diagrammi a strutturazione ad albero che veicolano equazioni lineari e valori numerici (Kolarevic, 2003).

In questi sistemi il disegno non coincide più con la rappresentazione statica di una forma conclusa, ma con la definizione di un processo. Il nodo sostituisce in parte la linea come unità operativa fondamentale: non descrive soltanto un segno, ma una funzione, una relazione o una trasformazione. La forma generata è quindi l'esito temporaneo di una catena di dipendenze modificabili. Cambiando un parametro, una distanza, un angolo di rotazione, un numero di suddivisioni o una regola di distribuzione, l'intero sistema può trasformarsi mantenendo una coerenza interna. Il progetto non viene disegnato, ma il disegno viene realizzato a posteriori, attraverso una programmazione visuale che prevede una grammatica di connessioni (Carpo, 2011).

Se da un lato Grasshopper ha avuto un ruolo centrale nella diffusione del Computational Design in

architettura, poiché ha reso accessibile una logica parametrica visuale senza richiedere necessariamente la scrittura diretta di codice testuale, Dynamo ha esteso tale logica all'ambiente BIM, collegando geometria, dati, famiglie parametriche e procedure di elaborazione, tali da strutturare dati informativi relativi ai volumi geometrici. Nel caso di software come Blender Geometry Nodes e Houdini, pur provenendo anche da ambiti legati alla visualizzazione e all'animazione, ci si trova di fronte alla gestione della forma generata mediante campi di forza, iterazioni, distribuzioni, simulazioni e trasformazioni progressive. In tutti questi casi il disegno diventa un diagramma operativo: non rappresenta soltanto una forma, ma contiene le istruzioni per generarla. Da un certo punto di vista possiamo riconoscere metodologie simili in alcune procedure progettuali adottate da architetti prima della diffusione degli strumenti digitali. Si pensi alle composizioni di Peter Eisenman per le prime Houses: vere e proprie concettualizzazioni teoriche che, attraverso rigorose operazioni di rotazione, traslazione, compenetrazione, riduzione di scala, scomposizione e sovrapposizione, generavano architetture sintatticamente plausibili anche se non immediatamente avvertibili dal punto di vista semantico. In questo caso il disegno non si limita a rappresentare l'edificio, ma documenta il processo logico attraverso cui l'edificio stesso viene generato (Eisenman, 1999; Allen, 1998; Sdegno, 2001).

L'architettura parametrica trova in Patrik Schumacher uno dei suoi teorici più convinti. Principale collaboratore di Zaha Hadid e, dopo la sua scomparsa, direttore dello studio Zaha Hadid Architects (ZHA) considera il Parametricismo come lo stile architettonico del XXI secolo, fornendo contenuti filosofici specifici assieme a quelli più specificatamente architettonici. Dopo aver avviato il dibattito in forma diretta nell'ambito dell'XI Biennale di Architettura di Venezia del 2008 (Schumacher, 2008), ha affrontato in alcuni contributi teorici, tra i quali due volumi dedicati a *The Autopoiesis of Architecture*, con differenti connotazioni (Schumacher, 2011; Schumacher, 2012), seguiti da *Parametricism 2.0* (Schumacher 2016), la discussione sull'argomento. Un

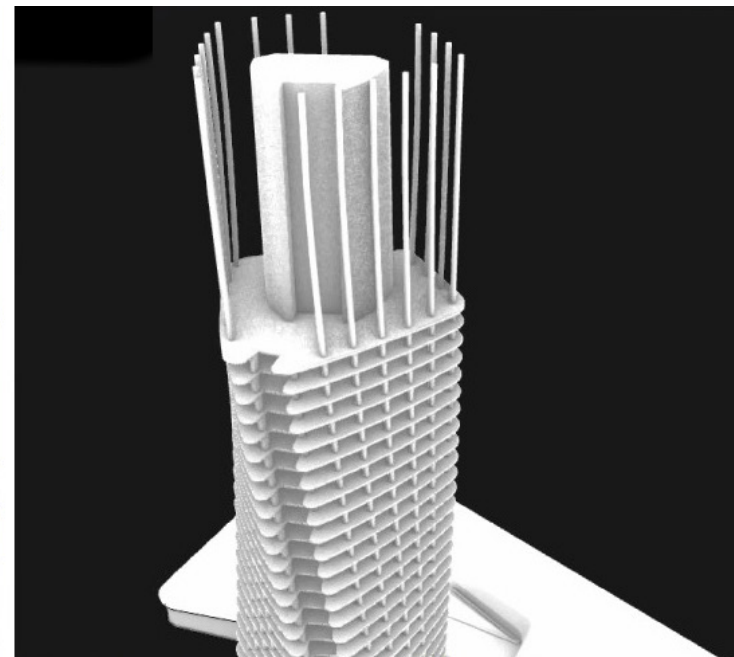
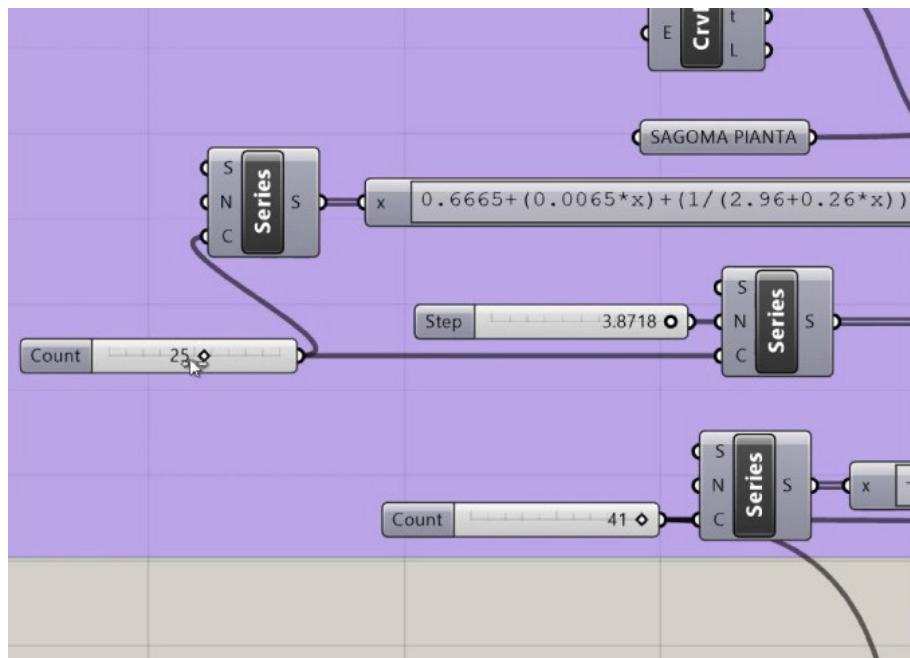


Fig. 12. Diagramma parziale a nodi in Grasshopper per la generazione del modello della Torre Generali di Zaha Hadid nel quartiere Citylife a Milano e modello relativo (elab. Eze Elarab Chergaoui).

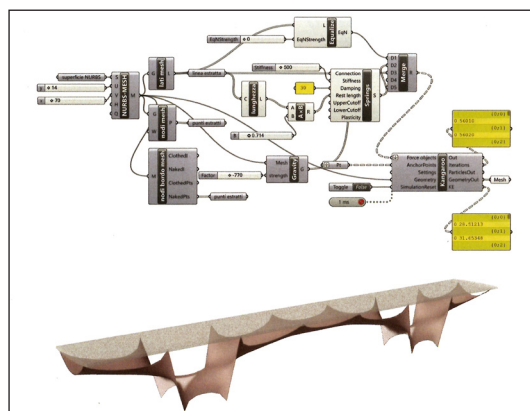


Fig. 13. Diagramma a nodi in Grasshopper per la generazione del modello del Ponte sul Basento di Sergio Musmeci (elab. Elena Zanon).

emblematico esempio di applicazione delle procedure parametriche al progetto di architettura lo si può constatare nella Torre Generali del complesso CityLife a Milano, iniziata nel 2014 e completata tre anni dopo dallo studio Hadid. Soprannominata "lo storto" per la sua configurazione a sviluppo tortile, con una progressiva rotazione attorno all'asse verticale anche degli elementi strutturali che in questo caso si inclinano per rispettare la genesi geometrica della forma, la sua morfologia è derivata direttamente da un algoritmo di trasformazione che può essere individuato grazie ad un workflow basato su codici di sviluppo parametrico presenti in software di programmazione visuale (fig. 12).

Esercizi esplorativi di modellazione parametrica sono molto frequenti anche in ambito accademico per comprendere modelli di tipo form finding pensati e realizzati con tecniche tradizionali, come

quelli di cui abbiamo parlato sopra, relativi ad opere di Antoni Gaudì, Frei Otto, Sergio Musmeci, solo per fare alcuni esempi. Basti pensare al modello computazionale del Ponte sul Basento di quest'ultimo, di cui è possibile ricostruire il sistema di nodi e relazioni che consente di modellare la sua forma: sicuramente tra i più studiati anche per il risultato ottenuto nella sua realizzazione fisica in scala reale (Otto, Rasch, 1995) (fig. 13).

In definitiva il disegno computazionale basato su nodi e parametri segue una logica della trasformazione continua, in cui la mano è assente nel processo compositivo, così come finora considerato in termini di esercizio grafico: la mano, in questo caso, diventa il collettore di un diagramma operativo che trova nei dati – siano essi equazioni che valori alfanumerici – il risultato di un procedimento rigoroso che allo stesso tempo può produrre configurazioni



Fig. 14. Immagine del capitello composito sottoposto ad indagine.

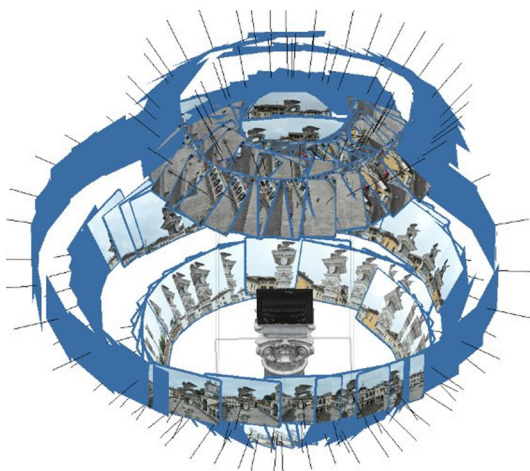


Fig. 15. Procedura Structure from Motion per la generazione del modello del capitello composito (elab. Ferdinand Rexhaj).



Fig. 16. Comparazione tra il modello del capitello composito generato con la procedura Structure from Motion (a sinistra) e il modello generato a partire da una singola fotografia con AI (a destra) (elab. Ferdinand Rexhaj).



morfologiche anche imprevedibili.

DISEGNARE CON L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Il terzo orientamento riguarda la frontiera dell'intelligenza artificiale che sviluppa conoscenza a partire da dati che vengono reperiti in rete o all'interno di reti neurali (Norvig, 2021; Leich, 2026). Nel primo caso si parla di algoritmi di Machine Learning, ovvero di apprendimento basato su dati che prevedono un controllo da parte di un agente umano senza che vi sia una esplicita programmazione al riguardo, come nel caso di filtraggio analitico di informazioni. Nel secondo caso si parla di sistemi di Deep Learning, basati su reti neurali convoluzionali (CNN - Convolution Neural Network), con apprendimento automatico da parte dell'algoritmo ed è particolarmente efficace per le attività visuali, che interessano l'area della rappresentazione (Bishop, 2023). Sintetizzando brevemente potremmo dire che nel primo caso il sistema viene equiparato ad uno studente particolarmente capace, ma che ha bisogno di indicazioni e suggerimenti da parte di un docente,

mentre nel secondo caso si tratta di uno studente che, in maniera indipendente, perviene alla soluzione del problema, grazie alla consultazione di molte informazioni ed esempi. È indiscutibile che il contenuto autoriale non è più avvertibile, e la generazione delle immagini segue dei protocolli generici che escludono l'intervento diretto dell'operatore (Carpo, 2023). È il caso di Midjourney e ArtSmart, ad esempio, dove è sufficiente un breve testo esplicativo, per ottenere una trasformazione del contenuto scritto in un'immagine evocativa che, se richiesta in forma ricorsiva, viene ad essere sempre differente. AutoDraw, invece, consente il riconoscimento di un disegno a mano libera e il suggerimento da parte dell'applicazione di generare una figurazione che possieda alcune caratteristiche dello schizzo originario. Il disegno, cioè, viene elaborato dal sistema come ulteriore affinamento dell'idea iniziale, anche se le soluzioni proposte spesso divergono dall'intenzione di partenza. Più interessante, invece, è il riconoscimento di un'immagine - come ad esempio una fotografia - e la trasformazione in modello tridimensionale, grazie alla ricerca e all'associazione

de contenuti con quelli disponibili nel dataset della rete. Un capitello composito, ad esempio, può essere riconosciuto con un ottimo livello di approssimazione a partire da un singolo scatto (fig. 14), riproponendo i contenuti stereometrici con un tempo di calcolo di pochi secondi grazie, ad esempio, all'impiego di AI photo-to-3D. Un confronto con le procedure consuete di Structure from Motion, che prevedono un campionamento di un centinaio di immagini fotografiche e il successivo trattamento (fig. 15), mostra risultati analoghi e in alcuni casi anche migliori della fotogrammetria. La differenza è però sostanziale: nel primo caso non è possibile parlare di rilievo metrico, poiché non avviene la misurazione dell'oggetto, dal momento che si tratta di una ricostruzione plausibile sulla base di informazioni visive, modelli statistici e regolarità morfologiche apprese. L'immagine, infatti, non viene semplicemente tradotta in geometria, ma è interpretata da un sistema che determina profondità, continuità delle superfici, simmetrie, curvature e dettagli non sempre pienamente documentati dalla fonte fotografica (fig. 16). Dal confronto dei modelli fisici prodotti in scala ridotta con l'impiego di procedure di stampa 3D la differenza risulta essere ancora meno marcata, tanto che i due prototipi presentano un alto livello di somiglianza.

Un ulteriore approfondimento riguarda la conversione da immagine raster a rappresentazione vettoriale, tema che già da anni viene affrontato a vari livelli e con differenti software. In questo caso l'immagine viene tradotta in linee, contorni, polilinee e superfici esportabili in formati compatibili con ambienti CAD ed è possibile anche riconoscere geometrie elementari quali triangoli, quadrati, poligoni regolari, circonferenze, ellissi. L'ulteriore sviluppo in essere prevede il riconoscimento di forme tridimensionali volumetriche a partire da nuvole di punti, in funzione di una segmentazione intelligente nella gestione di protocolli Scan-to-BIM, per l'ottimizzazione del processo informativo in ambito architettonico.

Un altro ambito riguarda il rendering e l'animazione architettonica. Tradizionalmente, il rendering richiede un modello tridimensionale al quale vengono applicati materiali, illuminazione, punti di

vista e parametri di calcolo. Con l'introduzione dei sistemi generativi basati su prompt testuali, questo processo si sta parzialmente riconfigurando. Le immagini finali possono ora essere generate o modificate non solo attraverso impostazioni tecniche, ma anche mediante istruzioni linguistiche capaci di alterare l'atmosfera, l'illuminazione, i punti di vista, i riferimenti temporali e la qualità visiva. Analogamente, i sistemi generativi sono in grado di creare sequenze animate a partire da viste statiche o da singoli fotogrammi, simulando il movimento attraverso lo spazio architettonico, le variazioni atmosferiche, i percorsi della telecamera e le trasformazioni progressive della scena (fig. 17). Tali animazioni costruiscono narrazioni visive plausibili, pur non costituendo una rigorosa verifica tecnica, anticipando trasformazioni che stanno già diventando evidenti nell'industria cinematografica.

CONCLUSIONI

Il rapporto tra architettura e disegno è stato, nel corso della storia, molto più articolato di quanto una lettura tradizionale possa suggerire. L'idea progettuale non coincide necessariamente con la sua immediata traduzione grafica e numerosi esempi, da Walter Gropius a Oscar Niemeyer, da Antoni Gaudí a Frei Otto, da Sergio Musmeci a Frank O. Gehry, testimoniano l'esistenza di processi di concezione e sviluppo dell'architettura fondati su forme di prefigurazione mentale, sperimentazione fisica e costruzione indiretta della forma. In questi casi il disegno non scompare, ma viene differito, delegato o ricostruito a partire da altri dispositivi conoscitivi. La nozione di "disegno in absentia" consente dunque di rileggere molte esperienze del passato come anticipazioni di pratiche oggi divenute centrali nella cultura digitale. I modelli funicolari, le membrane elastiche, le superfici minime e i plastici di studio non rappresentano soltanto strumenti alternativi di verifica progettuale, ma veri e propri sistemi generativi nei quali la forma emerge da relazioni, vincoli e processi. In tale prospettiva, le metodologie contemporanee non costituiscono una cesura radicale con la tradizione, bensì l'evoluzione di una lunga ricerca orientata alla costruzione dell'architettura

attraverso modalità diverse dal disegno manuale convenzionale.

I tre ambiti che abbiamo indicato offrono potenzialità di sviluppo del disegno nella direzione di un uso digitale dell'elaborazione grafica in cui l'esercizio manuale è solo in parte presente. Le tecnologie immersive di realtà virtuale, infatti, trasferiscono il gesto progettuale nello spazio tridimensionale, restituendo centralità al corpo e all'esperienza percettiva pur in assenza di un supporto materiale. Il disegno computazionale parametrico, poi, sostituisce la rappresentazione della forma con la definizione delle regole che la generano, trasformando il progetto in un sistema dinamico di relazioni modificabili. L'intelligenza artificiale, infine, introduce un ulteriore livello di complessità, poiché rende possibile la produzione di immagini, modelli e simulazioni attraverso procedure che non richiedono necessariamente né il disegno né la modellazione diretta, ma si basano sull'elaborazione di dati, esempi e istruzioni linguistiche.

In questo scenario il disegno non sembra destinato a scomparire, quanto piuttosto a ridefinire il proprio ruolo (Scheer, 2014). Da strumento di rappresentazione tende a trasformarsi sempre più in dispositivo di controllo, interpretazione e verifica critica dei processi generativi. La questione centrale non riguarda quindi la sopravvivenza del disegno, ma la capacità della disciplina della rappresentazione di comprendere e governare nuove forme di produzione della conoscenza visiva. Se il Novecento ha progressivamente separato l'idea dal gesto grafico, il XXI secolo sembra orientarsi verso una condizione nella quale parole, algoritmi, dati, modelli e ambienti immersivi concorrono alla costruzione del progetto. Comprendere questa trasformazione significa interrogarsi non soltanto sugli strumenti del disegnare, ma sul significato stesso del rappresentare nell'epoca dell'intelligenza artificiale e della progettazione computazionale.

REFERENCES

- Allen, S. (1998). *Diagrams Matter*. Any, 23, 16-19.
- Bishop, C.M. (2023). *Deep Learning: Foundations and Concepts*. Cham: Springer.
- Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge MA-London: MIT Press.
- Carpo, M. (2023). *Beyond Digital. Design and Automation at the End of Modernity*. Cambridge, MA-London Eng: The MIT Press.
- Chasles, M. (1837). *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, Bruxelles: M. Hayez.
- Collins, G.T. (1963). *Antonio Gaudi: Structure and Form*. Perspecta, 8.
- Eisenman, P. (1999). *Diagram Diaries*. New York: Universe Publishing.
- Gropius, W. (2004). *La nuova architettura e il Bauhaus*. Milano: Abscondita (prima ed. *The New Architecture and The Bauhaus*. London: Faber and Faber, 1935).
- Gropius, I. (1927). *Tagebuch 1923-1928*. Berlin: Bauhaus-Archiv, manoscritto inedito, nota del 17 ottobre 1927.
- Gropius, W. & Harkness S.P. (eds.) (1966). *The Architects Collaborative 1945-1965*. Teufen: Arthur Niggli Ltd.
- Guccione, M. (a cura di) (2004). *Il ponte e la città*. Sergio Musmeci a Potenza. Roma: Gangemi.
- Isaacs, R. (1983). *Walter Gropius Der Mensch und sein Werk*. Berlin: Gebrüder Mann.
- Kolarevic, B. (ed.) (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. New York-London: Spon Press.
- Leach, N. (2026). *L'architettura nell'era dell'intelligenza artificiale*. Siracusa: LetteraVentidue.
- Leach, N. & Yuan, P.F. (2017). *Computational Design*. Shanghai: Tongji University Press.
- Lindsey, B. (2002). *Gehry digitale. Resistenza materiale/costruzione digitale*. Torino: Testo&immagine.
- Monge, G. (1799). *Géométrie descriptive. Leçons données aux Écoles normales, l'an III de la République*, Paris: Baudouin.
- Nerdinger, W. (1993). *Walter Gropius. Opera completa*. Milano: Electa.
- Neufert, E. (1936). *Bauentwurfslehre: Grundlagen, Normen, Vorschriften über Anlage, Bau und Einrichtung der Gebäude*. Berlin: Verlagsanstalt Otto Stollberg.
- Niemeyer, O. (1980). *Metodo de trabalho*. Módulo, 58.
- Niemeyer, O. (2012). *Il mondo è ingiusto*. Milano: Mondadori, Milano, ebook.
- Otto, F. & Rasch, B (1995). *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*. Stuttgart-London: Edition Axel Menges.
- Russell, S. & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: a modern approach*. Milano: Pearson.
- Scheer, D. (2014). *The Death of Drawing, Architecture in the Age of Simulation*. London and New York: Routledge.
- Schumacher, P. (2008). *Parametricism as Style – Parametricistic manifesto*. <https://patrikschumacher.com/parametricism-as-style-parametricist-manifesto/>
- Schumacher, P. (2011). *The Autopoiesis of Architecture, Vol. I: A New Framework for Architecture*. Chichester: John Wiley & Son.
- Schumacher, P. (2012). *The Autopoiesis of Architecture, Vol. II: A New Agenda for Architecture*. Chichester: John Wiley & Son.
- Schumacher, P. (2016). *Parametricism 2.0. Architectural Design, 2, Vol. 86*.
- Sdegno, A. (2001). *e-architecture. L'architettura nell'epoca del computer*. Casabella, 691, 58-67.
- Sutherland, I.E. (1963). *Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System*. Cambridge (MA): Massachusetts Institute of Technology (MIT), PhD thesis.
- Tedeschi, A. (2014). *AAD_Algorithms-Aided Design. Parametric strategies using Grasshopper*. Brienza: Le Penseur.
- Vagnetti, L. (1965). *Il linguaggio grafico dell'architetto, oggi*. Genova: Vitali e Ghianda.
- Zanon, E. (2020). *Il ponte sul Basento di Sergio Musmeci*. Brienza: Le Penseur.



Fig. 17. Generazione di sequenza animata a partire dalla tavola della "Veduta di città ideale" conservata presso la Galleria Nazionale delle Marche di Urbino (elab. Ferdinand Rexhaj).