

La struttura rivelata. Il disegno fra costruzione e forma

Stefano Chiarenza, Marta Salvatore

Configurare e rivelare: il disegno e l'ordine strutturale

La coerenza delle architetture costruite è frequentemente affidata a un disegno strutturale latente, il cui ruolo risulta essenziale pur in assenza di un'evidenza formale esplicita. La struttura è assorbita nell'insieme dell'organismo architettonico o semplicemente nascosta da superfici che mascherano la logica costruttiva. Tuttavia, è spesso proprio questa dimensione sottesa che definisce lo spazio e regola i rapporti formali. Tale caratteristica non va però intesa in senso dicotomico, né letta in termini di corrispondenza biunivoca. Si tratta piuttosto di un rapporto di reciproca influenza, mediato da precise scelte progettuali, poiché ogni atto di costruzione implica la creazione di un ordine, che ogni forma esprime attraverso una struttura sottostante.

Quella che Alberti definiva «armonia delle parti in relazione a un tutto al quale esse sono legate secondo un determinato numero, delimitazione e collocazione» [Alberti 1966, p. 816] esprime, di fatto, un principio di coerenza etica – o, se vogliamo, tettonica – ed estetica al tempo stesso, che da sempre costituisce la base dell'architettura e rimanda a un sistema di relazioni fondamentale, pervasivo anche di altri campi del sapere, dalla meccanica strutturale alla biologia evolutiva, fino alla teoria dei sistemi complessi.

L'ordine strutturale, percettivamente implicito o esplicito che sia, non esclude infatti l'esperienza estetica. Potremmo dire piuttosto che la determina. Quando Mies van der Rohe affermava che la funzione è un'arte [Mies van

Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

der Rohe 1953, p. 276], considerava l'essenza della bellezza architettonica come la perfetta armonia tra ordine strutturale e forma. Una forma, riconoscibile e dotata di significato, determinata dalla struttura che ne esalta la valenza espressiva. Del resto, come nota Curt Siegel «*the prominent vault ribs of the great Gothic cathedrals are not merely decorative trimming. They are themselves part of the structure and splendid examples of structural form*» [Siegel 1962, p. 10] [1] (fig. 1).

E l'esperienza estetica, ancorché non fondativa, non può essere pensata come indipendente dalla relazione che la rende possibile. «*Such is the case with the most perfect and appealing creations of Nature [...] whose outer beauty is deeply influenced by the perfection of the skeleton, which itself is unattractive but does enhance the poetry of the whole by its own indirect means of expressiveness*» [Torroja 1967, p. 268] [2] (fig. 2).

Nell'architettura e nell'ingegneria strutturale, l'ordine assume dunque il carattere di un principio organizzativo interno alla costruzione; la struttura ne costituisce la legge di relazione tra gli elementi, formalizzabile attraverso regole geometriche [Strappa 1995]. La forma non si presenta quindi come esito arbitrario, ma come configurazione leggibile di tale sistema di relazioni. In alcuni casi essa coincide con la cosiddetta "forma strutturale", che tuttavia mantiene un'autonomia intrinseca ed è capace di orientare scelte progettuali di particolare efficacia. Questa autonomia emerge quando la forma rende riconoscibile l'ordine che la genera, mostrando la struttura come principio attivo e non come semplice risoluzione tecnica (fig. 3).

Un principio analogo si manifesta nei processi morfogenetici naturali, nei quali la forma biologica deriva dall'interazione di vincoli geometrici, dinamiche di crescita e condizioni ambientali. Già Thompson, pur in assenza di una formalizzazione dinamica, riconosceva nei fattori fisici e geometrici i principali generatori della forma [Thompson 1969] (fig. 4).

Oggi, le avanzate teorie dinamiche della morfogenesi – da quelle di reazione-diffusione elaborate da Alan Turing

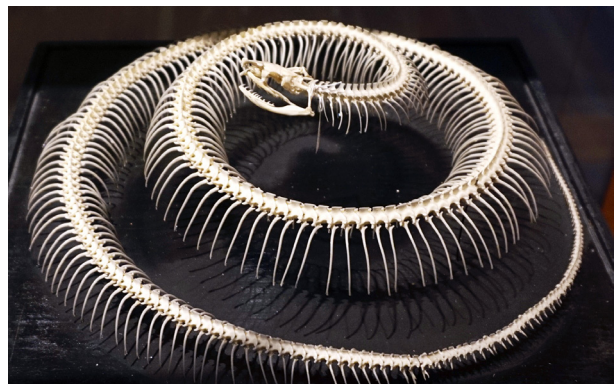
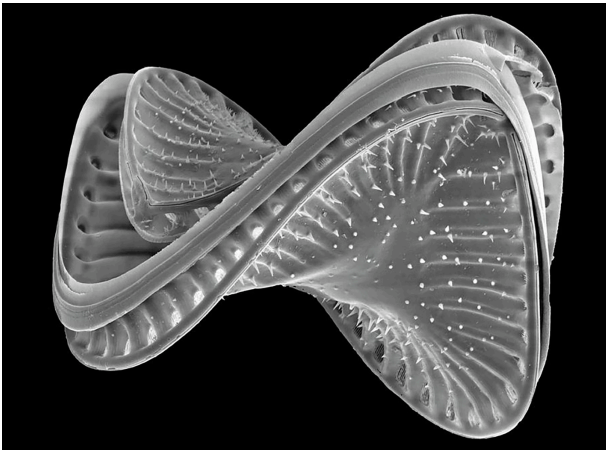


Fig. 1. Guillermo Sagrera, Castel Nuovo, Sala dei Baroni, Napoli. Volta nervata, XV secolo (fotografia di Miguel Hermoso Cuesta; fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Castel_Nuovo_Sala_dei_Baroni_07.JPG>).

Fig. 2. Scheletro di un serpente (fotografia di Tiia Monto; fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snake_skeleton_3.jpg>).



[Turing 1952] ai modelli di crescita frattale – rivelano come forme naturali complesse, dalle venature delle foglie alle spirali logaritmiche delle conchiglie, fino alla convoluta struttura corticale del cervello, siano generabili e comprensibili attraverso modelli matematici rigorosi. Tali modelli formalizzano dinamiche non lineari, nelle quali regimi di stabilità, instabilità e attrattori complessi emergono spontaneamente dalle interazioni elementari di campi morfogenetici [Petitot 2009]. E stabilire un parallelo tra i processi naturali e quelli artificiali in architettura non è solo coerente, ma essenziale, in quanto entrambe le classi di fenomeni obbediscono a logiche emergenti condivise; la forma emerge così come risultato di interazioni sistemiche tra energia, informazione e materia, governate da principi topologici e relazionali universali [De Paolis 2020].

L'architettura computazionale e la progettazione generativa sviluppano in modo concreto e innovativo queste idee, rivoluzionando il processo progettuale stesso. Secondo tale approccio, la forma architettonica va intesa come esito inevitabile di processi – quali la modellazione parametrica, l'ottimizzazione topologica e le simulazioni strutturali – che integrano rigorosamente vincoli costruttivi, proprietà dei materiali e condizioni di carico in regole algoritmiche definite e verificabili. Essa emerge come configurazione visibile e performante di un complesso intreccio di relazioni, pienamente analogo ai fenomeni naturali di crescita [Menges 2011] precedentemente delineati, dove l'ordine sottostante genera complessità emergente. La sinergia tra progettazione digitale avanzata, materiali intelligenti e logiche morfogenetiche computazionali dimostra in modo esemplare ed empiricamente validato come la forma derivi da un ordine profondo, che lega indissolubilmente spazio, struttura e materia in un sistema coerente e funzionale [Ramirez-Figueroa, Dade-Robertson, Hernán 2013] (fig. 5).

Anche dal punto di vista teorico-filosofico, la questione dell'ordine che precede e guida la forma trova una base

Fig. 3. Santiago Calatrava, OAKA Olympic Stadium, Atene, 2004 (fotografia di Georgios Liakopoulos; fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Calatrava_Agora_Athens_Olympic_Sports_Complex_%28250427331%29.jpeg>).

Fig. 4. In alto: Camplyodiscus clypeus (fonte: <<https://www.sciencephoto.com/media/891862/view>>); in basso: Félix Candela, cappella di Lomas, Cuernavaca, 1958-1960 (fonte: <<https://www.flickr.com/photos/147316538@N02/136084417680>>).

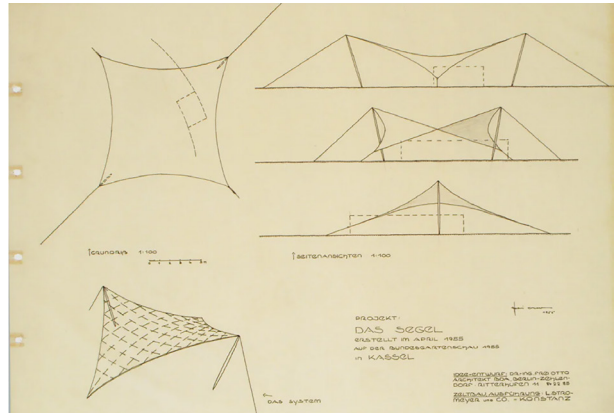
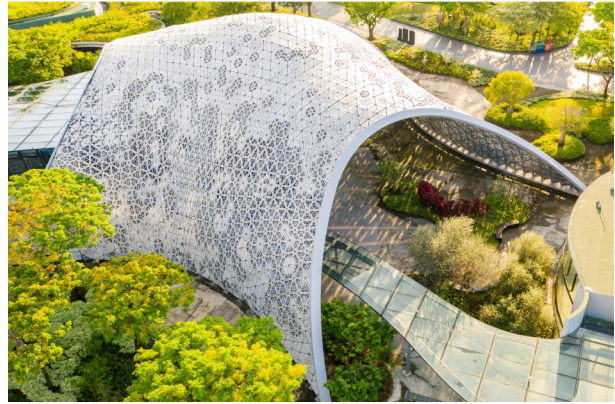
solida, come dimostrato dalle teorie della morfogenesi adattiva e dai processi generativi *data-driven* [Nebuloni, Buratti 2023]. Se la forma può essere concepita come prodotto inevitabile di una stabilità strutturale sottostante – un ordine relazionale profondo che ne genera l'essenza –, e se la bellezza si manifesta come espressione armonica di tale ordine, emerge imprescindibilmente la questione su come rendere leggibile questa dimensione invisibile nella materia costruita. Qui, il disegno gioca un ruolo fondamentale e insostituibile nei processi di strutturazione e rivelazione della forma.

Da un lato, funge da strumento di conformazione primaria. Con esso è possibile regolare lo spazio, definire la genesi delle superfici mediante operazioni geometriche e gestire i processi generativi che determinano l'articolazione geometrica e materica del progetto. In questo contesto, il disegno rappresenta il luogo in cui le scelte formali prendono concreta vita, orientando il progetto fin dalle sue fasi concettuali iniziali, in armonia con l'ordine strutturale delineato.

Dall'altro lato, agisce come strumento rivelatore. Non si tratta di una trascrizione diretta della struttura, ma di un'operazione di astrazione e selezione che crea una distanza tra rappresentazione ed edificio (fig. 6). Ciò che nella costruzione è incorporato nella materia – relazioni statiche, gerarchie geometriche, distribuzione delle sollecitazioni – viene, nel disegno, isolato e riorganizzato secondo un proprio ordine [Pérez-Gómez 1982]. In questo intervallo, la struttura diventa comprensibile, assumendo una forma che non corrisponde né all'idea iniziale né all'opera costruita. Come notato da Robin Evans, il passaggio dal disegno all'edificio comporta sempre una trasformazione in cui qualcosa va perduto e qualcosa viene riorganizzato, creando un sistema di relazioni con una propria coerenza [Evans 1997]. In tale ridefinizione, la geometria funge da strumento di configurazione, rendendo esplicite le relazioni che compongono la forma.

Fig. 5. SUTD Advanced Architecture Laboratory, *The Future of Us Pavilion*, Singapore (fonte: <<https://loopdesignawards.com/project/the-future-of-us-pavilion/>>).

Fig. 6. Frei Otto, esempi di tensostrutture. In alto: schemi grafici del Musikpavillon, Kassel (<<http://www.freiottofilm.com>>); in basso: dettaglio di elementi strutturali della copertura dello Stadio Olimpico di Monaco (fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/Munich_-_Frei_Otto_Tensed_structures_-_5244.jpg>).



Il disegno si afferma dunque come il luogo essenziale in cui l'ordine strutturale della forma diviene leggibile mediante operazioni geometriche rigorose che isolano e astraggono le relazioni tra modello grafico e spazio costruito [Rykwert 1998]. Rapporti di curvatura, allineamenti e condizioni di planarità o sviluppabilità – incorporati nella continuità superficiale della costruzione – emergono esplicitati come relazioni verificabili.

La rappresentazione assume allora un valore conoscitivo specifico: rende misurabili e confrontabili le condizioni che determinano la costruzione della forma, la quale può intendersi come un insieme di elementi e vincoli correlati. La struttura appare come un sistema di relazioni geometriche e statiche in cui la continuità formale è il risultato di un equilibrio tra discretizzazione, approssimazione e coerenza costruttiva (fig. 7).

Questa leggibilità dell'ordine strutturale, emersa nel disegno come configurazione geometrica verificabile e autonoma, non solo chiarisce le potenzialità realizzative della forma, ma solleva interrogativi cruciali sul valore cognitivo e operativo della rappresentazione stessa, preparando il terreno per un'analisi del suo ruolo mediativo nella genesi dell'architettura.

In questo quadro, il disegno non è un semplice mezzo di traduzione fra idea e costruzione, ma lo strumento attraverso il quale la relazione fra ordine strutturale e forma si inverte. Tale funzione non è un'acquisizione recente, né esclusivamente legata alle pratiche computazionali contemporanee, ma affonda le proprie radici in una tradizione teorica e pratica precisa, nella quale la geometria ha storicamente costituito il linguaggio attraverso cui la forma veniva costruita e validata. È all'interno di questa tradizione che il disegno assume un ruolo centrale nei processi di conoscenza e di progetto, preparando il passaggio a una riflessione sul contributo della geometria sintetica alla costruzione della forma architettonica.

Forma visibile del pensiero progettuale

Linguaggio universale che comunica lo spazio attraverso descrizioni visuali, il disegno rivela il suo valore euristico nel rapporto fra costruzione e forma, che ne esprime la dimensione costruttiva attraverso la ricerca e il controllo delle proprietà geometriche delle figure.

La capacità conoscitiva del disegno trova nella geometria sintetica il suo riferimento teorico. La geometria ha

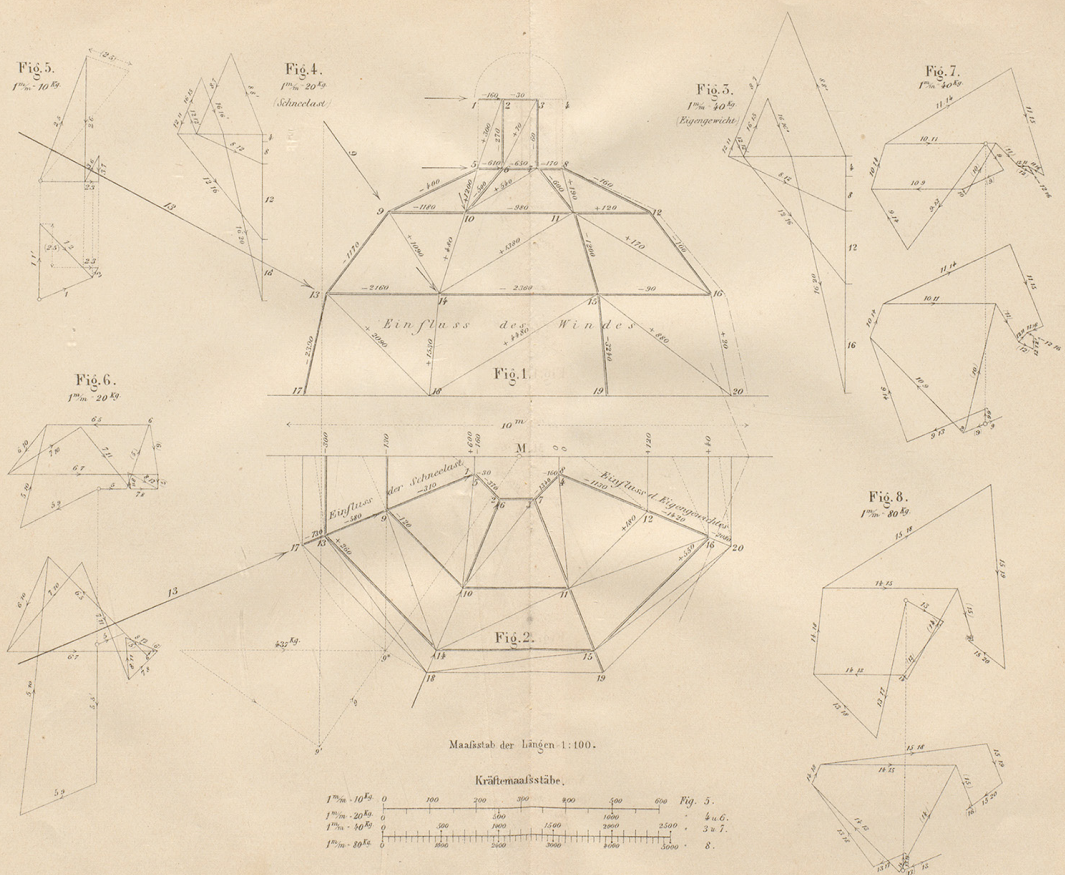
il compito di tradurre le proprietà morfologiche delle figure in strumenti concettuali e operativi per il progetto, e sin dall'antichità vi si è fatto ricorso. Le proprietà di alcune classi di superfici ne hanno infatti favorito l'utilizzo nelle costruzioni, dapprima in modo intuitivo, successivamente in maniera consapevole e controllata. La storia documenta un ampio repertorio di opere realizzate che riconoscono nella geometria la propria matrice formale e che consentono di identificare specifici campi di applicazione di questa scienza al progetto, che contribuirono alla formulazione della geometria descrittiva anticipandone parte dei contenuti. Fra questi, l'arte del taglio delle pietre è esemplare, poiché sintesi di controllo morfologico, rappresentazione rigorosa e consapevolezza costruttiva (fig. 8).

La geometria sintetica, che affonda le sue radici nell'antichità, assume una connotazione moderna tra la fine del XVIII e gli inizi del XIX secolo. Negli anni in cui Gaspard Monge scrive le sue *Leçons de Géométrie descriptive*, emerge l'esigenza di definire un metodo di studio della geometria in grado di confrontarsi con i metodi matematici, fondato su argomentazioni logiche e supportato dalla scienza delle proiezioni [3]. La *géométrie descriptive* di Monge riconosceva infatti nel disegno lo strumento con il quale il metodo sintetico poteva misurarsi con le coeve e rigorose descrizioni analitiche, distinguendosi per chiarezza di ragionamento, semplicità delle dimostrazioni ed efficacia applicativa dei teoremi, e la sua produzione scientifica ne esplicita l'impostazione [4]. Nel *Cours de Géométrie descriptive*, Théodore Olivier racconta come Monge avesse cercato di dimostrare i contenuti della sua *Analyse appliquée à la géométrie* con gli strumenti della Geometria descrittiva, riportandone una significativa riflessione: «Si je refaisais mon ouvrage qui a pour titre de l'analyse appliquée à la géométrie [...] je l'écrirais en deux colonnes: dans la première, je donnerais les démonstrations par l'analyse; dans la seconde je donnerais les démonstrations par la géométrie descriptive, en d'autres termes, par la méthode des projections; et l'on serait peut-être, ajoutait-il, bien étonné, en lisant cette ouvrage, de voir que l'avantage serait presque toujours du côté de la seconde colonne, pour la clarté du raisonnement, la simplicité de la démonstration, et la facilité de l'application des théorèmes trouvés aux divers travaux des ingénieurs» [Olivier 1843, p. VI] [5].

Monge riconosce dunque al metodo delle proiezioni e perciò al disegno la capacità conoscitiva che gli è propria, facendone lo strumento privilegiato della Geometria

KRÄFTEPLAN EINES KUPPELFACHWERKES.

Taf. 6.



Verlag v. Meyer u. Zeller in Zürich.

Lithogr. Anstalt v. Wurster-Randegger & C^o in Winterthur.

Culmann-Ritter, graphische Statik.

Fig. 7. Studio della statica grafica di una struttura a cupola: Ritter 1890, tav. 6, pp. 242, 243.

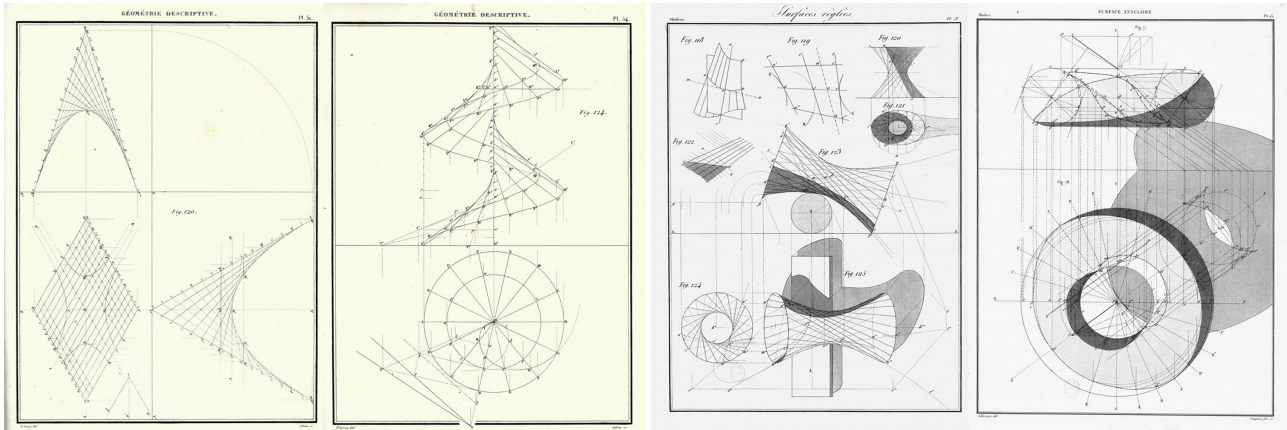
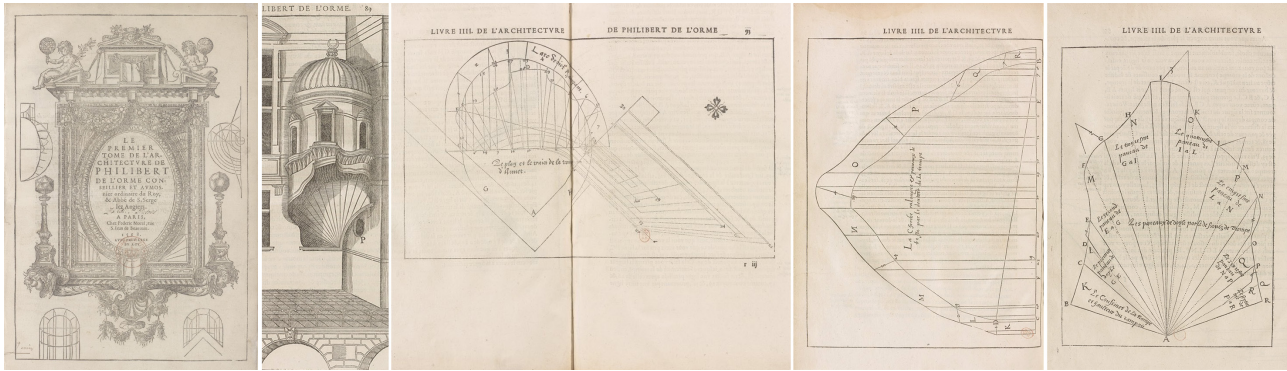


Fig. 8 Philibert Delorme, frontespizio di *Le premier tome de l'architecture* e *Traits géométriques della trompe del castello di Anet* (Delorme 1568, frontespizio e ff. 89r, 92v, 93r, 94v, 95v).

Fig. 9. Da sinistra a destra: Charles François Antoine Leroy, costruzione di un paraboloide iperbolico e di un elicoide rigato obliquo (Leroy 1842, planches 51 e 54); Joseph-Alphonse Adhémar, costruzione delle ombre di superfici notevoli (Adhémar 1866, planches 28 e 13).

descrittiva. A differenza della geometria antica, che aveva supportato in diversi modi i processi costruttivi in specifici ambiti di applicazione, la “neonata” Geometria descrittiva si promuoveva, alla fine del Settecento, in una inedita forma astratta (fig. 9). Nell'introduzione al suo *Traité de géométrie descriptive* del 1822, riferendosi alle *Leçons* date da Monge all'École Normale di Parigi nel 1795, Jean-Nicolas-Pierre Hachette osserva: «Le recueil de ces leçons est le premier traité de géométrie descriptive dans lequel

on a considéré cette science d'une manière abstraite, et indépendamment de ses applications. [...] On y reconnaît cette faculté d'imagination qui lui faisait découvrir les propriétés de l'étendue figurée» [Hachette 1822, p. X] [6].

L'idea di una scienza speculativa viene alimentata da Jean Victor Poncelet nel suo *Traité des propriétés projective des figures* del 1822, al quale si deve, secondo Gino Loria, il risorgimento della geometria pura [Loria 1896, p. 24]. Se la geometria mongiana ricercava il rigore e l'astrazione di

una scienza esatta dedicata allo studio delle proprietà geometriche delle linee e delle superfici, con la Geometria proiettiva di Poncelet la geometria sintetica si emancipava dalla dipendenza dalle configurazioni, aumentando la propria capacità di generalizzazione attraverso l'esplorazione delle trasformazioni proiettive delle figure [Poncelet 1865, IX-XXXII].

Sebbene l'astrazione teorica avesse conferito dignità di scienza alla Geometria descrittiva, questa continuava a essere strettamente legata alle sue applicazioni. I principi teorici dei quali si è detto avevano ricadute dirette nelle opere architettoniche e ingegneristiche, trovando spazio, nei manuali di Geometria descrittiva, in capitoli sperimentali dedicati. Utili alla verifica e alla validazione delle formulazioni speculative e *corpus* autonomo della Geometria descrittiva, le applicazioni costituivano, in quegli anni, un volano per lo sviluppo di teorie innovative. La formazione praticata nell'École Polytechnique e nelle scuole politecniche che seguirono, rispondeva infatti alle esigenze di una società che era stata investita da un radicale cambiamento sociale e produttivo, che richiedeva all'astrazione teorica di prendere forma a servizio del progetto in diversi campi delle arti e delle scienze applicate [7] (figg. 10, 11). In questo contesto si inquadrano i contributi degli allievi della scuola di Monge come Jean-Nicolas-Pierre Hachette e Charles Dupin, per citarne soltanto alcuni, autori di autorevoli trattati di Geometria descrittiva teorica, ma anche di opere dedicate alla geometria applicata alle arti ingegneristiche e alle belle arti, come il *Traité élémentaire des machines* [Hachette 1811] o la *Géométrie et mécanique des arts et métiers et des beaux-arts* [Dupin 1825] [8].

Il metodo sintetico è dunque lo strumento con cui la Geometria descrittiva della scuola di Monge si confronta con l'estensione figurata. Il suo fondamento scientifico si ritrova nel secondo obiettivo di questa scienza enunciato dallo stesso Monge nel programma introduttivo delle sue *Leçons*, nel quale si fa riferimento a un passaggio "dal noto all'ignoto", che racchiude e svela l'essenza stessa del valore euristico del disegno. Questo passaggio allude a un processo di conoscenza nel quale il disegno non si limita a descrivere la forma, ma diviene strumento di esplorazione e di scoperta, con cui derivare proprietà inedite delle figure [Monge 1798, p. 2].

La dimensione conoscitiva del disegno si deve all'efficacia della "costruzione". Nei *Metodi matematici* pubblicati nel 1935, Loria descrive la costruzione come un metodo di

dimostrazione esistenziale delle figure: «è noto che Euclide nei suoi *Elementi* non ragiona mai su una figura di cui non abbia prima insegnata la costruzione; questa funge, quindi, come dimostrazione dell'esistenza delle figure di cui erasi prima data la definizione» [Loria 1935, p. 77]. Mentale o grafica, la costruzione dimostra la sussistenza stessa della forma trasformando il disegno in un atto geometrico, logico e generativo. Sono proprio i processi di genesi caratteristici dell'azione del costruire ed eseguiti attraverso il disegno a rendere possibile la manipolazione rigorosa della forma nello spazio attraverso linguaggi visuali, conferendo alla geometria descrittiva un ruolo centrale nel controllo morfogenetico del progetto. Se la costruzione è espressione di un processo mentale che guida le operazioni geometriche nello spazio, questa è allo stesso tempo espressione di un processo fisico, che porta alla realizzazione materiale della forma, e in questo senso si pone come un ponte fra idea, progetto e realtà costruita [Migliari 2012].

L'idea di una geometria generatrice di forma che aveva alimentato le ricerche ottocentesche in ambito geometrico-descrittivo, si allontana progressivamente, nel corso del Novecento, dai processi generativi del progetto, riducendosi lentamente a una disciplina didattica di supporto alla sua rappresentazione grafica. Nonostante i contributi innovativi dati nelle prime decadi del secolo da matematici come Otto Wilhelm Fiedler o Edmond Brhunes [Migliari 2009], per citarne soltanto alcuni, il valore conoscitivo del disegno era destinato a essere oscurato da un approccio prevalentemente astratto che avrebbe segnato l'inizio di un lento declino della Geometria descrittiva come ponte tra idea e costruzione materiale [9].

Difficile stabilire le ragioni di questa trasformazione, probabile effetto congiunto di cambiamenti tecnologici, culturali e disciplinari che hanno allontanato il progetto dai processi geometrici di costruzione. Alla fine degli anni Novanta del secolo scorso nelle conclusioni del suo *Épures d'architecture*, Joël Sakarovitch cita a questo riguardo le parole di Carlo Bourlet, ultimo titolare, nel 1907, della cattedra di Geometria descrittiva del Conservatoire national des arts et métiers di Parigi: «[La géométrie descriptive] passa ainsi des mains des praticiens dans celles des théoriciens. Bientôt ceux-ci oubliant sa raison d'être, lui donnèrent une tournure de plus en plus dogmatique [...] Les théoriciens nous défendent de lire dans l'espace [...] et, pour justifier leurs prétensions, font exécuter, parfois à leurs élèves, des épures bizarres dont les données sont choisies à

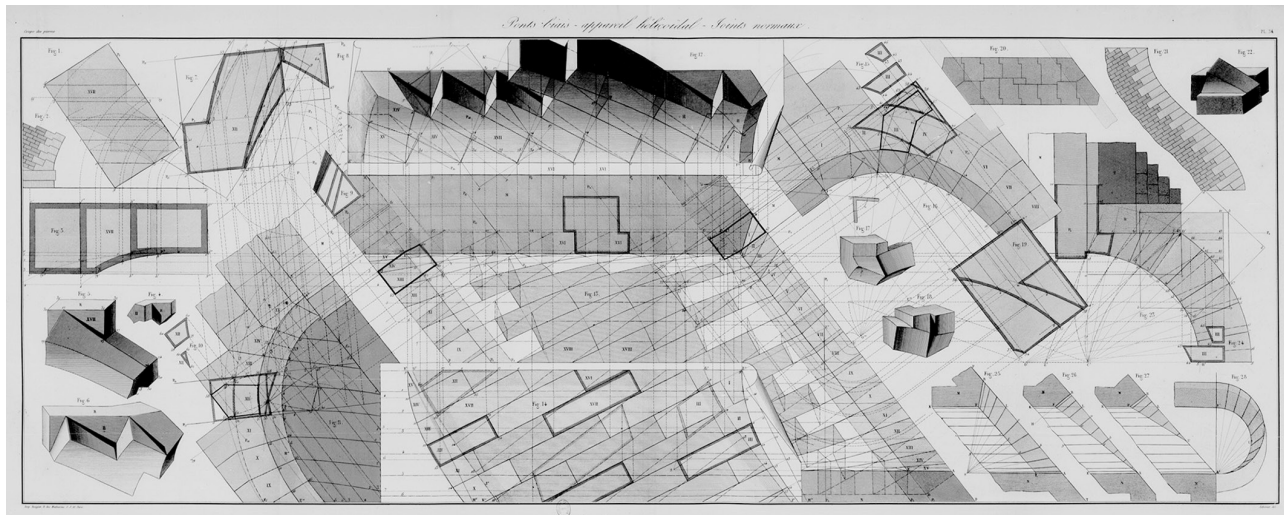
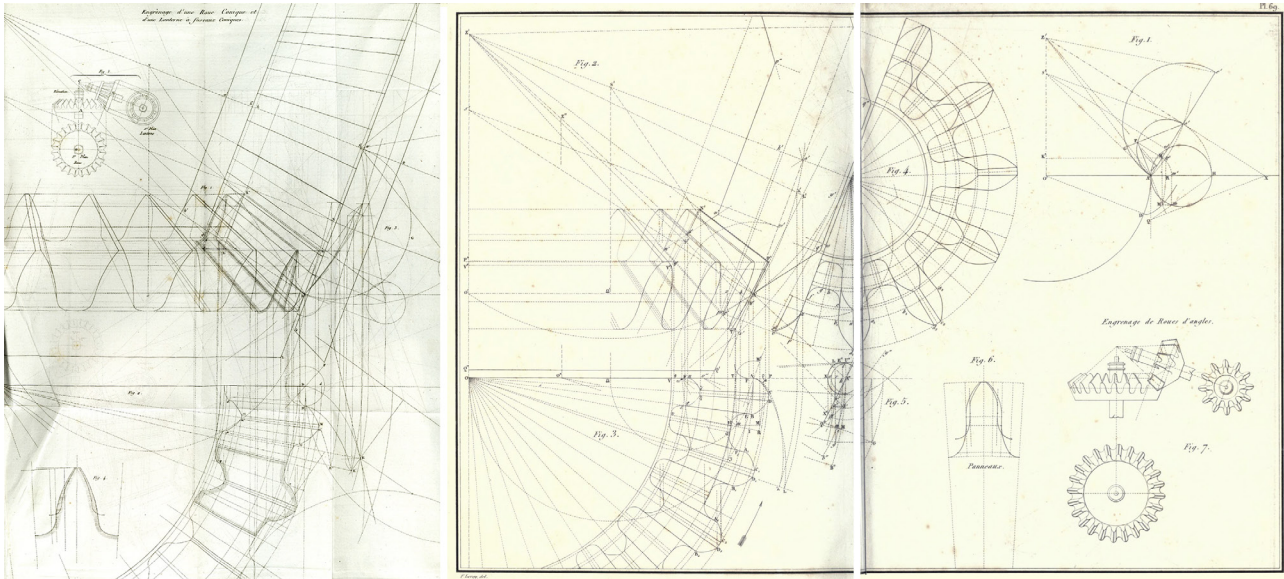


Fig. 10. Costruzione di ingranaggi conici. A sinistra: Hachette 1811, planche V 2^{me} chap.; a destra: Leroy 1842, planche 69.

Fig. 11. Joseph-Alphonse Adhémar, apparecchio stereometrico per la costruzione dei ponti sbiechi (Adhémar 1856, planches 74 e 80).

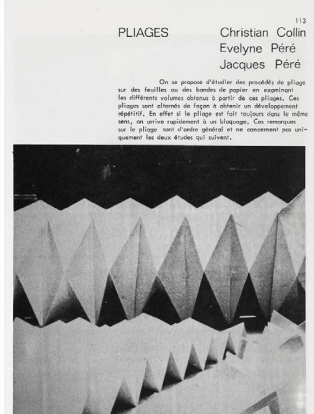
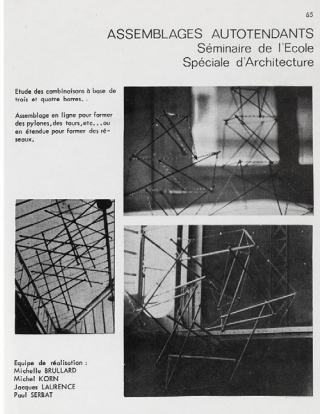
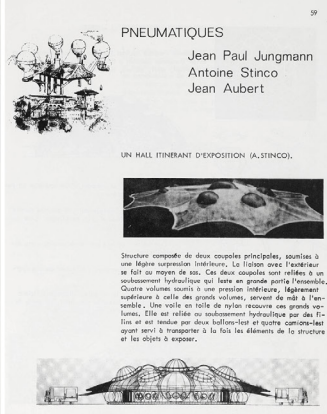
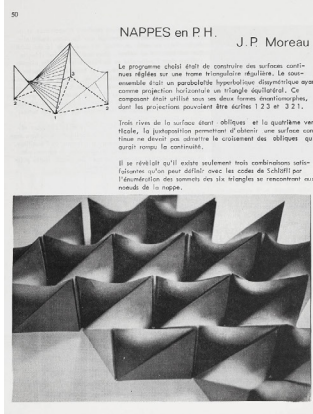
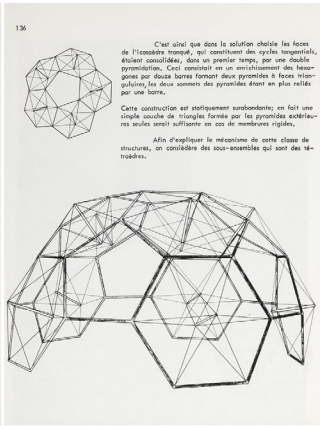
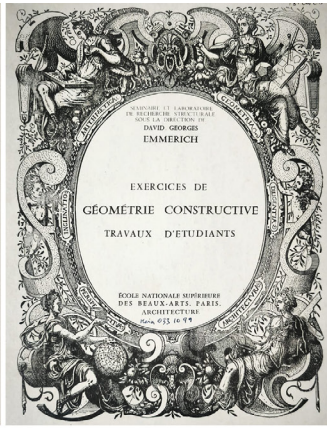


Fig. 12. David Georges Emmerich, copertina del Cours de géométrie constructive, Morphologie (Emmerich 1969); frontespizio di Exercices de géométrie constructive, Travaux d'étudiants, risultati dei corsi tenuti all'Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts di Parigi e seminario condotto presso l'Université Permanente d'Aix en Provence (Emmerich 1970, pp. 50, 59, 65, 113, 136, 158).

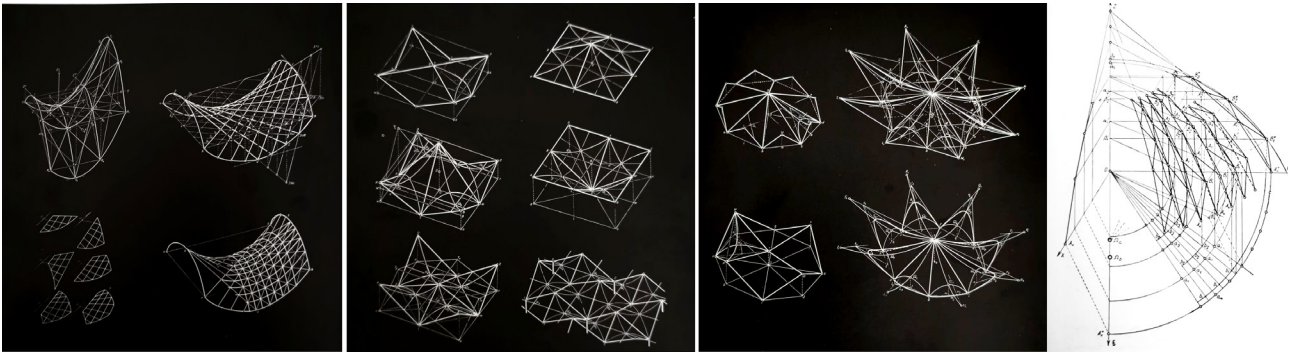


Fig. 13. Adrian Gheorghiu e Virgil Dragomir, rappresentazioni di strutture spaziali, paraboloidi iperbolici, sue aggregazioni e superfici piegate (Gheorghiu, Dragomir 1971, pp. 42, 52, 55, 108).

dessein de façon à rendre la vision impossible» [Sakarovitch 1998, p. 344] [10].

Secondo Bourlet la Geometria descrittiva avrebbe dovuto tornare a essere intesa come l'insieme delle applicazioni del disegno finalizzate alla soluzione dei problemi di esecuzione che si presentano nell'industria o di rappresentazione esatta che si incontrano nell'arte [Sakarovitch 1998, pp. 345, 346].

Negli anni del primo, ma soprattutto del secondo dopoguerra, le esigenze della ricostruzione e la diffusione di nuovi materiali da costruzione restituiscono un forte impulso alla geometria applicata al progetto. Ingegneri come Pier Luigi Nervi, Eduardo Torroja o Félix Candela utilizzano la geometria come strumento espressivo della forma architettonica, integrando calcolo strutturale, geometria e costruzione.

A partire dalla metà degli anni Cinquanta, David Georges Emmerich, architetto, ingegnere e professore di "morfologia" all'École des beaux arts di Parigi, promuove in Francia l'idea di una *géométrie constructive*. Emmerich avverte una separazione netta fra architettura e sapere geometrico. Sostiene che «L'architecture se mettait ainsi en dehors d'elle-même, en dehors de sa propre science» [Emmerich 1969, p. 6] [11] e propone, in contrasto, l'insegnamento di una "scienza delle forme" finalizzata all'immaginazione, al dimensionamento e alla configurazione delle strutture spaziali, capace di classificare geometria, strutture e processi attraverso la costruzione di modelli fisici [Chassagnoux 2006] (fig. 12). In linea con la visione di

Emmerich, ma con un'attenzione spiccata al ruolo del disegno all'interno dei processi di genesi della forma, si collocano gli studi di un ingegnere e di un architetto rumeni, Virgil Dragomir e Adrian Gheorghiu, che si dedicano, nello stesso periodo, allo studio delle geometrie strutturali e alla loro rappresentazione grafica, convinti che la genesi delle strutture spaziali sia il risultato dell'azione sinergica di architetti e ingegneri, per i quali il punto d'incontro è la geometria [12] [Gheorghiu, Dragomir 1978, p. 5] (fig. 13). Queste ricerche apparentemente minori sulla morfologia strutturale si pongono in continuità con lo sperimentalismo geometrico che pochi anni prima aveva caratterizzato le opere visionarie di Richard Buckminster Fuller, e appaiono in linea con le sperimentazioni pionieristiche sul *form-finding* condotte negli stessi anni da ingegneri come Heinz Isler, Frei Otto e Sergio Musmeci.

Modelli fisici generativi e rappresentazioni grafiche contribuirono dunque alle ricerche interdisciplinari sulla forma architettonica, gli uni come strumenti di sperimentazione morfologica, gli altri come modalità di rappresentazione visuale delle proprietà geometriche delle strutture spaziali.

La capacità dimostrativa del disegno invece, che aveva accompagnato la formulazione scientifica della Geometria descrittiva e che sembra essersi attenuata negli anni a seguire, ha trovato nuova linfa, nei primi anni del duemila, grazie alla diffusione della rappresentazione digitale (fig. 14). L'esplorazione virtuale dello spazio a tre dimensioni e la possibilità di adoperare classi di curve sghembe e

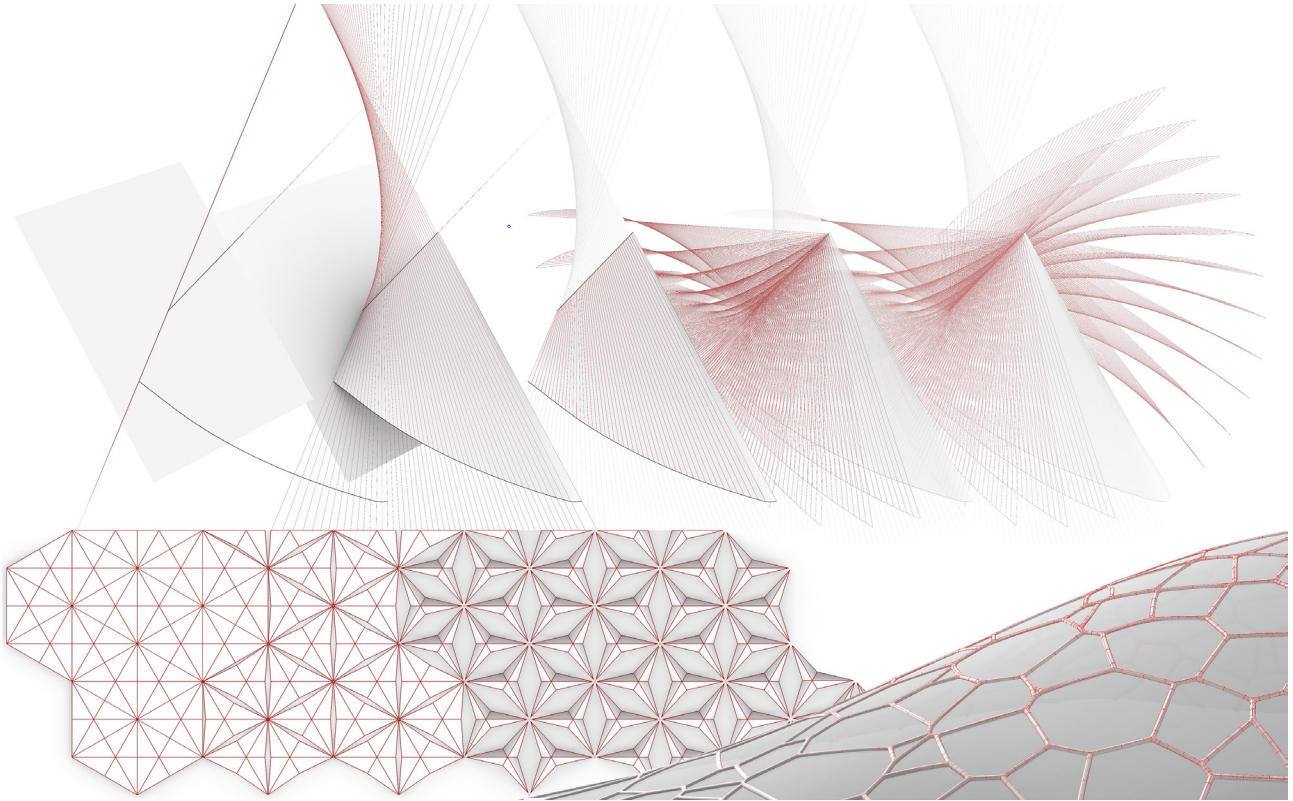


Fig. 14. In alto: genesi geometrica di una rigata a piano direttore secondo il modello del Milwaukee Art Museum di Santiago Calatrava, 2001; in basso: superfici piegate cinematiche affini al modello delle Al Bahr Towers di Abu Dhabi di Aedas, 2012 e tassellazione di una superficie continua tramite il diagramma di Voronoi (elaborazione grafica degli autori).

superfici a doppia curvatura per derivare le proprietà geometriche delle figure ha restituito rinnovato vigore alla costruzione e, con essa, al valore euristico del disegno, con ricadute significative nell'ambito della ricerca e della formazione [13].

In questi stessi anni, lo sviluppo degli strumenti della rappresentazione digitale e la possibilità di operare con un repertorio inedito ed esteso di forme nel progetto architettonico hanno favorito lo sviluppo dell'*Architectural Geometry*, ambito di ricerca sperimentale che pone la geometria al centro dei processi di genesi e di rappresentazione della forma nel progetto architettonico [Pottman et al. 2007]. Attraverso gli strumenti del design parametrico e della modellazione computazionale, l'*Architectural Geometry* esplora forme libere, geometrie complesse, strutture parametriche e problemi di tassellazione e

discretizzazione, mettendo a sistema approcci geometrico descrittivi, differenziali e computazionali.

Oggi i linguaggi della geometria costruttiva vedono l'estetica del progetto risultare dall'azione sinergica di diverse discipline, che concorrono al raggiungimento di architetture efficienti in termini prestazionali, ottimizzate sotto il profilo costruttivo e innovative dal punto di vista morfologico. Questa sinergia virtuosa coinvolge anche la Geometria descrittiva.

Grammatica della rappresentazione capace di tradurre lo spazio in modelli e scienza che studia le proprietà geometriche delle figure, la Geometria descrittiva è, a ben vedere, la sola disciplina che permette, oggi come nel passato, la manipolazione visuale dinamica e rigorosa della forma, e che consente di esplorare i processi del pensiero progettuale attraverso il linguaggio universale del disegno.

Note

[1] «Le evidenti nervature delle grandi cattedrali gotiche non sono semplici elementi decorativi. Esse fanno parte integrante della struttura e rappresentano un'espressione splendida della forma strutturale» (traduzione degli autori).

[2] «È questo il caso delle creazioni più perfette e seducenti della Natura [...] la cui bellezza esteriore è profondamente influenzata dalla perfezione dello scheletro, il quale, pur non essendo di per sé attraente, contribuisce tuttavia, attraverso i propri mezzi espressivi indiretti, ad accrescere la poeticità dell'insieme» (traduzione degli autori).

[3] Pierre Boutroux in *Les principes de l'analyse mathématique* racconta del proposito di alcuni geometri di elevare la geometria pura all'altezza del metodo algebrico proponendo una geometria sintetica capace della stessa efficacia e della stessa generalizzazione: Boutroux 1919, pp. 109-116.

[4] L'origine del nome "*géométrie descriptive*" è commentata da Théodore Olivier nell'introduzione alla seconda edizione del suo *Cours de géométrie descriptive*, dove spiega come la Geometria descrittiva serva a descrivere ciò che la mente vede e ciò che la mente ha visto, e dunque a rivelare ciò che si immagina come ciò che si conosce [Olivier 1843, p. VIII]. Secondo Gino Loria, Monge attribuiva alla Geometria descrittiva un valore teorico derivante dalla facilitazione che questa scienza dava alla concezione e allo studio delle figure geometriche, paragonandone i procedimenti a quelli dell'analisi e mostrandone l'identità essenziale [Loria 1896, pp. 22, 23].

[5] «Se rifacessi la mia opera intitolata *de l'analyse appliquée à la géométrie* [...] la scriverei in due colonne: nella prima darei le dimostrazioni attraverso l'analisi, nella seconda darei le dimostrazioni attraverso la Geometria descrittiva, in altri termini, con il metodo delle proiezioni; e forse ci si stupirebbe leggendo quest'opera – aggiungeva – nel vedere che il vantaggio sarebbe quasi sempre dalla parte della seconda colonna,

per la chiarezza del ragionamento, la semplicità della dimostrazione e la facilità di applicazione dei teoremi trovati ai diversi lavori degli ingegneri» (traduzione degli autori).

[6] «La raccolta di queste lezioni è il primo trattato di Geometria descrittiva in cui questa scienza è stata considerata in modo astratto e indipendentemente dalle sue applicazioni. [...] Vi si riconosce quella capacità di immaginazione che gli faceva scoprire le proprietà dell'estensione figurata» (traduzione degli autori).

[7] Per approfondimenti sull'École Polytechnique si veda Cardone 1996.

[8] L'influenza della Geometria descrittiva nelle applicazioni agli inizi del XIX secolo interessa prevalentemente la teoria degli ingranaggi, che rispondeva alle esigenze di una industrializzazione nascente, e la stereotomia della pietra, che si poneva invece in continuità con una tradizione secolare; per approfondimenti si veda Sakarovich 1998, pp. 299-319.

[9] In quegli anni, la Geometria descrittiva, consolidata e apparentemente compiuta, veniva ancora insegnata nelle facoltà di Matematica, Architettura e Ingegneria, da matematici come Gino Fano, Francesco Severi, Enrico Bompiani, Luigi Campedelli e, nella seconda metà del Novecento Orseolo Fasolo e Ugo Saccardi, sui quali ricadeva l'onere di tenere viva una scienza secolare apparentemente esausta: Migliari 2009, p. 19.

[10] «[La Geometria descrittiva] passò così dalle mani dei pratici a quelle dei teorici. Ben presto questi ultimi, dimenticandone la ragion d'essere, le diedero un'impostazione sempre più dogmatica [...] I teorici ci proibiscono di leggere nello spazio [...] e, per giustificare le loro pretese, fanno talvolta eseguire ai loro allievi costruzioni grafiche bizzarre, i cui dati sono scelti apposta in modo da rendere impossibile la visione» (traduzione degli autori). Nel commento alla citazione Sakarovich mette in evidenza come l'abolizione della cattedra di Geometria descrittiva del Conservatoire national des arts et métiers coincida approssimativamente con

la fine dell'insegnamento della Geometria descrittiva all'École Polytechnique, e con la fine dell'"età dell'oro" di questa disciplina in Francia: Sakarovitch 1998, p. 346.

[11] «L'architettura si è posta al di fuori di se stessa, al di fuori della propria scienza» (traduzione degli autori).

[12] Adrian Gheorghiu e Virgil Dragomir pubblicano nel 1968 il volume dal titolo *La représentation des structures constructives*, un'opera che

descrive le geometrie strutturali attraverso il disegno. Il volume è recensito da Federico Fallavollita nella rubrica *Lecture/Riletture* di questo numero della rivista *disegno*.

[13] Nel 2008 docenti di Geometria descrittiva di numerose università italiane, coordinati da Riccardo Migliari, hanno promosso un *Manifesto per il rinnovamento della geometria descrittiva* fondato sulla riscoperta del valore conoscitivo del disegno attraverso i metodi digitali della rappresentazione: Migliari et al. 2008.

Autori

Stefano Chiarenza, Dipartimento di Promozione delle Scienze Umane e della Qualità della Vita, Università San Raffaele Roma, stefano.chiarenza@uniroma5.it
Marta Salvatore, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, marta.salvatore@uniroma1.it

Riferimenti bibliografici

Adhémar, J. (1856). *Cours de mathématiques à l'usage de l'ingénieur civil, application de géométrie descriptive, coupe des pierres* (cinquième édition). Paris: Victor Dalmont, Mallet-Bachelier, Mathias, L. Hachette.

Adhémar, J. (1866). *Cours de mathématiques à l'usage de l'ingénieur civil, application de géométrie descriptive, ombres* (troisième édition). Paris: Eugène Lacroix, H. Asselin, L. Hachette et C^o.

Alberti, L.B. (1966). *L'architettura (De re aedificatoria)*, 2 voll., a cura di P. Portoghesi. Milano: Il Polifilo [Manoscritto, *De re aedificatoria*, 1452].

Boutroux, P. (1919). *Les principes de l'analyse mathématique. Exposé historique et critique* (tome second). Paris: Librairie scientifique A. Hermann & Fils.

Cardone, V. (1996). *Gaspard Monge scienziato della rivoluzione*. Napoli: Cuen.

Chassagnoux, A. (2006). David Georges Emmerich Professor of morphology. In *International Journal of Space Structures*, Vol. 21, No. 1, pp. 59-71. DOI: 10.1260/026635106777641144.

Delorme, P. (1568). *Le premier tome de l'architecture*. Paris: Chez Federic Morel.

De Paolis, R. (2020). *Fondamenti del progetto e processi di morfogenesi*. Milano: FrancoAngeli.

Dupin, C. (1825). *Géométrie et mécanique des arts et métiers et des beaux-arts*. Paris: Bachelier libraire.

Emmerich, D.G. (1969). *Cours de Géométrie Constructive. Morphologie*. Paris: École National Supérieure de Beaux-Arts.

Emmerich, D.G. (1970). *Exercices de Géométrie Constructive. Travaux d'étudiants*. Paris: École National Supérieure de Beaux-Arts.

Evans, R. (1997). *Architecture and Its Three Geometries*. Cambridge - London: The MIT Press.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1971). *Représentation géométrique des structures spatiales*. In *Cahiers du centre d'études architecturales*, n. 12-13.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1978). *Geometry of structural forms*. London: Applied science publishers LTD.

Hachette, J.N.P. (1811). *Traité élémentaire des machines*. Paris: J. Klostermann.

Hachette, J.N.P. (1822). *Traité de géométrie descriptive: comprenant les applications de cette géométrie aux ombres, à la perspective et à la stéréotomie*. Paris: Corby.

Leroy, C.F.A. (1842). *Traité de géométrie descriptive*. Paris: Bachelier.

Loria, G. (1896). *Il passato e il presente delle principali teorie geometriche*. Torino: Carlo Clausen.

Loria, G. (1935). *Metodi matematici*. Milano: Ulrico Hoepli.

Menges, A. (2011). Simple Systems – Complex Capacities. Integrative Processes of Computational Morphogenesis in Architecture. In *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1 (2), pp. 68-77. DOI: 10.13128/Techne-9928.

Mies van der Rohe, L. (1953). Anmerkungen zur Zeit. In *Baukunst und Werkform*, 6. Jg., Heft 6, pp. 275-277.

Migliari, R., De Carlo, L., Inzerillo, M., Corazzi, R. Cocchiarella, L. (2008). Un manifesto per il rinnovamento della geometria descrittiva. In B. Aterini, R. Corazzi (a cura di). *La geometria fra didattica e ricerca*, pp. 188-193. Firenze: Area.

Migliari, R. (2009). La geometria descrittiva nel quadro storico della sua evoluzione dalle origini alla rappresentazione digitale. In L. Carlevaris, L. De Carlo, R. Migliari (a cura di). *Attualità della geometria descrittiva*, pp. 15-42. Roma: Gangemi.

Migliari, R. (2012). Geometria-Costruzione-Architettura. In *DisegnareCon*, 5(9), pp. 1-4. <<https://disegnarecon.unibo.it/issue/view/337>> (consultato il 30 dicembre 2025).

Monge, G. (1798). *Géométrie descriptive*. Paris: Baudouin.

Nebuloni, A., Buratti, G. (2023). Design by data. From interfaces to responsive architectures. In *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 25, pp. 93-100. DOI: 10.36253/techne-13629.

Olivier, T. (1843). *Cours de géométrie descriptive*. Paris: Carilian-Goeury et Vor Dalmont.

Pérez-Gómez, A. (1982). Architecture as Drawing. In *Journal of Architectural Education*, vol. 36, n. 2, pp. 2-7.

Petitot, J. (2009). Modelli dinamici di morfogenesi e teorie della forma. In A. Cavazzini, A. Gualandi (a cura di). *Logiche del vivente. Evoluzione, sviluppo, cognizione nell'epistemologia francese contemporanea*, XIX, 1, 2009, pp. 205-226. Macerata: Quodlibet.

Poncelet, G.V. (1865). *Traité des propriétés projectives des figures*. Paris: Gauthier-villars Imprimeur libraire (prima ed. Paris: Bachelier 1822).

Pottman, H., Asperl, A., Hofer, M., Kilian, A. (2007). *Architectural geometry*. Bentley: Bentley Institute Press.

Ramirez-Figueroa, C., Dade-Robertson, M., Hernán, L. (2013). Adaptive Morphologies: Toward a Morphogenesis of Material Construction. In P. Beesley, M. Stacey, O. Khan (Eds.). *ACADIA 2013: Adaptive Architecture*, pp. 51-60. Cambridge, Ontario: Riverside Architectural Press.

Ritter, W. (1890). *Anwendungen der Graphischen Statik*. Nach Professor Dr. C. Culmann. Zürich: Verlag Von Meter & Zeller.

Rykwert, J. (1998). Translation and/or representation. In *RES: Anthropology and Aesthetics*, vol. 34, pp. 64-70.

Sakarovitch, J. (1998). *Épures d'architecture. De la coupe des pierres à la géométrie descriptive*. Basel, Boston, Berlin: Birkhauser Verlag.

Siegel, C. (1962). *Structure and Form in Modern Architecture*. New York: Reinhold Publishing Corporation.

Strappa, G. (1995). *Unità dell'organismo architettonico: note sulla formazione e trasformazione dei caratteri degli edifici*. Bari: Edizioni Dedalo.

Torroja, E. (1967). *Philosophy of Structures*. English edition by J.J. Polivka and Milos Polivka. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

Thompson, D'Arcy W. (1969). *Crescita e forma. La geometria della natura*. Torino: Boringhieri (prima ed. *On Growth and Form*. Cambridge 1942).

Turing, A. M. (1952). The chemical basis of morphogenesis. In *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, vol. 237, n. 641, pp. 37-72.