

# La rappresentazione delle forme costruttive

Federico Fallavollita

## Introduzione

Il volume *La représentation des structures constructives* di Adrian Gheorghiu e Virgil Dragomir [Gheorghiu, Dragomir 1968], architetto il primo, ingegnere il secondo, fu pubblicato in Francia nel 1968 come traduzione della precedente edizione in lingua rumena [1] (fig. 1). È un libro che considero un compagno di lavoro e, in un certo senso, un punto fermo nella mia formazione: da quasi vent'anni mi accompagna nei percorsi di ricerca, fin da quando, durante il mio dottorato di ricerca presso Sapienza Università di Roma, l'ho studiato come testo imprescindibile per lo studio geometrico delle superfici rigate. Con il passare degli anni ho compreso quanto quest'opera non sia soltanto un manuale tecnico, ma un vero trattato sul rapporto profondo tra forma, struttura e rappresentazione, capace di parlare ancora oggi a chiunque lavori sulla logica dello spazio, sia esso architetto, ingegnere o studioso della rappresentazione.

L'opera è articolata in tre sezioni principali. La prima parte, *Il disegno prospettico, la statica e l'estetica delle costruzioni* [2], è una lunga introduzione concettuale e tecnica dedicata al ruolo del disegno, e in particolare della rappresentazione assonometrica, come strumento di pensiero e come metodo

di analisi delle forme architettoniche. La seconda parte, *Dalle superfici geometriche alle vele sottili*, è una trattazione estesa sulle superfici curve, interpretate non solo come oggetti geometrici, ma anche come veri dispositivi costruttivi: ogni tipo di superficie è messo in relazione con esempi storici e contemporanei, cosa che crea una sorta di atlante visivo delle strutture curve. La terza parte, *Dai poliedri alle strutture costruttive reticolari*, si concentra infine sulle geometrie poliedriche e sulle strutture spaziali reticolari, mostrando come la comprensione profonda dei poliedri sia tutt'oggi indispensabile per sistemi tridimensionali complessi, dalle cupole geodetiche alle grandi coperture leggere. Inoltre, in questa sezione del volume è presente un capitolo intitolato *Surfaces Polyédriques*, il quale prefigura gli sviluppi della geometria delle *mesh* e, in certa misura, anche quelli della geometria delle superfici piegate riconducibili alla matematica degli origami [Pottmann et al. 2007]. Quest'ultima ha conosciuto negli ultimi anni un notevole avanzamento, favorito in parte dalla rivoluzione digitale.

Fin dalle prime pagine, gli autori chiariscono l'obiettivo dell'opera: presentare in modo sistematico i principi geometrici delle strutture architettoniche più recenti dell'epoca (ovvero gli anni '60),

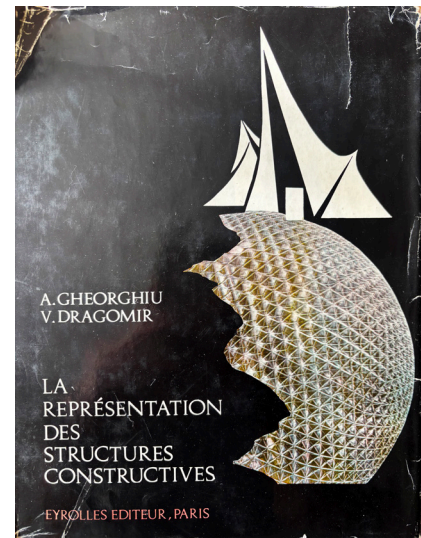


Fig. 1. Copertina della prima edizione francese del volume [Gheorghiu, Dragomir 1968].

e mostrare come il disegno assonometrico costituisca il linguaggio più adatto per comprenderle, controllarle e rappresentarle. Tale intento non è affatto secondario: esso riflette una precisa posizione epistemologica, per cui la geometria non è un linguaggio sovrapposto all'architettura, ma un sistema cognitivo che precede e informa la progettazione stessa.

#### *La distanza tra manualistica tecnica e processo progettuale*

Una delle critiche più attuali formulate dagli autori riguarda la frammentazione della manualistica tecnica. La maggior parte dei testi specialistici, osservano Gheorghiu e Dragomir, presenta solo l'esito finale del progetto: fotografie, prospetti semplificati, schemi costruttivi parziali. In questa modalità manca la continuità del processo logico: la selezione dei dati, le scelte geometriche, la genesi della forma. In altre parole, manca il "pensiero" che si colloca tra il problema e la soluzione. Per questo motivo il libro non vuole presentare solo risultati geometrici, ma i metodi che portano alla forma, ricostruendo il percorso che collega percezione, rappresentazione, verifica e costruzione.

A questa lacuna, individuata dagli autori nella maggior parte della manualistica tecnica, se ne aggiunge una seconda, di natura concettuale: la geometria delle rappresentazioni non ha seguito l'evoluzione della statica strutturale. Mentre i metodi di calcolo diventavano sempre più sofisticati, la componente geometrica rimaneva spesso legata a forme tradizionali, incapaci di accompagnare l'immaginazione tecnica verso nuove soluzioni spaziali. Il risultato è stato uno scarto crescente tra ciò che è possibile calcolare e ciò che è possibile immaginare e rappresentare. La geometria, invece, dovrebbe fungere da ponte: un

linguaggio comune che permette ad architetti e ingegneri di condividere visioni e metodi.

#### *Il ruolo della prospettiva parallela o assonometria*

La prima parte del libro propone una revisione approfondita delle tecniche del disegno prospettico parallelo, inteso non come semplice metodo di rappresentazione, ma come vero e proprio strumento di ricerca della forma. Per Gheorghiu e Dragomir la prospettiva parallela, a differenza delle doppie proiezioni ortogonali, permette una relazione più stretta tra immagine e spazio: preserva parallelismi, rapporti proporzionali e linearità, consentendo, allo stesso tempo, una lettura immediata e, soprattutto, manipolabile del volume.

È per questo che l'assonometria diventa il linguaggio centrale del volume. Il teorema di Pohlke-Schwarz, che garantisce la possibilità di rappresentare ogni sistema tridimensionale attraverso un'unica immagine bidimensionale, è la base teorica per costruire una geometria delle strutture che sia rigorosa e al tempo stesso intuitiva. L'assonometria, inoltre, permette di eseguire misurazioni dirette sul disegno, di comporre e scomporre forme, di controllare la coerenza di una struttura. In questo senso il disegno assonometrico diventa non solo un mezzo di rappresentazione, ma una "macchina di pensiero".

#### *Struttura, forma e immagine*

Il tema dell'interdipendenza tra forma e struttura è affrontato attraverso la rilettura critica della tradizione della stereotomia. Mentre nel passato la forma delle volte in conci era il risultato di un equilibrio complesso tra geometria e tecnica, oggi l'avvento di nuovi materiali quali acciaio, cemento armato, di membrane ed elementi prefabbricati

ha scardinato quella stessa logica. Eppure, sostengono gli autori, il principio fondamentale non è cambiato: la struttura deve essere pensata come sistema coerente di linee, superfici e volumi, e l'immagine spaziale che ne emerge deve rappresentare la sintesi di funzione, tecnica e forma.

L'immagine non è un ornamento, né un semplice effetto visivo: è la manifestazione di un ordine costruttivo. Un edificio "si esprime" attraverso la sua immagine, che trasmette la logica interna della struttura a chi lo osserva. Per questo motivo è essenziale che la geometria sia pienamente consapevole delle esigenze statiche: una forma priva di logica costruttiva produce un'immagine fuorviante, mentre una forma generata da una struttura coerente produce un'immagine chiara, storicamente e culturalmente significativa.

Gli autori insistono sul ruolo dell'intuizione nella genesi di ogni progetto. Riprendono un celebre pensiero di Pier Luigi Nervi, secondo il quale gli antichi costruttori riuscivano a concepire opere straordinarie senza disporre degli strumenti di calcolo contemporanei perché possedevano una profonda intuizione della forma e delle forze. Per Nervi, e per gli autori del libro, il calcolo non può sostituire questa intuizione, che è invece un risultato diretto della conoscenza geometrica e dell'esperienza costruttiva.

L'immagine preliminare della struttura, quella che emerge prima dei calcoli, è per Gheorghiu e Dragomir il cuore del processo progettuale. Tale immagine deve essere al tempo stesso suggestiva e rigorosa, capace di evolvere attraverso due serie di approssimazioni: una legata alla statica, l'altra legata alla rappresentazione. Nessuna delle due può procedere isolatamente: la forma non può essere definita senza

considerare le forze, così come la statica non può essere compresa se non attraverso una forma che la rappresenti correttamente.

*“Geometria descrittiva” e assonometria a confronto*

Ampio spazio è dedicato, nel volume, all’analisi del rapporto tra immagine, proiezione e disegno. L’immagine tridimensionale costituisce una sintesi complessa di percezioni visive, tattili e motorie; il disegno tecnico, tuttavia, deve necessariamente ridurre tale complessità a una costruzione regolata da principi geometrici. Le proiezioni, coniche o cilindriche, definiscono relazioni fondamentali tra i piani, quali congruenza, omotetia, affinità e prospettiva. Queste relazioni non rappresentano semplici astrazioni teoriche, ma veri e propri strumenti operativi attraverso i quali lo spazio può essere trasformato, analizzato e rappresentato.

Gli autori non negano l’importanza delle doppie proiezioni ortogonali per lo studio delle forme, ma sottolineano come l’intuizione percettiva si avvalga di un’immagine spaziale immediata, efficacemente resa dal metodo dell’assonometria. Entrambi i metodi condividono un aspetto essenziale: producono una rappresentazione reciproca che consente di ricostruire lo spazio a partire dall’immagine e, al tempo stesso, di intervenire sull’immagine come se si stesse operando direttamente sullo spazio tridimensionale.

Il confronto tra la Geometria descrittiva (per gli autori sinonimo di doppie proiezioni ortogonali) e l’assonometria è sviluppato con grande chiarezza. La doppia proiezione mongiana richiede notazioni complesse e non consente una lettura immediata del volume. L’assonometria, al contrario, fornisce una sola immagine sintetica, capace di

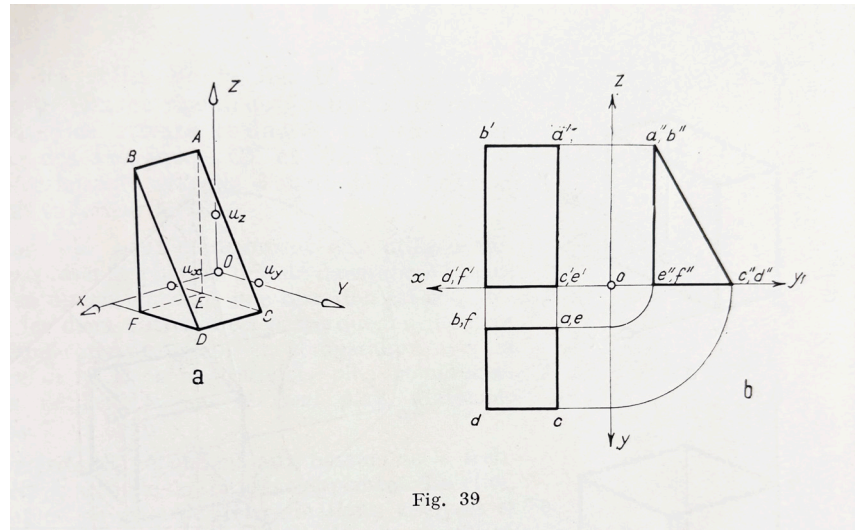


Fig. 39

Fig. 2. Confronto fra il disegno in “Geometria descrittiva” e l’assonometria obliqua [Gheorghiu, Dragomir 1968, fig. 39, p. 41].

preservare parallelismi e proporzioni, e permette di lavorare su tre scale diverse per i tre assi. Per questo motivo gli autori considerano la prospettiva parallela uno strumento più vicino alla logica del progetto e più utile per descrivere strutture complesse come quelle reticolari o superficiali (fig. 2).

Particolarmente interessante è la riflessione sulla scelta degli assi e delle unità dell’immagine: gli autori mostrano come una scelta avventata possa deformare l’immagine fino a renderla inutilizzabile, mentre una scelta accurata, spesso guidata dalla costruzione del “cubo guida”, produce un’immagine equilibrata e leggibile. Questa attenzione al dettaglio grafico rivela come la geometria delle rappresentazioni non sia una disciplina puramente tecnica, ma una vera arte della percezione.

Un’ulteriore osservazione sull’assonometria, particolarmente significativa,

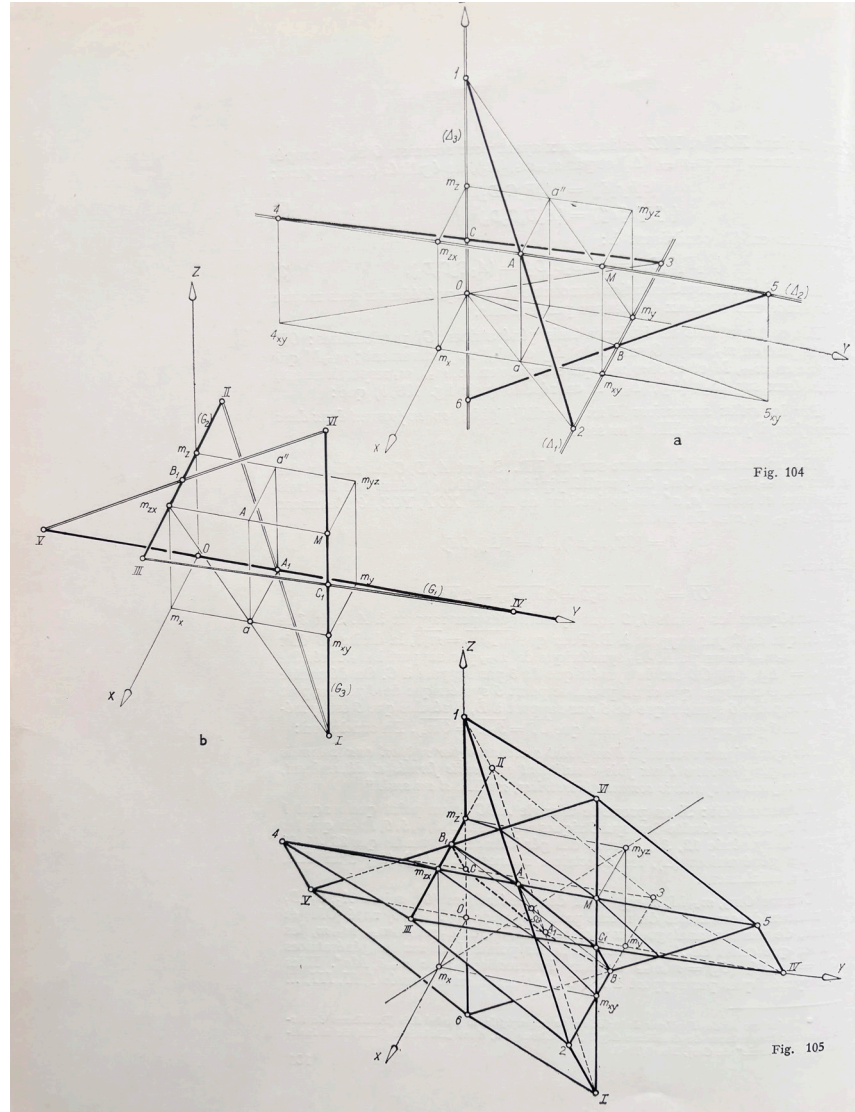
merita di essere riportata testualmente: «L’immagine spaziale non è conforme alla vista umana (a distanza finita), come nella prospettiva conica, ma è sufficientemente buona, soprattutto per oggetti di piccole dimensioni, oppure per oggetti molto grandi ma osservati da grande distanza (nel loro insieme)» (p. 42). Il confronto implicito con la prospettiva e con la percezione visiva apre un ampio campo di possibili riflessioni; è tuttavia sufficiente notare come gli autori mostrino piena consapevolezza dell’esistenza di due modalità fondamentali per rappresentare il mondo: come esso è e come esso appare [Arnheim 2009]. L’assonometria si configura, nella loro interpretazione, come una soluzione intermedia, capace di descrivere la struttura oggettiva delle forme senza discostarsi eccessivamente dalla loro apparenza percettiva.

Un esempio personale: il parallelepipedo costruttore

Tra le molte intuizioni e indicazioni contenute nel libro, una ha avuto per me un ruolo decisivo: la costruzione di quello che chiamo il "parallelepipedo costruttore" [3], descritto nel paragrafo *Problèmes de fermeture sur un HR* (fig. 3). Durante il mio corso di Dottorato, studiavo il problema della generazione esatta di un iperboloido rigato definito da tre rette sghembe [Fallavollita 2008] [4]. Le tecniche basate sull'interpolazione delle generatrici erano insufficienti per costruire la superficie in modo completo e accurato: producevano superfici approssimate, non rigorosamente quadriche [5]. Avevo compreso, anche grazie alla lettura della *Geometria intuitiva* di David Hilbert [Hilbert, Cohn-Vossen 1960], che un iperboloido ellittico può essere ottenuto deformando un iperboloido di rivoluzione attraverso una trasformazione affine. Ma per applicare questa idea era necessario individuare con precisione il centro dell'iperboloido generico.

La costruzione riportata da Gheorghiu e Dragomir fornisce esattamente questo: un metodo geometrico rigoroso, basato sulla costruzione di un parallelepipedo associato alle rette direttrici, che permette di individuare il centro della superficie e quindi di generare l'iperboloido in modo esatto. Si tratta di un passaggio concettualmente semplice ma estremamente efficace, che ha influito in maniera determinante sul modo di interpretare la genesi geometrica dell'iperboloido ellittico come superficie quadrica rigata che si appoggia su tre rette date (fig. 4). La procedura costruttiva è estremamente semplice: consiste nel determinare i piani paralleli che passano per ciascuna

Fig. 3. La costruzione del "parallelepipedo costruttore" [Gheorghiu, Dragomir 1968, fig. 105, p. 102].



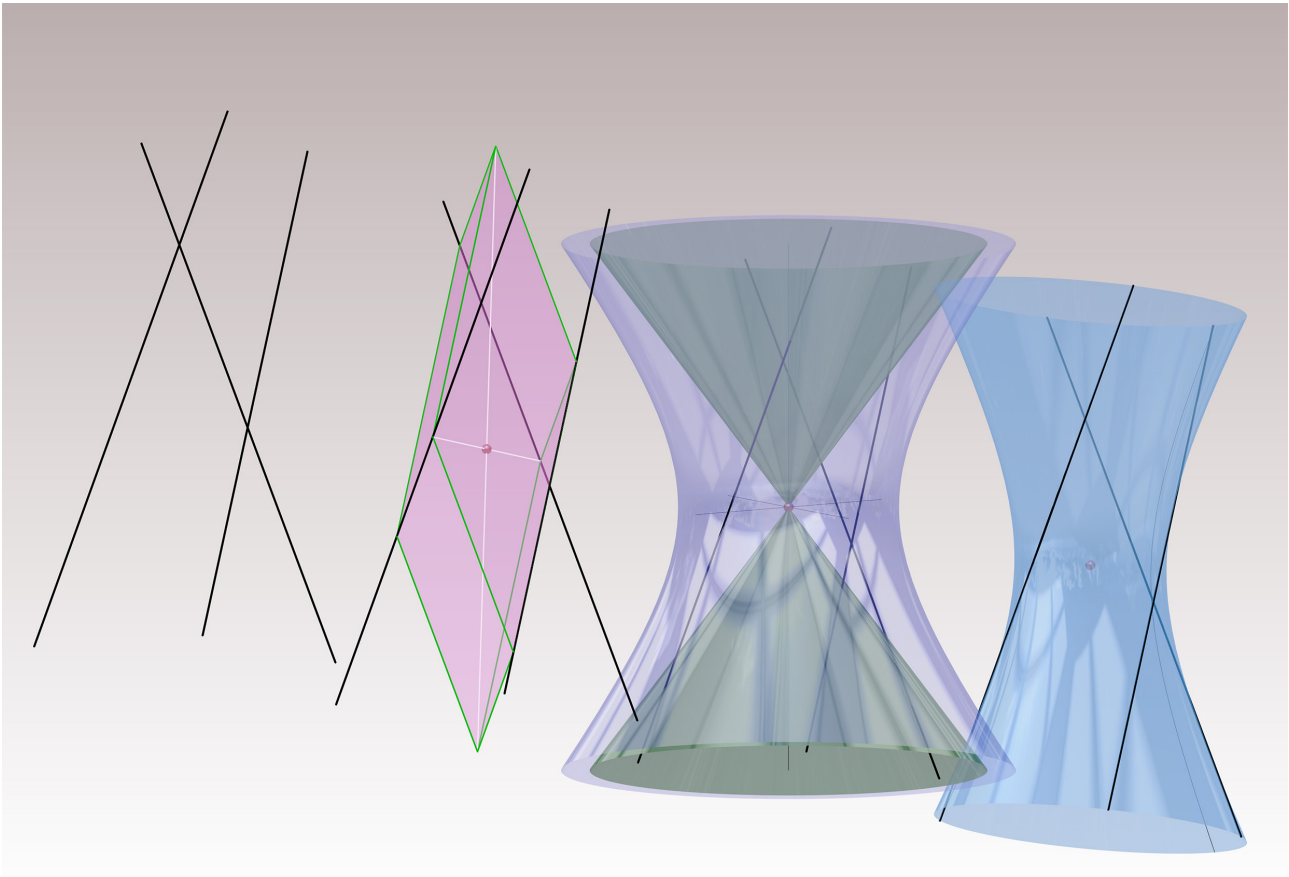


Fig. 4. La costruzione dell'iperboloide ellittico per tre rette sghembe (elaborazione grafica dell'autore).

delle tre rette sghembe assegnate. Tali piani si ottengono costruendoli a coppie. In primo luogo, si sovrappone la prima retta alla seconda e si determina il piano passante per entrambe; successivamente, si riporta questo piano sulla prima retta per ottenere il piano ad essa parallelo. Ripetendo la medesima operazione per ciascuna

coppia di rette si ricavano complessivamente sei piani: tre coppie di piani paralleli che definiscono il parallelepipedo costruttore.

#### Conclusioni

Nelle conclusioni, gli autori presentano la Geometria delle strutture come una disciplina centrale, in grado di guidare

l'immaginazione progettuale ben oltre ciò che il calcolo permette di verificare. La geometria non è un linguaggio accessorio, né un mero strumento tecnico: è il fondamento attraverso il quale è possibile comprendere e controllare la forma, anticiparne il comportamento strutturale, verificarne il senso estetico.

Fig. 5. I conoidi [Gheorghiu, Dragomir 1968, fig. 181, p. 167].

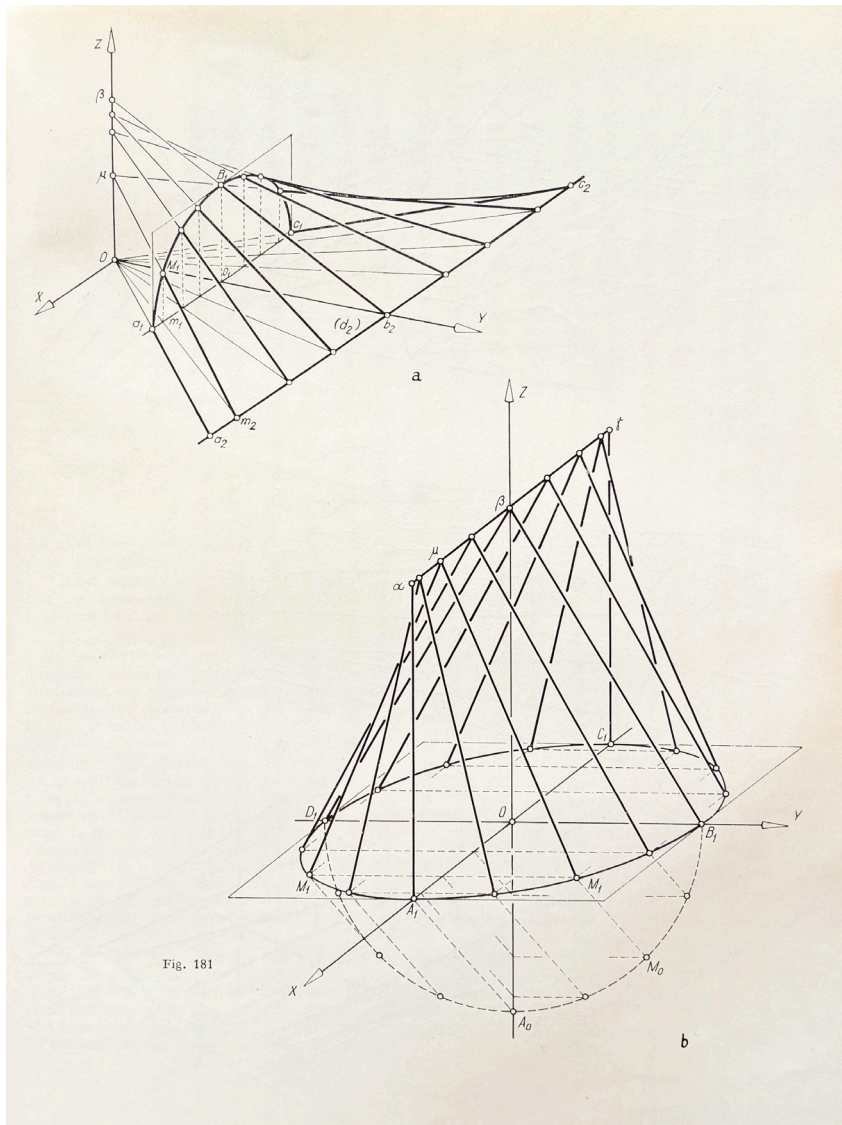


Fig. 181

Le nuove possibilità offerte dai metodi computazionali ampliano enormemente lo spettro delle forme realizzabili, ma tali forme, per essere convincenti e corrette, devono essere radicate in una solida conoscenza geometrica. In questo senso, sostengono gli autori del volume in esame, la Geometria delle strutture deve elaborare gli algoritmi che permetteranno ai computer di assistere, e non sostituire, l'immaginazione creativa.

Il libro si colloca dunque all'interno di un tema più ampio: la Geometria delle forme, delle strutture e delle rappresentazioni nell'architettura e nell'ingegneria contemporanea. A oltre cinquant'anni dalla sua pubblicazione, esso appare sorprendentemente attuale: offre un metodo, un linguaggio e una visione capaci di affrontare la complessità delle forme contemporanee senza rinunciare alla solidità teorica che caratterizza la grande tradizione geometrica europea.

L'ultima considerazione riguarda il valore delle costruzioni geometriche illustrate e delle relative figure (figg. 5-7). L'opera è stata concepita e redatta poco prima dell'avvento della rivoluzione informatica che ha profondamente trasformato la rappresentazione grafica. Nonostante ciò, la qualità delle immagini non ne risente affatto: le forme geometriche sono rappresentate con grande chiarezza, cosa che consente una lettura impeccabile delle configurazioni tridimensionali. Questo risultato è ottenuto mediante strumenti grafici estremamente semplici: vengono infatti impiegati due soli spessori di linea, uno sottile per le costruzioni e uno più marcato per il risultato finale, ossia per le forme descritte. I punti di vista adottati sono sempre ottimali e funzionali alle procedure presentate. Nessun artificio grafico, dunque, ma un'efficacia notevole rispetto agli obiettivi prefissati.

Fig. 6. Griglie dodecaedriche [Gheorghiu, Dragomir 1968, fig. 310, p. 266].

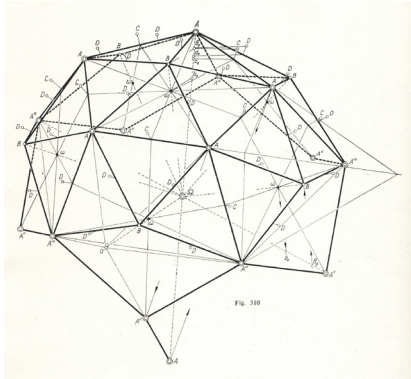
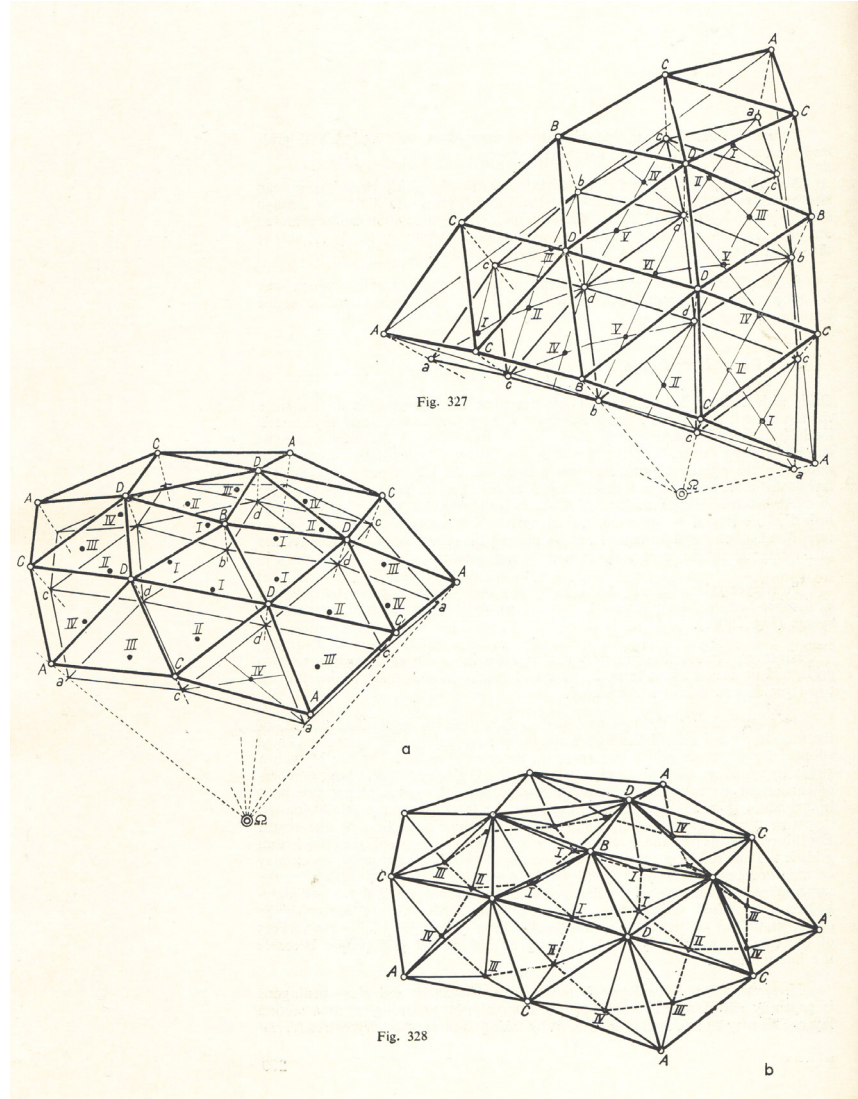


Fig. 7. Cupole geodetiche a doppio strato [Gheorghiu, Dragomir 1978, figg. 327 e 328, p. 287].



Per quanto riguarda le costruzioni illustrate, a una lettura superficiale si potrebbe ritenere che esse siano ormai “superate” o “inutili”, poiché oggi è possibile operare direttamente nello spazio tridimensionale. Si tratta, tuttavia, di un giudizio infondato. La maggior parte delle procedure proposte nel testo corrisponde infatti a operazioni che, anche nei moderni ambienti digitali, vengono applicate direttamente alle forme nello spazio. L'assonometria, in particolare, è impiegata come strumento per indagare le configurazioni geometriche in modo immediato e spaziale. Sono in realtà poche le costruzioni che la modellazione digitale rende superflue.

In conclusione, le costruzioni esposte mantengono piena attualità e costituiscono ancora oggi un supporto efficace per comprendere, generare e analizzare superfici e poliedri, tanto nella loro dimensione astratta quanto nelle loro potenziali applicazioni architettoniche.

**Note**

[1] La prima edizione del volume è stata pubblicata a Bucarest in lingua rumena nel 1968 con il titolo *Probleme de reprezentare a structurilor constructive* [Gheorghiu, Dragomir 1968]; esiste anche un'edizione inglese dell'opera, pubblicata nel 1978 dal titolo *Geometry of Structural Forms* [Gheorghiu, Dragomir 1978].

[2] Tutte le traduzioni in italiano dal testo originale, consultato in lingua francese, sono dell'autore.

[3] Nel libro tale costruzione viene riportata sotto una formulazione differente. Il teorema in questione è riportato nel paragrafo *Problèmes de fermeture sur un HR* e afferma: «I simmetrici successivi di un punto qualsiasi dello spazio in rapporto a un triangolo percorso due volte costituiscono una forma chiusa e determinata, in cui i raggi di simmetria sono le generatrici di un solo iperboloido rigato ad una falda»: Gheorghiu, Dragomir 1968, p. 101.

[4] La costruzione dell'iperboloido per tre rette sghembe è stata anche pubblicata in Migliari 2009, par. 2.3.4, *L'iperboloido a una falda*.

[5] Il problema risiede nel fatto che, nell'attuale rappresentazione matematica basata sulle NURBS, non è disponibile un comando automatico per generare una superficie rigata definita da tre direttrici assegnate. È possibile ottenere la superficie unicamente in forma approssimata, mediante interpolazione delle tre linee fornite; tuttavia, il risultato così ottenuto non risulta rigoroso né pienamente accurato.

**Autore**

Federico Fallavollita, Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, federico.fallavollita@unibo.it

**Riferimenti bibliografici**

Arnheim, R. (2009). *The dynamics of architectural form: 30th anniversary edition*. Berkeley: University of California Press.

Fallavollita, F. (2008). *Le superfici rigate e le superfici sviluppabili: una rilettura attraverso il laboratorio virtuale*. Tesi di dottorato di ricerca in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo, tutor prof. Riccardo Migliari. Sapienza Università di Roma.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1968). *Probleme de reprezentare a structurilor constructive*. Bucarest: Tehnica.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1968). *La représentation des structures constructives*. Paris: Éditions Eyrolles.

Gheorghiu, A., Dragomir, V. (1978). *Geometry of structural forms*. London: Applied Science Publishers.

Hilbert, D., Cohn-Vossen, S. (1960). *Geometria intuitiva* (Vol. 63). Torino: Paolo Boringhieri.

Migliari, R. (2009). *Geometria descrittiva*. Vol. II, *Tecniche e applicazioni*. Novara: CittàStudi.

Pottmann, H., Asperl, A., Hofer, M., Kilian, A. (2007). *Architectural geometry*. S.I. (Canada): Bentley Institute Press.