

**Forma, formula e funzione.
Disegno e pratiche del costruire**

Alessio Bortot

*Chi possiede con chiarezza la struttura di una forma
ne possiede la ragione ultima, l'andamento specifico
al fuori delle qualità contingenti della forma medesima.¹*

Il presente contributo si interroga in prima battuta sulla relazione che intercorre tra il sapere costruttivo stereotomico e la pratica del disegno, inteso quale strumento di supporto al progetto. La constatata complessità formale delle strutture in blocchi lapidei a secco offre però l'occasione per un'analisi di più ampio respiro riferita ad altri ambiti del costruire, artigianali e non, altrettanto caratterizzati da superfici geometricamente ardite. Dai casi studio analizzati emerge il profondo legame tra forze naturali e ideazioni tecniche, la stereotomia si è infatti da sempre confrontata con la forza di gravità, mentre l'architettura navale ha da sempre ottimizzato la forma dei propri oggetti in funzione di fattori idrodinamici. La complessità morfologica dei manufatti appartenenti ai citati ambiti non nasce quindi da un processo di mimesi della natura, ma piuttosto in rapporto alle forze che la caratterizzano al fine di perfezionare la forma in funzione della struttura. In questa prospettiva di analisi il ruolo del disegno sembra storicamente secondario, emerge invece l'importanza del modello, inteso sia come strumento fisico di progetto che come idea archetipica e quindi astratta. Proprio in relazione all'idea di modello verrà preso in esame un ulteriore esempio di produzione di oggetti legati al rapporto forma-struttura, capace di far emergere un differente approccio, non più di tipo intuitivo ed empirista, ma di tipo matematico, votato infatti alla parametrizzazione delle forme.

Il termine "stereotomia", di origine greca, si compone etimologicamente dei lemmi "solido" e "taglio", identificando l'arte di tagliare, con precisa logica geometrica, blocchi in pietra costituenti complesse strutture a secco. Gli straordinari esempi medievali di manufatti realizzati con tale tecnica, rintracciabili soprattutto in ambiente spagnolo e francese, ma anche in quelli italiano e britannico, presentano soluzioni formali di grande complessità morfologica. Le origini di questo sapere non sono univocamente definite, gli esempi più antichi, relativi prin-

cipalmente a sistemi voltati, rintracciati dagli storici già a partire dal III secolo a.C. nell'area Siro-Armena.² Secondo tali ricerche il sapere stereotomico si sarebbe diffuso all'intero del bacino del mediterraneo nel periodo delle crociate, passando attraverso la penisola iberica, importato oralmente grazie alle maestranze specializzate. Giunta in territorio locale, tale pratica costruttiva, dal carattere fortemente iletico, si è diffusa all'interno dei cantieri ove i capimastri istruivano i futuri *massonier* direttamente *in situ*, custodendo gelosamente i segreti corporativi. Nel periodo rinascimentale assistiamo invece alla pubblicazione di numerosi trattati o manoscritti che in parte fanno luce sulle soluzioni tecniche adottate grazie anche ad un linguaggio grafico-geometrico sempre più condiviso e definito. Nel 1567 Philibert de L'Orme (c. 1514-1570) pubblica a Parigi il suo trattato *Le premier tome de l'architecture*, considerato come uno dei primi "manuali" stereotomici. A questo ne seguiranno molti altri, nei secoli successivi fino al XIX soprattutto in territorio francese e spagnolo, ma anche in Italia, se consideriamo l'opera, pubblicata postuma, di Guarino Guarini (1624-1683)³.

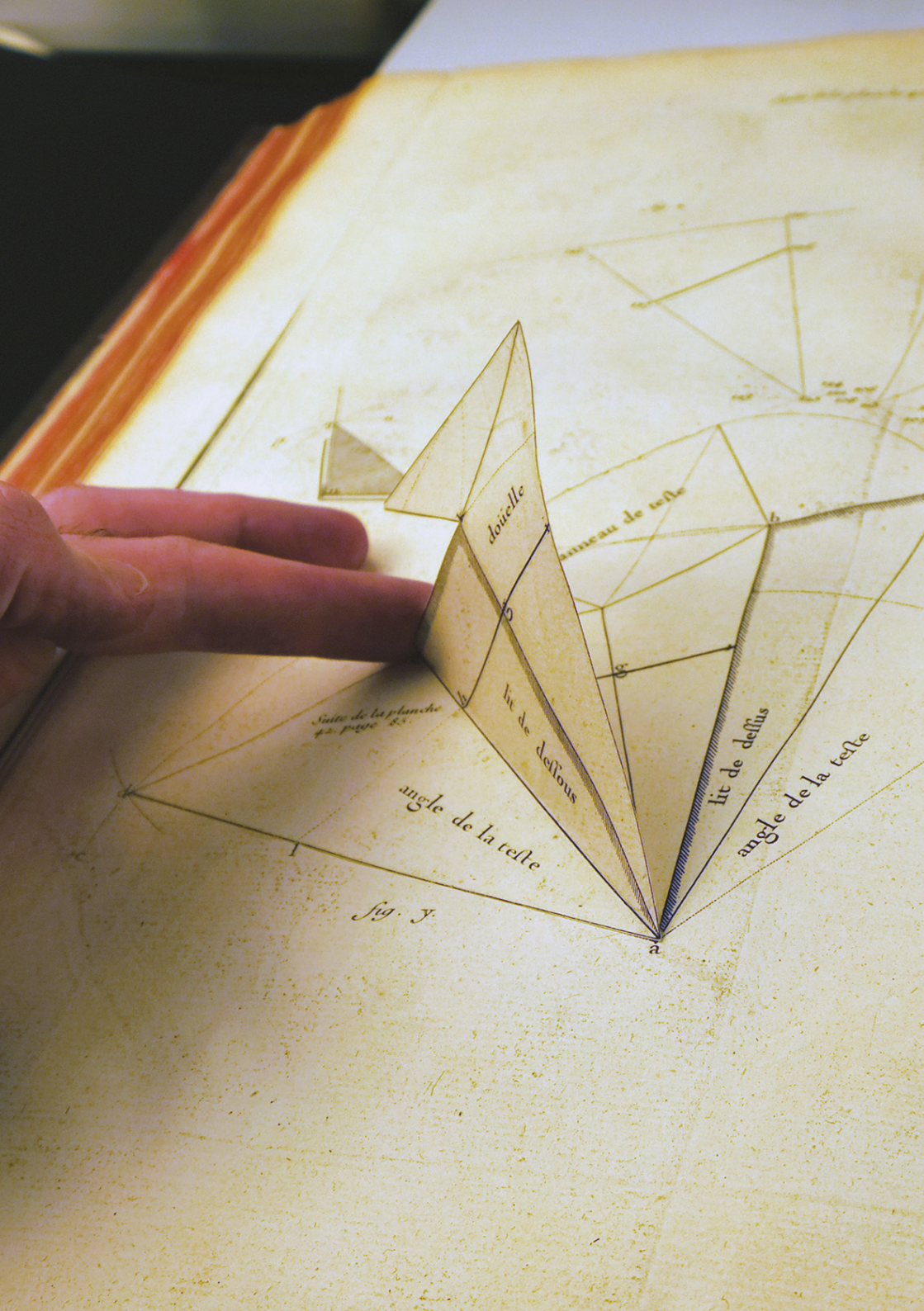
Oltre agli storici delle costruzioni, tale tecnica ha da sempre interessato gli studiosi di geometria descrittiva e di storia dei metodi della rappresentazione. In effetti la *ratio* che emerge dalle tavole a corredo dei trattati relativi a questo sapere sono sempre state di grande interesse nella ricerca dell'origine teorica di molte delle operazioni tipiche della geometria proiettiva (ribaltamenti di piani, sviluppi di superfici, processi omologici, ecc.), oggi giorno assodate e introiettate nei software dedicati alla modellazione 3D. Uno degli aspetti più interessanti di questa relazione tra sapere geometrico e sapere tettonico consiste nel ruolo svolto dalla rappresentazione all'interno dei cantieri: in epoca cinquecentesca la scienza delle costruzioni stava fondando i propri assunti attraverso metodi di tipo grafico, ma la correttezza dei disegni dei singoli blocchi, definiti attraverso piani di taglio specifici per ciascuna faccia, era già in grado di garantire l'efficienza meccanica delle strutture. Va precisato come ricondurre l'evoluzione dei metodi di rappresentazione alla sola stereotomia sarebbe riduttivo: altri ambiti attestanti l'impiego del disegno geometrico sono infatti la gnomonica e la prospettiva, legata quest'ultima alle ricerche sull'ottica. Ad ogni modo, la suddivisione in conci lapidei di superfici architettoniche sovente molto complesse, ebbe un ruolo fondamentale nell'evoluzione

dei metodi del disegno di progetto: basti ricordare che Gaspar Monge (1746-1818) impiegherà proprio questo genere di casi studio per illustrare il suo metodo impiegante le doppie proiezioni ortogonali⁴. Quest'ultima osservazione non deve stupire se pensiamo che il metodo di Monge, con le relative operazioni di ribaltamento di piani, mira proprio a illustrare nelle due dimensioni la vera forma degli elementi nello spazio, con evidenti vantaggi in ambito costruttivo.

In apertura però abbiamo osservato come le origini della stereotomia siano ben più remote, risalenti ad un periodo nel quale la storia evolutiva del disegno risulta sempre più incerta. I primi tracciati stereotomici giunti fino a noi si trovano incisi direttamente sui pavimenti (fig. 1), in taluni casi sulle pareti, di alcune cattedrali gotiche europee. A questo proposito Josè Calvo-Lopéz afferma che

i tracciati erano preparati direttamente sotto gli elementi architettonici in fase di costruzione con l'obiettivo di controllare il posizionamento dei blocchi. In generale, nel periodo gotico essi venivano realizzati sulle impalcature posizionate sotto le volte, al livello del piano d'imposta, mentre nei secoli successivi venivano realizzati direttamente sui pavimenti.⁵

Questi “disegni” in scala al naturale, che sembrano dei frammenti di un grande trattato inciso sulla pietra, erano quindi probabilmente usati per risolvere dei problemi configurativi e statici specifici di blocchi lapidei appartenenti a congiunti particolarmente complessi. In altre parole, la loro funzione non era quella di rappresentare problemi generali, né tantomeno quella di diffondere soluzioni mutuabili in altri contesti costruttivi, come capiterà invece nella trattatistica rinascimentale. Ma allora la rappresentazione della complessità configurativa doveva avvenire attraverso modelli fisici in legno, gesso o argilla, quali materializzazioni di modelli morfologici astratti, archetipi di forme architettoniche. Il prevalere del modello, inteso come strumento di progetto, sul disegno, si protrarrà fino al periodo rinascimentale non solo per ragioni concettuali o di metodo, ma anche per contingenze legate alla scarsità e quindi al costo di supporti grafici come le pergamene. Grandi architetti del XV e XVI secolo nelle loro opere teoriche, come ad esempio Leon Battista Alberti in Italia o Philibert de l'Orme in Francia, suggeriranno l'impiego di tali strumenti tridimensionali



douteille

niveau de teste

lit de dessous

lit de dessus

angle de la teste

angle de la teste

Suite de la planche
par figure 2.

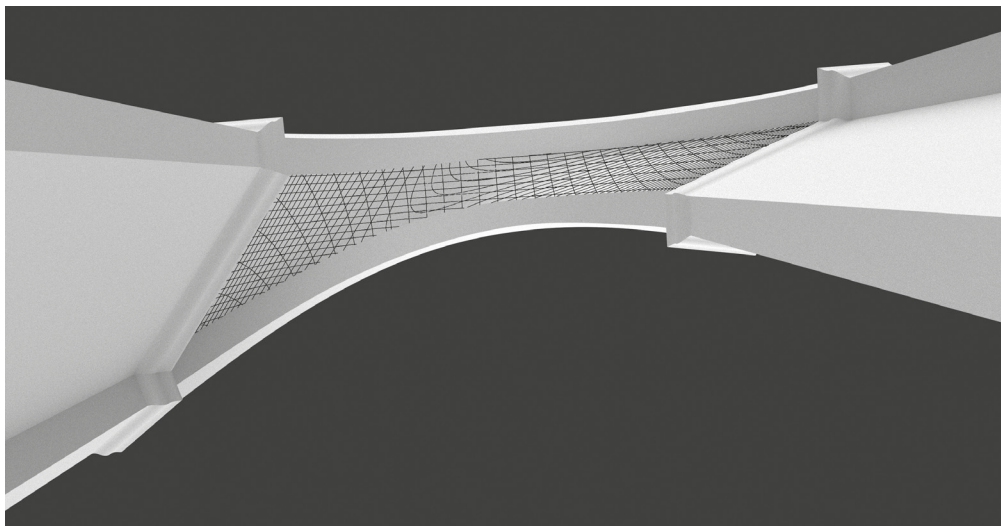
fig. y

a



Nell'immagine precedente: J.-B. de la Rue, *Traité de la coupe des pierres*, Paris 1728, pl. 42 bis. Rappresentazione dell'angolo solido tra le facce dei conci appartenenti ad una *trompe* visualizzato all'interno del trattato attraverso un modello in carta ribaltabile. Foto di Alessio Bortot.

Sopra: Michelangelo Simonetti, portale di collegamento tra ambienti espositivi del Museo Pio Clementino presso i Musei Vaticani a Roma (1780 circa). Foto di Alessio Bortot



Vista prospettica renderizzata dal basso del modello digitale del portale del Museo Pio Clementino con in evidenza alcune curve di sezione longitudinali e trasversali.
Elaborazione grafica di Alessio Bortot

per il controllo dell'opera e non soltanto per la mera comprensione del committente. Alcuni studiosi⁶ sostengono che i disegni di progetto verranno ricavati attraverso l'osservazione del clone in scala della fabbrica da costruire, prassi quest'ultima che non si discosta poi di molto dalle consuetudini contemporanee legate alla progettazione attraverso strumenti di modellazione digitale.

Nel Seicento, ma in parte anche nei secoli seguenti, verranno esaltate forme del costruire sempre più ardite per comporre quei casi architettonici che Joseph Connors definirà "virtuosi"⁷. Questa tendenza coinvolge molti ambiti, non direttamente riferibili all'architettura, ma parimenti capaci di far bella mostra di superfici morfologicamente complesse, in parte derivanti dalla deformazione di elementi geometrici canonici. Agostino De Rosa assieme a chi scrive⁸, hanno identificato in questo contesto un inedito e affascinante caso studio: un portale di collegamento tra due ambienti espositivi presente nel Museo Pio Clementino presso i Musei Vaticani a Roma, realizzato dall'architetto Michelangelo Simonetti (1724-1781) attorno al 1780 (figg. 2, 3). La grande apertura, di passaggio tra una stanza a pianta rettangolare ed una a pianta circolare, è caratterizzata da un arco fortemente deformato che insiste sulle due porzioni murarie tra loro non parallele. Ne risulta una superficie di intradosso riconducibile ad una rigata con direttrici rettilinee e due generatrici: la prima, una semicirconferenza planare, e la seconda, una curva gobba, essendo generata dall'intersezione tra due cilindri ideali, uno ad asse verticale e l'altro orizzontale. Difficile rintracciare le ragioni di tale capriccio in esigenze di tipo costruttivo: allora gli autori ipotizzano, quali fonti di ispirazione, alcune immagini pittoriche, deformate anamorficamente, realizzate a Roma nel periodo Barocco soprattutto dai frati Minimi e Gesuiti, ma anche una discendenza tipicamente settecentesca, indirizzata ad una predilezione per la modellazione multi-assiale, ascrivibile nella così detta *Ars Tornandi*⁹. Si tratta di un'arte basata sull'idea di sottrazione, i cui prodotti materici esaltavano l'eccentricità geometrica delle forme, eccitando non poco l'immaginazione creativa dei costruttori. Volendo trovare un riferimento nell'ampio repertorio di archi stereotomici, così come rappresentati nella letteratura specialistica, si potrebbe affermare che l'arco del museo Pio Clementino rappresenta un caso estremo di *bias-passé*. Quest'ultima affermazione consentirebbe anche di ipotizzare una possibile definizione dell'apparecchiatura stereotomica co-

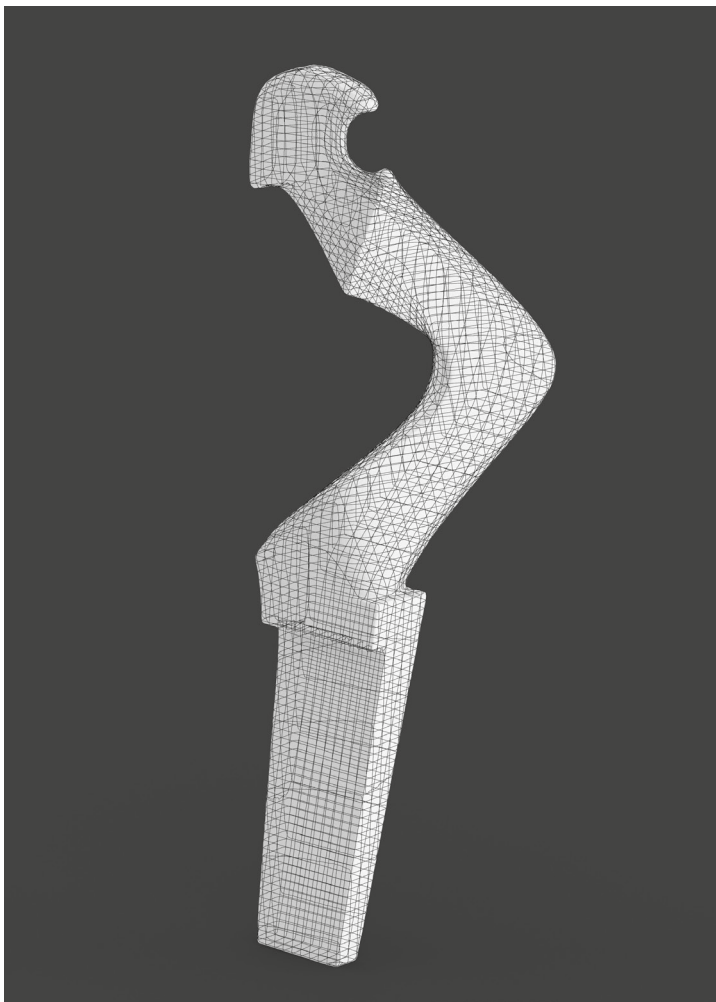
stituente l'arco, desumibile dalla trattatistica coeva o antecedente, più che dalla struttura stessa, vista l'assenza di fughe visibili tra i presunti conci¹⁰. Ovviamente questa sorta di grande nastro che si va torcendo nello spazio potrebbe anche essere stato scavato da un blocco unico di marmo, come una grande scultura ad arco deformata in base a leggi ottiche.

Si accennava poc'anzi alla rappresentazione pittorica di elementi architettonici deformati anamorficamente: ebbene il tema della "deformazione" offrirà ampi spunti per arricchire il repertorio delle superfici complesse anche nelle tre dimensioni nell'ambito del costruire, si pensi banalmente alla galleria in prospettiva solida (1652-1653), realizzata da Francesco Borromini (1599-1667), presso palazzo Spada a Roma. Se la "scienza dell'arte", con le sue derive proiettive più estreme, come appunto le anamorfosi, ha contribuito al concepimento di nuove forme nello spazio, altrettanto potremmo dire per quanto concerne la formalizzazione dell'assonometria. Gli oggetti non si deformano di per sé, ma subiscono un'alterazione dei loro rapporti proporzionali, poiché attraversano astrattamente spazi a loro volta deformati in maniera prospettica o assonometrica. Allora le forme della rappresentazione, oltre a ricondurre gli oggetti dallo spazio tridimensionale a quello bidimensionale del foglio, informano anche la configurazione delle superfici caratterizzanti gli oggetti stessi.

Altri ambiti del costruire si sono da sempre confrontati con superfici geometricamente complesse, con la loro rappresentazione e realizzazione, primo fra tutti il settore navale. Le chiglie delle imbarcazioni, ad esempio, presentano superfici a doppia curvatura talvolta non sviluppabili e quindi difficilmente figurabili sul foglio da disegno. L'evoluzione storica delle imbarcazioni è avvenuta in tempi antichi attraverso un processo di prove ed errori, capace di ottimizzare la forma in relazione a esigenze di tipo idrodinamiche. Si tratta anche in questo caso di un sapere di tipo artigianale, custodito all'interno dei cantieri e tramandato oralmente almeno fino alla pubblicazione dei primi trattati sull'argomento comparsi, ancora una volta, nel periodo cinquecentesco. Certo, rispetto alle pratiche stereotomiche, si tratta di gestire materiali, sistemi strutturali, azioni e reazioni completamente differenti, ma il problema di tradurre un modello morfologico complesso in una sua rappresentazione a fini realizzativi è analogo¹¹. Osservando ad esempio i disegni dedicati ad imbarcazioni tradizionali

in legno di piccolo e medio pescaggio emerge un'interessante sistema di tracciamento delle sezioni longitudinali e trasversali basato sul così detto "metodo del sesto". Si tratta di definire il profilo delle semi-ordinate, partendo dalla principale, ovvero quella mediana di maggiori dimensioni. Tale curva viene definita in scala al naturale, grazie ad un unico strumento, il sesto appunto, una sorta di grande curvilineo in legno graduato che permette di tracciare curve (spesse volte archi di parabola) raccordate tangenzialmente a segmenti rettilinei (nel caso in cui si tratti di un'imbarcazione a fondo piatto). Storicamente queste curve sono state ottimizzate in differenti contesti geografici, tanto che il medesimo procedimento risulta diffuso dal bacino del Mediterraneo al nord Europa, garantendo la realizzazione di differenti tipologie di scafi specifici dei diversi contesti marittimi. I vantaggi di questo sistema consistono nella possibilità di controllare le complesse superfici a doppia curvatura, definendo l'andamento reciproco delle sezioni principali il cui numero varia in base allo specifico natante, evitando in tal modo possibili irregolarità dello scafo, garantendone la continuità di curvatura¹².

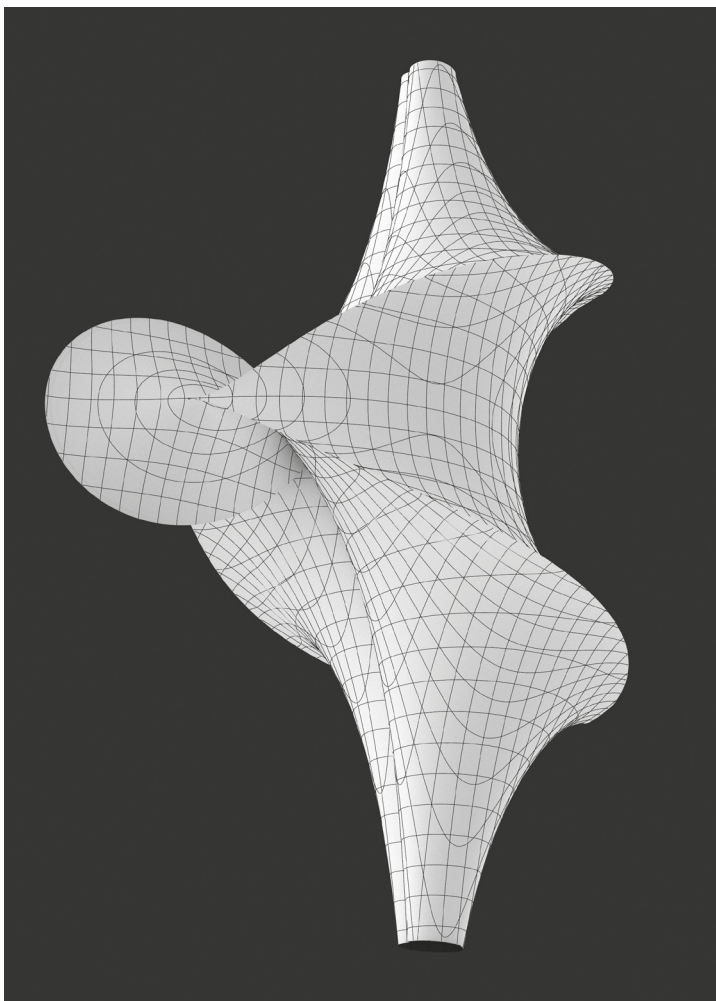
Nel panorama dell'architettura navale veneziana esistono poi altri elementi, come la *fórcola*, la cui prassi costruttiva esalta per contrasto la relazione intercorrente tra rappresentazione e complessità formale (fig. 4). Il termine probabilmente deriva dal latino "furcola", ovvero l'osso a forma di forcina presente nella cassa toracica degli uccelli. La *fórcola* è uno scalmo, una sorta di fulcro, o altrimenti l'appoggio sul quale si fa perno con il remo per vogare sulle barche della laguna veneta. Nel passato, così come oggi, le *fórcole* venivano costruite dai "remèri", artigiani locali organizzati in corporazioni e specializzati nella costruzione di scalmi e remi. Tali strumenti erano normalmente realizzati con legni pregiati come il noce nazionale, meno frequentemente con legni di acero, ciliegio, pero o melo. Ogni superficie costituente lo scalmo veneziano, la cui dimensione si aggira attorno ai 90 cm, viene chiamata con termini dialettali molto precisi, riferibili a parti anatomiche, dal basso verso l'alto troviamo: la "gamba", l'"anca", il "gomito", la "testa", l'"orecchio", il "naso inferiore", il "morso" e il "naso superiore". L'oggetto viene scolpito da uno dei quattro spicchi di tronco ricavati tagliando verticalmente un ceppo da almeno 60 cm di diametro dopo averlo lasciato stagionare per circa due anni. Il processo di realizzazione comincia con una meticolosa



Vista assonometrica renderizzata del modello digitale di una forcola da poppa per gondola
con in evidenza alcune curve di sezione longitudinali e trasversali.
Elaborazione grafica di Alessio Bortot.

osservazione del tronco attraverso l'utilizzo di una speciale sagoma in legno detta "dima", utile a immaginare la migliore rotazione possibile dell'oggetto finale all'interno del volume da scolpire in funzione delle venature del tronco. Ci sembra interessante sottolineare come la definizione di questo complesso oggetto – privo di qualsivoglia superficie planare – avvenga solamente attraverso l'uso di un'unica proiezione ortogonale rappresentata dalla detta dima, simile in linea di principio ai *panneaux* impiegati dai maestri lapicidi per la costruzione dei singoli blocchi caratterizzanti gli apparati stereotomici. Secondo la tradizione anche in questo ambito costruttivo l'*expertise* dei remèri è stata tramandata oralmente da maestro ad apprendista direttamente nelle botteghe artigianali senza l'ausilio di disegni di progetto, dimostrando come la configurazione spaziale della forma alberghi come un modello astratto nella mente dell'esecutore. Va considerato inoltre che l'oggetto fórcola non nasce come un mero oggetto da esibire, come una sorta di plastica scultura, ma piuttosto come un oggetto di design con una precisa funzione commisurata a principi fisico-meccanici che nel corso del tempo ne hanno determinato l'aspetto attuale. Alla mancanza di disegni di progetto che permettano di osservare l'evoluzione nei secoli di questo peculiare scalmò suppliscono in parte le numerose raffigurazioni pittoriche di epoca rinascimentale e successive. Osservando ad esempio il *Miracolo della Croce a Rialto* (1496) di Vittore Carpaccio (1465-1525) le fórcole "montate" sulle gondole appaiono piatte, ritagliate direttamente da una tavola, simili alle dime di cui si è detto poc'anzi. Ciò non deve stupire se consideriamo che all'epoca la spinta del remo del poppiere era bilanciata da quella del prodiere e quindi lo scafo delle imbarcazioni non era asimmetrico come risulta invece ai giorni nostri, l'evoluzione della forma è quindi strettamente connessa alle manovre necessarie a governare l'imbarcazione. Molte altre opere di illustri pittori dello stesso periodo o del secolo successivo, quali ad esempio Gentile Bellini (1429-1507), Giovanni Mansueti (1465-1527) o Girolamo Forabosco (1605-1679), confermano la bidimensionalità dello strumento. A partire dal XVIII secolo invece le rappresentazioni pittoriche iniziano a mostrare forcole più simili a quelle contemporanee, come osservabile nei quadri del Canaletto (1697-1768) o di Giovanni Battista Tiepolo (1727-1804), in particolare prendendo in esame il suo *Burchiello* (1765). Sarà solo all'inizio del 1900 che la fórcola assumerà in maniera puntuale l'aspetto attuale,

ciò non è dovuto a scelte di tipo estetico, ma piuttosto a problematiche di ingegneria navale. In primis va considerata l'introduzione nell'ambiente lagunare di barche a motore che hanno incrementato il moto ondoso costringendo ad una riduzione nelle dimensioni delle pale dei remi per favorire una maggiore agilità nelle manovre; secondariamente ricordiamo che per ragioni economiche il rematore a prua venne eliminato, delegando così solamente al poppiere la funzione propulsiva e di manovra. In sostanza cambiò la tecnica di voga che a sua volta determinò l'asimmetria dello scafo delle gondole (dato che la spinta del rematore a poppa non era più bilanciata da quello a prua), ma cambiò soprattutto lo sviluppo tridimensionale dello scalmo caratterizzato da superfici *free-form* capaci di favorire le posizioni del remo in funzione delle differenti manovre (fig. 4)¹³. In altre parole ogni curva e quindi ogni superficie di questo strumento sono oggi determinate dal movimento del remo nello spazio mentre sfrutta la fórcola come un fulcro, quindi idealmente se la materia prima dalla quale ricavare lo scalmo fosse creta, verrebbe modellata direttamente dal movimento del remo nello spazio in base alle differenti manovre, esaltando così il rapporto tra forma e funzione. In definitiva potremmo dire che questo oggetto di design artigianale è stato tramandato nel tempo come una memoria di forma, una sorta di modello parametrico, dato che ogni fórcola è diversa dalle altre adattandosi alle caratteristiche fisiche del rematore, al tipo di imbarcazione e alla sua posizione nelle stesse (spostando lo scalmo per ragioni performative anche di pochi centimetri lungo la curva di falca, ad esempio nelle gondole da regata, variano seppur di poco le superfici caratterizzanti). Quanto detto viene confermato da uno studio geometrico condotto grazie ad un rilievo fotogrammetrico¹⁴ che ha permesso di identificare, direttamente sul clone digitale della fórcola, porzioni di superfici rigate descritte dal movimento del remo (rette generatrici) secondo precise traiettorie (curve direttrici). Un'altra interessante vicenda sembra capace di evidenziare il rapporto tra superfici geometricamente complesse, disegno e pratiche del costruire, questa volta concentrandosi sul binomio forma-formula, la cui radice linguistica non a caso è la stessa. A partire dal XIX secolo, i matematici Felix Klein (1849-1925) e Alexander Brill (1842-1935), che tra l'altro ebbe tra i suoi allievi il giovane Max Planck (1858-1947), avviarono presso l'istituto di Matematica del Politecnico di Monaco di Baviera un atelier di progettazione e costruzione di modelli



Vista assonometrica renderizzata del modello digitale della superficie di Kuen
con in evidenza alcune curve di sezione longitudinali e trasversali.
Elaborazione grafica di Alessio Bortot

di superfici matematiche in gesso, legno e metallo. Gli oggetti prodotti vennero consegnati a una libreria editrice fondata nel 1877 da Ludwig Brill, fratello di Alexander, al fine di commercializzarli attraverso un volume intitolato *Katalog* nel quale vennero illustrate le serie di modelli fisici e di strumenti prodotti dall'Atelier del Politecnico. Nel 1899 Martin Schilling rilevò la ditta di Ludwig Brill, e continuò la pubblicazione del catalogo¹⁵. Alcuni di questi oggetti e strumenti per il disegno tecnico, vennero fatti acquistare in quegli stessi anni da molti atenei europei e americani, in ambito italiano attrassero l'attenzione del prof. Giuseppe Veronese (1854-1917), docente dal 1881 di geometria algebrica presso il Dipartimento di Matematica dell'Università di Padova, il quale decise di allestire una collezione di modelli tutt'oggi conservata nell'ateneo patavino¹⁶. Si tratta di modelli in gesso, in filo di seta con telaio in metallo, nonché di strumenti per tracciare curve (compasso ellittico, strumenti per disegnare cardioidi e cicloidali) e di macchine per mostrare la genesi di superfici di rotazione. Le superfici in gesso, generate in quegli anni, rivelarono la bellezza della scienza attraverso un linguaggio scultoreo a un pubblico di non addetti ai lavori grazie alla costituzione di *Mathematische Wunderkasten*. Senza volersi troppo addentrare in questioni legate alla storia della matematica, andrà comunque ricordato che a partire dalla fine dell'ottocento la disciplina subì un significativo cambiamento di rotta grazie ai contributi di Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), Niels Henrik Abel (1802-1829) e Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) che iniziarono a “dissezionare le nuove funzioni con uno spirito analogo a quello albergante nei Teatri Anatomici”¹⁷. Su questa scia altri matematici quali Georg Cantor (1845-1918), Karl Weierstraß (1815-1897) e Friedrich Frege (1848-1925) spinsero la ricerca verso dinamiche vicine alla filosofia e alla logica pura, introducendo nozioni sempre più teoriche, come quella di infinito, di geometria analitica o di funzione continua, solamente per citarne alcune. In altre parole, rispetto all'inclinazione empirista e immediatamente applicabile del pensiero matematico cartesiano prima, e illuminista dopo, nel XIX secolo assistiamo alla nascita di concetti sempre più “puri” come quello di “funzione”. Alla luce di questa chiave interpretativa, il successo dei modelli fisici potrebbe quindi essere connesso a un'esigenza di concretezza, ad arginare le derive estremamente intangibili verso le quali la ricerca matematica si stava spingendo. Ricordiamo infine come quest'idea di materializzare

complesse costruzioni analitiche attraverso modelli, nello specifico costituiti da direttrici in metallo e generatrici costituite da fili di seta, sia stata molto influente nello sviluppo delle formulazioni di Gaspar Monge (1746-1818) relativamente a un sistema di classificazione delle superfici tridimensionali descritte dal moto di una retta nello spazio¹⁸.

I modelli a fili di superfici rigate erano architetture iperboliche nel microcosmo, mentre i modelli in gesso di superfici gobbe invitavano a intricate sperimentazioni topologiche. Ciascuna di queste due tipologie di modelli si diffuse nella cultura architettonica attraverso differenti vettori,

afferma Andrew Witt ¹⁹. Attraverso questi modelli – matematici prima e fisici poi – si aspira alla descrizione delle forme nel loro divenire all'interno di un dominio definito da una specifica funzione parametrica. Alcune di queste *maquettes* a fili erano dei veri e propri meccanismi dinamici capaci di mostrare, attraverso una loro torsione nello spazio, le curve nascenti dalla loro reciproca intersezione. La loro rappresentazione attraverso il disegno non poteva quindi che mostrare, congelata nel tempo e nello spazio, una delle possibili soluzioni di quella specifica funzione matematica. Il linguaggio della formula forniva comunque la più esaustiva delle descrizioni di queste superfici, visibile però solamente allo sguardo del matematico. Come ricordato affascinarono Gaspar Monge il quale commissionò all'allievo Théodore Olivier (1793-1853) la realizzazione di modelli a fili per illustrare i principi delle superfici rigate sviluppabili²⁰. Si andava così rafforzando l'alchemico legame tra geometria analitica e descrittiva e inoltre ai giovani aspiranti ingegneri dell'*École nationale des ponts et chaussées* venivano suggerite inedite soluzioni morfologiche, ad esempio per sistemi voltati. In effetti quel susseguirsi di fili, grazie all'esercizio della visione spaziale promossa da Monge, andranno a caratterizzare delle sorte di membrane astratte, trasformabili nel processo costruttivo in volumi architettonici. Il contesto storico e geografico lascerebbe anche ipotizzare una relazione tra gli studi sulle rigate e il brevetto per il cemento armato depositato nel 1892 da François Hennebique (1842-1921), tenendo in considerazione la relazione geometrica tra orditura dei ferri e rette generatrici delle superfici quadriche. La complessità, ma anche l'armonia di tali formule ci sembra ben rappresentata dalla

superficie di Kuen (fig. 5), scelta tra le molte possibili: si tratta di una superficie a curvatura costante derivata dalla pseudo sfera della stessa famiglia delle superfici di Dini e Breather, scoperta dal matematico tedesco Theodor Kuen (1859-?) nel 1884.

Per riprendere quanto premesso, si vuole affermare come i casi studio presentati, seppur nella loro eterogeneità, appartengano ad una ricerca che partendo dalla complessità tettonica delle strutture stereotomiche si interroga sul ruolo del disegno, o sulla sua significativa assenza, nella concezione e realizzazione materiale di superfici geometricamente complesse caratterizzanti differenti ambiti del costruire. Ne emerge *in primis* il ruolo chiave svolto dal modello fisico, riflesso a sua volta di un modello immaginativo appartenente a un repertorio archetipico (strutture stereotomiche), derivante da un processo proiettivo e deformativo (arco vaticano), assolvendo ad una funzione complessa (forcola), o corrispondente a una legge analitica e geometrica (modelli matematici parametrici).

Sinonimo di archetipo è forma formante o idea. L'idea, la formattività intrinseca che in un oggetto si manifesta, si coglie grazie a un'intuizione, non è il prodotto di induzioni e calcoli, un'idea si impone, si accende, spunta nella mente: si rivela. Ha un valore permanente la similitudine platonica: le forme formanti proiettano loro ombre, loro vestigia, le forme formate²¹

afferma Elémire Zolla (1926-2002). Il linguaggio trasversale e rivelatore dell'autore evidenzia un carattere comune delle superfici qui brevemente esaminate, il loro configurarsi come frammenti – formati – di elementi in divenire, porzioni di superfici – formanti – infinitamente estese nello spazio. Nello specifico ambito delle costruzioni stereotomiche al disegno di progetto spetterà il ruolo di “ingegnerizzare” la forma *ex post*, conciliando gli aspetti formali con quelli strutturali, portando nelle due dimensioni il modello spaziale attraverso altri modelli, questa volta proiettivi, capaci di interpretarne la complessità.

1. L. Moretti, *Forma come struttura*, in “Spazio”, giugno-luglio 1957, ripubblicato in F. Bucci, M. Mulazzani, *Luigi Moretti. Opere e scritti*, Electa, Milano 2000, p. 182.

2. Cfr. S. Galletti, *Stereotomy and the Mediterranean: notes towards an architectural history*, in “Mediterranea. International journal for the transfer of knowledge”, n. 2, 2017, pp.73-120.

3. G. Guarini, *Architettura Civile*, Mairresse, Torino 1737.

4. Cfr. J. Sakarovitch, *Épures d'architecture. De la coupe des pierres à la géométrie descriptive XVIe-XIXe siècles*, Birkhäuser Verlag, Basel-Boston-Berlin 1998, p. 141.

5. J. Calvo-López, *Stereotomy. Stone Construction and Geometry in Western Europe 1200-1900*, Springer Nature-Birkhäuser, Basel-Cham 2020, p. 127.

6. Cfr. M. Scolari, *Il disegno obliquo. Una storia dell'antiprospectiva*, Marsilio, Venezia 2003.

7. Cfr. J. Connors, *Virtuoso architecture in Cassiano's Rome*, in J. Montagu, H. McBurney, J. Connors, D. Freedberg, F. Solinas et al. (a cura di), *Cassiano Dal Pozzo paper's museum*, vol. II, Olivetti, London 1992, pp. 23-40.

8. A. Bortot, A. De Rosa, *Warped Curves in the Vestibule Arch of the Pio Clementino Museum, Rome*, in “Nexus Network Journal”, n. 4, 2019, pp. 1-16.

9. Tra i trattati pubblicati in quel periodo in seguito all'invenzione del tornio ricordiamo: C. Plumier, *L'art de tourner en perfection*, Paris 1749. Dal punto di vista critico si veda invece: J. Connors, *Ars tornandi: Baroque architecture and the Lathe*, in “Journal of the Warburg and Courtauld Institutes”, n. 53, pp. 217-236.

10. Secondo la prassi, la determinazione dei giunti elicoidali dei singoli blocchi, sia nell'arco gobbo che nel *biais-passé*, offre una serie di linee le quali, sviluppate sul piano, approssimano gradatamente le generatrici apparenti della superficie vaticana, sia considerandole quali profili dei cassettoni marmorei, sia confrontandole con le isocurve della superficie *nurbs* ricostruita digitalmente in seguito al rilievo del manufatto.

11. Alcuni autori hanno evidenziato una possibile relazione tra soluzioni costruttive impiegate nell'ambito navale e in quello dell'architettura civile, soprattutto in relazione alle superfici voltate, si veda ad esempio: S. De Gotzen, F. Laner, *La chiglia rovesciata*, FrancoAngeli, Milano 1989.

12. Sull'evoluzione storica e sull'impiego del sesto si veda: G. Penzo, *Barche veneziane: catalogo illustrato dei piani di costruzione*, Il Leggio, Venezia 2002; A. Bonifacio, G. Caniato (a cura di), *Barche Tradizionali della Laguna Veneta*, Comune di Venezia 2013.

13. Per maggiori approfondimenti sul tema dei remieri e delle imbarcazioni tradizionali della laguna veneta si veda: G. Penzo, *Fórcole, Remi e Voga alla Veneta*, Il Leggio, Venezia 1996; C. Donatelli, *La Gondola, una straordinaria architettura navale*, Arsenale, Venezia

1990; S. Pastor (a cura di), *Forcole*, Cierre, Venezia 2012; G. Caniato (a cura di), *L'arte dei remèri, i 700 anni dello statuto dei costruttori di remi*, Cierre, Venezia 2009.

14. Il rilievo è stato condotto su una fórcola da poppa di una gondola presso il laboratorio di Saverio Pastor che qui ringrazio pubblicamente.

15. Il catalogo è stato recentemente ripubblicato in un'edizione critica, si veda: G. Fischer (a cura di), *Mathematical Models. From the Collections of Universities and Museums – Photograph Volume and Commentary*, Springer, Wiesbaden 2017.

16. F. Palladino, *Il Fondo di modelli e strumenti matematici antichi dell'università di Padova*, Grafiche Erredici, Padova 1999.

17. W. Mueller, *Mathematical Wunderkammern*, in “The American Mathematical Monthly”, n. 108, 2001, pp. 785-796, p. 789.

18. J. Sakarovitch, *op. cit.*, p. 329.

19. A. Witt, *Formulation. Architecture, Mathematics, Culture*, The MIT Press, Cambridge MA 2021, p. 66.

20. A. Shell-Gellasch, B. Acheson, *Geometric String Models of Descriptive Geometry*, in “Hands On History: A Resource for Teaching Mathematics”, Amy Shell-Gellasch, Washington, DC 2007, pp. 49-62.

21. E. Zolla, *Archetipi. Aure. Verità segrete. Dioniso errante. Tutto ciò che conosciamo ignorandolo*, Marsilio, Venezia 2016, p. 82.