

### 3. GIUSEPPE FALLACARA GLI ELEMENTI DELLA "STEREOTOMIA DIGITALE"

*Noi disponiamo ora, diciamo, di plastici informatici che sono, in realtà, molto più malleabili e manipolativi di quelli del passato, in quanto consentono una interazione più ricca e più controllata tra utente e modello. Ma anche perché i plastici informatici sono in grado di coprire, in un unico sistema di rappresentazione, la totalità dell'arco di modellazioni possibili: da un lato, di fornire le medesime prestazioni dei classici modelli iconici, dall'altro, di quelli non iconici (modelli diagrammatici e matematici). Detto altrimenti, i plastici informatici si presentano come la grande sintesi dei più svariati tipi di modellazione finora praticati.<sup>1</sup>*

Un modello infografico è una rappresentazione, formalizzata matematicamente, di un oggetto reale. Il modello infografico è l'immagine matematica dell'oggetto reale. Tale immagine, in base alle specifiche esigenze di analisi, può essere più o meno dettagliata e può presentare alti o bassi gradi di astrazione. Il tipo di formalizzazione matematica è la causa diretta della giusta corrispondenza formale con l'oggetto reale di cui si sta creando il modello. Esistono quindi, per agevolare il discorso, matematiche che garantiscono una modellazione più vicina alle richieste di giustezza rappresentativa di un oggetto reale e matematiche che approssimano in maniera più o meno grossolana la realtà. In entrambi i casi sussiste il concetto di modellazione infografica con le ovvie distinzioni procedurali connesse alle differenti tipologie di analisi. Ancora, una stessa immagine infografica, proveniente da differenti processi (matematiche) di modellazione, può raggiungere pari livelli di "aderenza" con l'oggetto reale. Quindi matematiche differenti possono, in determinati casi, produrre geometrie formalmente simili.

*Si può, quindi, definire come modellazione 3D il processo che un sistema informatizzato segue per introdurre, guidare e modificare la rappresentazione degli oggetti, con la precisione necessaria alla loro effettiva realizzazione.<sup>2</sup>*

Fatta questa premessa, possiamo concludere dicendo che la scelta del tipo di modellazione, ad oggi, è ancora legata al tipo di modellatore (CAD) conosciuto o posseduto dall'utente e non da una giusta e ottimizzata corrispondenza tra oggetto e modello infografico. Questa cattiva abitudine al lavoro di modellazione infografica è ascrivibile all'inerzia dell'utente di sperimentare strade più veloci o alternative, rispetto a quella già conosciuta, per la più giusta riso-

1 Tomàs Maldonado, *Reale e Virtuale*, Feltrinelli Editore, Milano, 1998, p. 104

2 Tommaso Empler, *Il Disegno Automatico tra progetto e rilievo*, Officina Edizioni, Roma, 2002, p. 36

luzione di un problema. Le soluzioni a questa tendenza sono date “esternamente” dalla presenza, sempre più grande, di convertitori di formati che consentono di passare da una matematica ad un’altra, non senza una sostanziale perdita di informazioni.

La scelta di un percorso di modellazione piuttosto che un altro, la scelta quindi di un software specifico è tesa soprattutto all’ottimizzazione delle fasi lavorative, alla esatta matematica alla base dei modelli e alla capacità di questi ultimi di essere riconosciuti da altri sistemi software. Poter “dialogare” bene con le altre realtà informatiche (software per immagini di sintesi, per analisi FEM, per prototipazioni RP, per lavorazioni CAM a CNC, ecc.) significa dare valore aggiunto al modello creato e quindi ottimizzare le fasi globali del lavoro.

In definitiva la valutazione del sistema CAD con relativo modellatore geometrico tridimensionale può risultare di fondamentale importanza sia nei processi produttivi che propriamente progettuali. Gli strumenti che il progresso tecnologico e informatico mette oggi a disposizione sono un numero considerevole di software basati sulla tipologia C.A.D. (Computer Aided Design) che ci assistono nella progettazione architettonica grazie alla gestione di uno spazio 3D virtuale e quindi alla possibilità di creare modelli tridimensionali. Sono stati creati differenti software CAD che possono essere classificati in base al loro tipo di modellazione. Entrando nello specifico, i modellatori geometrici possono essere sommariamente distinti in:<sup>3</sup>

1. *Modellatori wireframe*
2. *Modellatori superficiali*
3. *Modellatori solidi*

I primi costruiscono un tipo di modello aperto, di cui non è possibile calcolarne superfici e proprietà di massa. Il modello wireframe (a filo di ferro) è una rappresentazione che consiste di elementi geometrici monodimensionali (punti, linee e curve) descrittivi gli spigoli dell’oggetto tridimensionale. Tale tipo di modellazione è, di solito, richiesta come passaggio intermedio dalle operazioni piane a quelle nello spazio nella modellazione superficiale che crea le superfici “appoggiandosi” sui reticoli della costruzione wireframe. I secondi costruiscono il modello superficiale. Esso è una rappresentazione consistente di elementi geometrici bidimensionali descrittivi le superfici visibili (o di interesse) dell’oggetto tridimensionale. Tali superfici, di spessore nullo e definite individualmente, sono assemblate dall’utente per ottenere il modello desiderato.<sup>4</sup> Questa modellazione è più sofisticata rispetto a quella in

3 Le nozioni sostanziali del presente paragrafo derivano dagli studi condotti da P. Aspettati, S. Buralli, G. Cascini, P. Rissone, G. Taddei, M. Toderi, *Metodologie di impiego e valutazioni critica di strumenti di prototipazione virtuale per la PMI.*

4 Risulta importante sottolineare però che se le varie tecniche di modellazione superficiale sono indipendenti dalla matematica delle superfici, non è così per il modello: l’interpolazione di un reticolo spaziale attraverso superfici NURBS di diverso livello o di superfici poligonali porta a risultati diversi tra loro.

wireframe, poiché non definisce solo i bordi di un oggetto 3D, ma anche le superfici, che, come vedremo, possono essere distinte in “entità discrete” (modelli poligonali) e “entità continue” (modelli NURBS). I terzi costruiscono il modello solido.<sup>5</sup> Esso è una rappresentazione matematica non ambigua e completa di un oggetto fisico.

*La modellazione solida consente di generare oggetti tridimensionali dotati di caratteristiche unitarie e sui quali effettuare operazioni che consentono trattamenti omogenei, che identificano l'oggetto come una entità unitaria, che deve mantenere il suo “status” indipendente dal processo dal processo a cui è sottoposto.*<sup>6</sup> L'enorme vantaggio della modellazione solida consiste nell'utilizzo versatile delle operazioni *booleane* (unione, sottrazione e intersezione) che ci permettono di ottenere delle configurazioni solide in modo semplice ed esatto. Il termine Booleano viene da un riferimento all'algebra booleana, il cuore della logica digitale 0 e 1, e dal matematico inglese del XIX secolo George Boole, che ha ideato quest'algebra.

Tale tipo di modellazione, pur essendo intuitiva da realizzarsi, risulta tuttavia limitata nella creazione di forme geometricamente complesse (superfici complesse).

I correnti sistemi CAD si stanno orientando verso la modellazione solida, che grazie alla capacità di discernere tra interno ed esterno del modello e alla possibilità di calcolare le proprietà di massa, supporta sia le esigenze di produzione automatizzata di tavole bidimensionali dal modello 3D sia altre applicazioni (PR, FEM, CAM, ecc.). Ciò ha portato all'integrazione e l'implemento nei modellatori solidi delle superfici, e di tipiche tecniche di modellazione superficiale dando così luogo a modellatori ibridi, capaci cioè di rappresentare in un ambiente integrato superfici e solidi.

Come abbiamo avuto modo di intuire, al tipo di modellatore è associato il tipo di *modello infografico*. Il suo universo può essere suddiviso in due grandi categorie:

- *Modello Poligonale*
- *Modello NURBS*

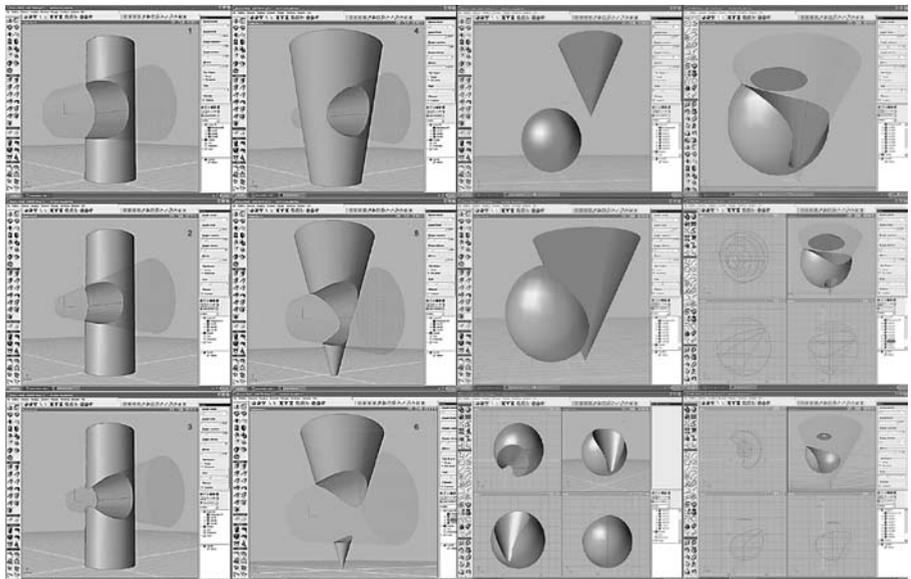
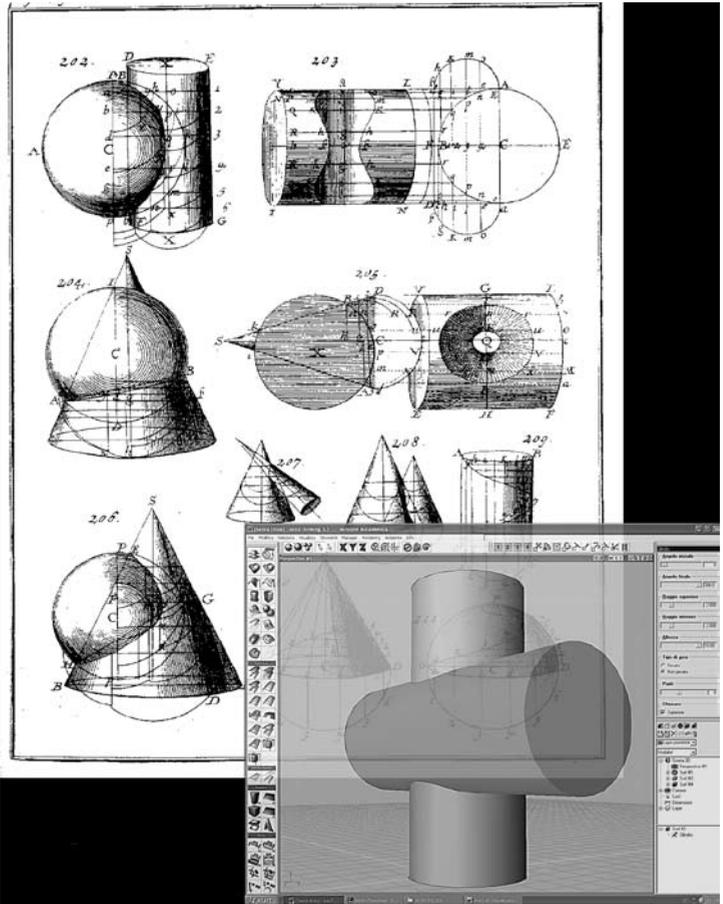
La modellazione NURBS comprende anche la modellazione *Patch*. Prima di addentrarci nell'analisi delle singole tipologie di modellazione, sottolineiamo che la moderna generazione di applicazioni CAD consente “agevolmente” il passaggio, di un determinato modello, da un tipo di modellazione ad un'altra.

Fatta questa premessa, occorre ricordare che la differenza sostanziale tra un *modello poligonale* e un *modello NURBS* è che il primo restituisce una *geometria discreta* dell'oggetto reale, mentre il secondo una

5 Un modello solido può realizzarsi in due modi: tramite una rappresentazione CGS (Constructive Solid Geometry) o attraverso una rappresentazione B-Rep (Boundary Representation). La differenza tra i due approcci sta nel fatto che il secondo tipo di rappresentazione è strutturalmente simile alla modellazione superficiale in quanto la definizione dell'oggetto è data dalla chiusura delle superfici avviluppanti il solido.

6 T. Empler, *op.cit.*, p. 44.

1.2. Operazioni booleane parametriche.  
 Tavola tratta da A.-F. Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, 3 vol., J. D. Doulsseker le fils, Strasbourg; L. H. Guerin, Paris, 1754, t. I, pl. 18, p. 269



*geometria continua*. Quindi, se l'oggetto reale da modellare presenta semplici geometrie piane, la modellazione poligonale sarà senza dubbio sufficiente per il nostro scopo; se al contrario l'oggetto reale presenta una complessa geometria superficiale, sarà obbligatorio il passaggio alla modellazione NURBS.

Ancora, qualsiasi oggetto può essere ricavato da questi tipi di modelli e lo stesso oggetto può essere ricavato con metodi "modellativi" diversi.

Sviluppare uno stile di modellazione è personale.

In un *modello poligonale* il nome indica la sua struttura. E' il tipo base di modellazione 3D, nella quale tutti gli oggetti vengono definiti come gruppi di poligoni. Questi sono composti da vertici uniti in bordi, che formano facce. I modelli poligonali, chiamati anche modelli reticolari, sono il tipo di modello più semplice, composti solo da vertici, bordi e facce. La geometria risulta data dall'approssimazione delle superfici per mezzo di piccole facce planari (con densità della maglia determinata dall'utente), secondo un procedimento simile a quello usato per approssimare una linea curva tramite piccoli segmenti retti. Dato che un triangolo è sempre planare, le facce che si impiegano per questo scopo sono spesso triangolari, anche se possono essere proficuamente usate facce di altre forme. Per la rappresentazione delle superfici curve, le reti di elementi quadrati (discretizzabili in base alle esigenze dell'analisi) sono una alternativa alle facce piane triangolari.

Il *modello NURBS* (Non uniform Rational B-Spline) opera ad un livello più elevato di modellazione, restituendo la geometria continua dell'oggetto reale, prestandosi benissimo nei casi di *modellazione organica* con geometria fluida dell'oggetto. La modellazione NURBS è una estensione della geometria *spline*<sup>7</sup> (B) nello spazio tridimensionale. Il termine *spline* deriva dalla costruzione delle navi, in cui veniva data una forma curva a un pezzo di legno per mezzo di due pioli. I matematici hanno preso in prestito la parola per descrivere le curve in termini di funzioni matematiche. In computer grafica una *spline* è una curva definita da funzioni matematiche<sup>8</sup> a differenza di un segmento di linea dritto, definito unicamente dalle sue estremità. È al matematico Pierre Bézier (da cui il nome spline di B.) che si deve la formalizzazione matematica delle spline e delle superfici *patch*.

I modelli *patch* sono molto prossimi ai modelli reticolari. Questi hanno caratteristiche più dinamiche, rendendoli eccellenti per superfici lisce, leggermente curve. Tali modelli sono superfici di

7 Le curve spline manipolabili per mezzo di punti di controllo che giacciono sulla curva risultante oppure si trovano scostati su di essa, possono essere utilizzate per creare superfici, anch'esse controllabili attraverso punti di controllo.

8 Una B-spline razionale è definita matematicamente come il rapporto di due funzioni polinomiali. Una B-spline non uniforme (NURBS - Non uniform Rational B-Spline) è una spline in cui l'influenza di una curvatura può essere variata.

Bezier, questo significa che le curvature delle loro superfici sono determinate da curve *spline*, non da bordi dritti come quelli dei poligoni regolari. Questo conferisce loro la caratteristica di “regolarità”. Anche con i reticolati si possono ottenere superfici lisce e continue ma non così facilmente come con i *patch*.

Al fine di ottimizzare e rendere compatibili le varie procedure modellative, esiste, come abbiamo già detto, la versatilità di conversione fra diverse uscite: i modelli NURBS e *patch* possono essere convertiti in modelli poligonali e poi modificati con *strumenti reticolato*, e viceversa i reticolati possono essere convertiti in *patch* o NURBS e poi modificati con gli strumenti e i metodi corrispondenti.

In luogo della potenziale *editabilità* dei modelli infografici, i modellatori possono classificarsi in:

- *Modellatori espliciti*
- *Modellatori variable driven*

Brevemente diremo che i primi sono “statici”, definiscono il modello esclusivamente attraverso la sua geometria esplicita, mentre i secondi associano al modello geometrico un database delle relazioni esistenti tra le entità geometriche costituenti il modello.

Tra gli approcci di modellazione di tipo *variable driven* è importante sottolineare l’approccio parametrico/variazionale. Nell’ambito della modellazione parametrica non esiste una netta distinzione tra *dati* e *funzioni*. Nella teoria della modellazione tradizionale, dati e funzioni costituiscono due concetti distinti. I dati sono semplici informazioni, quindi statici; una funzione è un’azione. Una funzione agisce sui dati, generalmente per creare nuovi dati. I dati vengono trasmessi in una funzione, che li elabora per produrre i dati di *output*. La funzione deve contenere “campi di inserimento” cioè i “parametri” della funzione nei quali immettere i dati numerici. Nella teoria orientata agli oggetti, non esiste una netta distinzione tra dati e funzioni, ma i dati e le relative funzioni vengono conglobati in unità definite oggetti parametrici.<sup>9</sup>

La modellazione parametrica è un sistema in cui gli oggetti mantengono le informazioni sulla propria geometria di base e possono essere praticamente modificati in qualsiasi punto variando i parametri che li definiscono. La modellazione solida, *parametrico/variazionale*, è stata individuata dalla comunità ingegneristica come lo strumento di modellazione che più di ogni altro consente di soddisfare i bisogni di una moderna e completa modellazione infografica. La variabilità dimensionale del disegno costituisce la principale caratteristica dei sistemi CAD per il disegno parametrico: l’utente può modificare il valore di parametri dimensionali (quali raggi, angoli, distanze) causando la corrispondente variazione

9 Concettualizzazione del modo parametrico del software 3D Studio Max, ad opera di Rob Polevoi, *3D Studio Max R3 In Depth*, The Coriols Group, Inc, 1999. Edizione italiana, Apogeo, Milano 2000.

dell'entità geometrica tridimensionale cui il parametro è riferito, inducendo inoltre la propagazione di variazioni alle entità geometriche connesse direttamente o indirettamente all'entità modificata. Tramite questo processo di propagazione delle modifiche l'intero disegno si *ri-configura* assumendo nuove forme e dimensioni.

Il sistema CAD parametrico rigenera autonomamente l'intera geometria, ricostruendo un nuovo modello geometrico dimensionalmente corrispondente a quanto richiesto dall'utente.

In questo tipo di approccio, il progettista può agevolmente operare campi complessi di variazioni sul modello, senza essere costretto a ripartire dalla fase zero della modellazione.

La modellazione parametrica richiede alti livelli di preparazione dell'utente, che oltre al comune *planning* di lavoro deve analizzare tutti i vincoli compatibili (di natura geometrico/formale) alla base del *planning* di parametricità/variazionale dell'oggetto da modellare. Un interessante tipo di modellazione parametrica, più agevole da utilizzare, è data dalla teoria della *modellazione con i modificatori*.

L'ipotesi è quella di considerare la modellazione come una "scultura flessibile" dei dati digitali 3D: si comincia con una forma semplice, magari un parallelepipedo o una sfera o un insieme di volumi solidi di base e li si modifica per mezzo di "deformazioni topologiche parametriche" per raggiungere i gradi di complessità propri dell'oggetto finale. Questo sarà, quindi *raggiunto* in modo indiretto, operando semplicemente attraverso le deformazioni e non in modalità diretta, che comporterebbe grosse difficoltà di modellazione tridimensionale.

La programmazione informatica ha, quindi, previsto l'introduzione di un nuovo approccio alla modellazione basato sugli strumenti di deformazione per dare forma alla *mesh* in maniera indiretta. Questi strumenti, veri e propri algoritmi matematici, si adattano perfettamente alle caratteristiche della modellazione parametrica. Un oggetto può essere sagomato utilizzando i modificatori indipendentemente dalla sua risoluzione geometrica. Per esempio, un oggetto può essere piegato utilizzando il modificatore *Piega* prima che il modellatore determini la quantità di segmentazione dell'oggetto. Grazie a questo approccio, la segmentazione può essere regolata per adattarla alla forma dell'oggetto.

La modellazione con i modificatori è un processo indiretto e richiede molta pratica e precisione per riuscire a ottenere il risultato desiderato.

I modificatori più importanti per la modellazione sono quelli che applicano all'oggetto (o a una parte di esso) una deformazione semplice in base a un asse direzionale. Il modificatore *Piega*, ad esempio, deforma la *mesh* per creare una curva. Tra gli altri e più potenti modificatori ci sono: *Rastrema*, *Allunga*, *Torsione*, *Inclina*, *Disturbo* (frattale e non-frattale).

### 3.1. Classificazione e organizzazione degli elementi dell'architettura stereotomica

La precedente introduzione, ai concetti fondamentali della modellazione infografica, serve da supporto teorico alle applicazioni che verranno descritte nel seguito della trattazione.

I sistemi/elementi architettonici elaborati, descrivono una parte minima, seppur notevole, dell'immenso patrimonio culturale che lega la ratio umana alla costruzione in pietra da taglio. Di questa si è ipotizzato, con tutte le limitazioni connesse alle forme di "riduzione", una classificazione metodologica al fine di una più spedita comprensione del fenomeno "stereotomia".

Un lavoro di analisi, quindi, potenzialmente inesauribile, perché inesauribili risultano le opere architettoniche nate dalle capacità compositivo/progettuale di generazioni di *tailleur de pierre*.

I quali, mediando le regole del mestiere con le personali quanto geniali deroghe costruttive, hanno contribuito per secoli al lungo processo di avanzamento disciplinare.

Lo scopo principale del lavoro è dato, quindi, dal tentativo di sistematizzare (classificare) metodologicamente gli elementi dell'architettura stereotomica codificati all'interno della specifica trattativa storica, secondo i processi dell'aggiornamento tecnologico contemporaneo. Questo al fine di supportare opportunamente l'odierno campo di ricerca sulla Progettazione architettonica in Pietra da Taglio che, nel rapporto tra ideazione e costruzione, riafferma la natura costruttiva dell'architettura.

Il campo di indagine dell'analisi è stato criticamente circoscritto a quei modelli, ritenuti paradigmatici in luogo della specifica capacità di generalizzare le tematiche progettuali teorico/pratiche dell'architettura stereotomica, fissate principalmente in terra francese.

Tutto questo per mezzo di un lungo lavoro di raccolta, selezione, traduzione e analisi dei più rappresentativi esempi architettonici, estrapolati dai principali trattati di stereotomia d'oltralpe (con parziali riferimenti comparati alla situazione italiana), nella evoluzione storica che va dal manoscritto di Villard de Honnecourt alle espressioni più notevoli del XIX secolo. Il metodo adottato, per l'organizzazione tassonomica degli elementi della "stereotomia-digitale", consiste nell'accorpamento in classi/tipo, definite da pari soluzione infografica, delle tradizionali tematiche architettoniche a carattere morfologico/costruttivo/funzionale.

A tale scopo sono state individuate dieci classi/tipo, organizzate in sequenza gerarchica, dal più basso al più alto grado di complessità, in:

1. Architravi e Piattabande;
2. Volte piane;
3. Archi;
4. Volte a botte;
5. Arriere-voussure (volta nella muratura, dietro un vano);
6. Volte a sbalzo - trompe (trombe);
7. Volte a ventaglio;

8. Cupole;
9. Volte composte;
10. Scale.

Queste possono essere suddivisi in sottoclassi in luogo della specificità geometrico/morfologica di appartenenza in:

**1. Architravi e Piattabande:**

- nel piano;
- spaziali.

**2. Volte piane:**

- a pianta circolare;
- a pianta quadrata;
- *trasformazioni geometriche*: piano-cilindro-sfera.

**3. Archi:**

- piani;
- obliqui;
- spaziali.

**4. Volte a botte:**

- retta;
- obliqua;
- anulare.

**5. Arriere- voussure:**

- arriere voussure «de Montpellier»;
- arriere voussure «de Marseille»;
- arriere voussure «de St. Antoine».

**6. Volte in aggetto:**

- trompe coniche;
- trompe sferiche;
- trompe cilindriche;
- trompe a superficie di rotazione;
- trompe a superficie rigata.

**7. Volte a ventaglio:**

- con intradosso decorato;
- con intradosso liscio.

**8. Cupole:**

- sferiche;
- ellittiche.

**9. Volte Composte:**

- a sviluppo verticale;
- a sviluppo orizzontale.

**10. Scale:**

- elicoidali;
- spaziali.

L'intento del lavoro è costituire le premesse per un ragionamento organico sull'argomento, piuttosto che creare soluzioni di continuità nella relazione processuale fra tipi. Nell'evoluzione tipologica, quindi, al concetto di piattabanda per estensione seguirà quello di volta piana che, specializzandosi, passerà dal piano alla superficie cilindrica per rifluire al concetto di *porzione seriale minima* dell'arco

che, ancora per estensione monodirezionale, si trasformerà in volta a botte (berceau) che abbracciando le varie declinazioni geometriche confluirà, tramite le *penetrazioni*, nel concetto di Arrière-voussure quindi, teorizzando sulle superfici intradossali, nel concetto della *trompe* per passare alle volte a ventaglio, quindi agli spazi voltati e cupolati e così via, al fine di elidere l'idea di fissità connessa alla nozione di tipo.

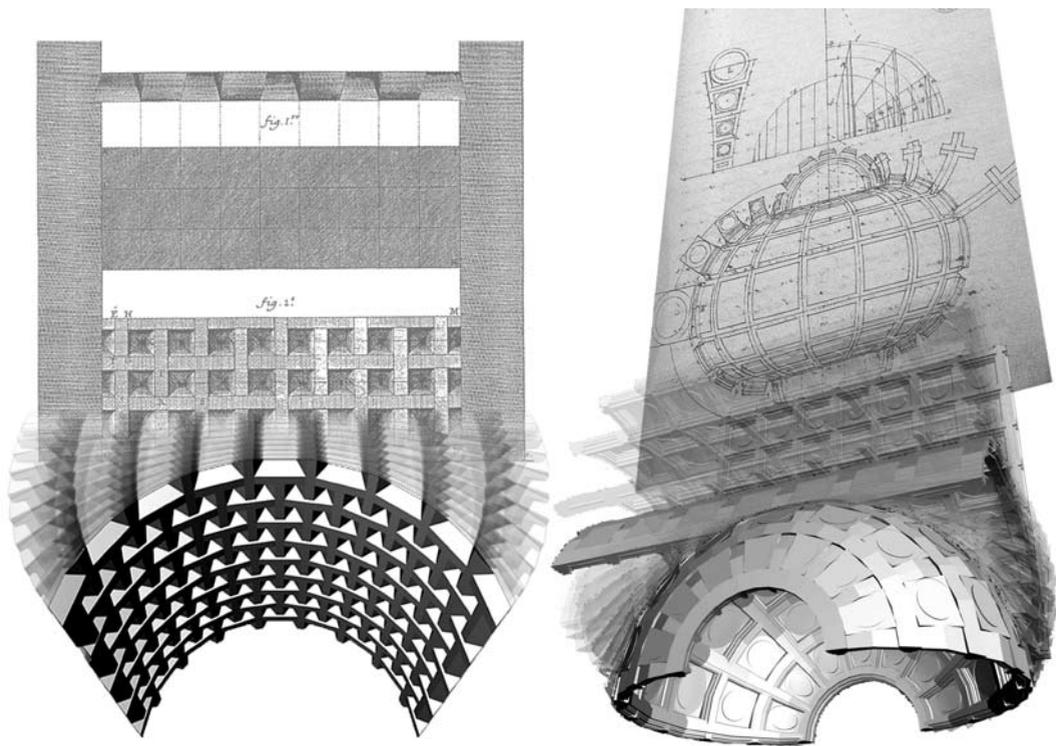
### 3.2. Specifiche peculiarità geometrico/morfologiche degli elementi dell'architettura stereotomica

Il tema degli *architravi* e *piattabande* apre l'analisi infografica. L'interesse è posto nel tipo di ammorsatura dei singoli conci che conformano il sistema architravato, sia nel piano che nello spazio. Sono particolarmente degni di attenzione le soluzioni che presentano i giunti dei letti di contatto verticali a facciavista e i tagli convergenti all'interno del blocco.

Seguono le *volte piane*, per estensione geometrica *dalla linea al piano*. Facendo ruotare attorno al proprio asse di simmetria, o estrudendo normalmente al proprio piano di giacitura una piattabanda, si otterranno rispettivamente una volta piana circolare e rettangolare. Volendo coprire un vano, quadrato o rettangolare, con una volta piana apparecchiata con l'identico concio, si utilizzerà il sistema di *Abeille*. Speculando su di esso attraverso la tecnica di *modellazione parametrica con i modificatori*, di cui si è già detto, si potrà utilizzare la stessa apparecchiatura per volte cilindriche e sferiche. La tecnica della *deformazione per piegatura*, per cui da un segmento rettilineo si ottiene un arco di circonferenza, o da un piano un semicilindro, ci conduce al tema dell'*arco*. Esso potrebbe essere ottenuto dalla *piegatura* di una piattabanda, e qualora quest'ultima presentasse un'apparecchiatura complessa, la stessa si potrebbe facilmente ottenere su un arco o su una volta a botte. È di particolare interesse lo studio condotto sugli intradossi degli archi: conici (coni sghembi e retti) e cilindrici (retti e obliqui). Di quest'ultimi si è indagata la speciale apparecchiatura che, oltre a mostrare un virtuosismo formale, si rende particolarmente valevole per ottimizzare la statica e l'equilibrio dell'intero sistema voltato. Si è passati quindi dal piano all'analisi morfologica degli archi spaziali. Guarino Guarini ha esposto, in maniera esemplare, le possibili casistiche sul tema, dandone prova in mirabili realizzazioni. Attraverso un processo di estrusione dell'arco si ottiene una *volta a botte*. Lo studio si è interessato dell'approfondimento di volte decorate tramite l'uso conci seriali. La logica è stata suggerita, concettualmente, dall'invenzione di P. Delorme della volta lignea costruita con piccoli pezzi dell'identica dimensione.

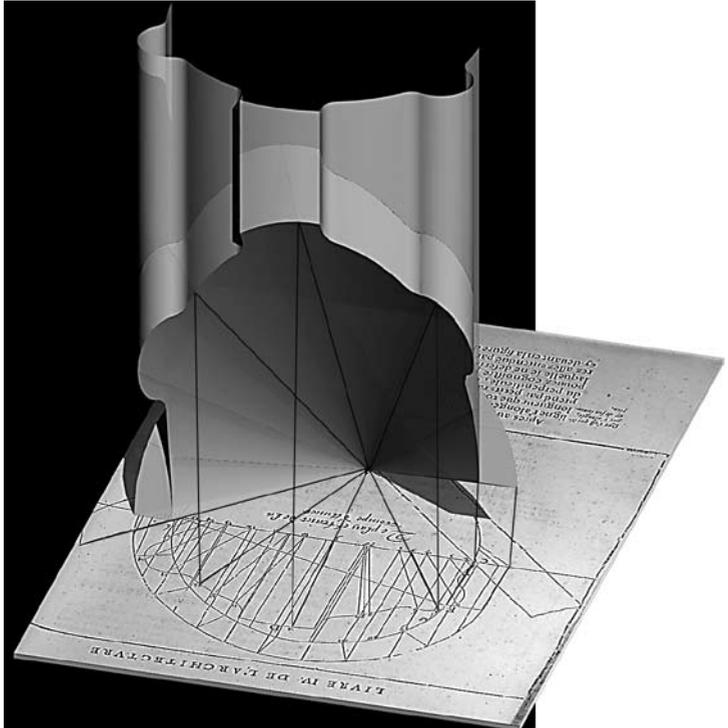
In luogo della geometria della *direttrice* e del *percorso* della volta si sono studiate le diverse morfologie della volta a botte.

Il tema dell'apertura di un continuo murario è stato sviluppato con le *arrière-voussure* ossia le volte dietro un vano che consentono le soluzioni di continuità nel muro. Tre sono le *arrière-voussure* paradigmatiche: *de St. Antoine*, *de Marseille* e *de Montpellier*. Si tratta di volte la cui



3. Tecnica di deformazione cilindrica della volta piana, secondo il sistema di apparecchiatura di Abeille. Tecnica di deformazione sferica per ottenere la cosiddetta "boveda de Murcia" di Andrés de Vandelvira

4. Dal trattato al modello infografico. Trompe d'Anet (Philibert Delorme, 1552): modello della trompe con convergenza in un punto delle superfici intra/estradosse della volta



superficie intradossale è determinata dall'interpolazione di quattro curve disposte nello spazio: due su piani paralleli al muro su cui creano l'apertura, due sui piani che determinano la strombatura dell'apertura. Tale superficie complessa si giustifica dallo spazio che una finestra occupa nel suo tragitto di apertura. L'analisi morfologica delle superfici intradossali delle volte ci conduce al tema delle volte in aggetto, e specificamente alle *trompe*. L'interesse si focalizza sulla caratteristica apparecchiatura della volta che permette l'estroffessione in aggetto di un volume lapideo. Ancora, in luogo della qualità intradossale dello spazio voltato, si è studiato il caratteristico sistema coprente dato dalla *volta a ventaglio*. Il termine è letteralmente tradotto della nomenclatura francese. Tale sistema è geometricamente determinato dalla combinazione seriale di unità generate da superfici di rotazione. Nella fattispecie, la superficie intradossale della volta è data dalla rotazione, attorno ad un asse verticale, di un quarto di arco di circonferenza. Tale superficie può o meno presentare una decorazione. Se presente, lo studio ha indagato i *principi di suddivisione/scomposizione* dell'intero sistema voltato in unità minime (concio) iterate in serie polare. Tali principi sono alla base dell'analisi condotta sugli spazi cupolati ad intradosso decorato. La geometria della decorazione della cupola della cappella d'Anet, suggerisce il progetto della cupola vetrata con struttura a costoloni elicoidali di Philibert Delorme. L'analisi passa alla caratteristica apparecchiatura della cupola ellittica. In questo caso l'iterazione seriale di conci "tipo" si sposta su gradi di complessità molto alti.

La complessità geometrica degli spazi voltati, data dalla composizione di elementi stereotomici di diversa natura, ha imposto la suddivisione del tema delle *volte composte* in due categorie: *a sviluppo verticale* e *sviluppo orizzontale*. Del primo gruppo fa parte l'importante tema degli *archi intrecciati*; nel secondo gruppo rientra il paradigmatico spazio voltato dell'hotel de ville d'Arles. L'accento è posto sulla *qualità superficiale* degli spazi voltati.

L'ultimo tema affrontato riguarda le *scale* di natura stereotomica. Lo studio, partendo dalla paradigmatica vis de Saint-Gilles sino alle più disparate scale elicoidali, ha tentato di riunire tutti i casi particolari dentro un'unica soluzione modellativa. È stato in pratica individuato unico algoritmo (*Rail Revolve*) capace di restituire qualsiasi tipo di *scala a vite*. Attraverso l'utilizzo di modificatori parametrici, ad esempio la *scalatura monodirezionale*, è stato possibile, inoltre, trasformare scale ad impianto circolare in ellittico.

### **3.3. Processi e tecniche di modellazione infografica tridimensionale: dal trattato al modello**

La procedura dell'analisi infografica consiste in diverse fasi, organizzate in sequenza come segue:

1. Selezione critica degli elementi architettonici di studio;
2. Individuazione dei *folia* nei trattati;
3. Correzione delle deformazioni prospettiche del *folio* connesse alle tecniche di acquisizione dati;

4. *Vettorializzazione* bidimensionale delle sezioni principali (o del *trait géométrique*) dell'elemento architettonico;
5. Individuazione delle geometrie piane *ideali* alla base del tracciamento delle sezioni;
6. Modellazione solida tridimensionale dell'elemento architettonico;
7. Esplicazione delle geometrie solide che conformano l'elemento architettonico;
8. Individuazione di un *campo di variabilità* geometrico/formale, compatibile e generalizzabile, dell'elemento architettonico;
9. Impaginazione delle immagini di sintesi;
10. Predisposizione (creazione di file STL, o progettazione CAM) dei modelli alla *prototipazione* dell'elemento;

In prima battuta si è operata una *selezione critica degli elementi architettonici* da analizzare. Il filtro della selezione si è basato sulle specifiche peculiarità geometrico/morfologiche degli elementi dell'architettura stereotomica, di cui si è sinteticamente detto nel paragrafo precedente. Fra i numerosi esempi storici, si sono studiati "i modelli della speculazione", quelli ritenuti paradigmatici, più volte esaminati dai trattatisti di epoche diverse. Si è proceduto, quindi all'*individuazione dei folia* in cui l'argomento è puntualmente esaminato. Al fine di un esame comparato, si sono ricercate le pagine dello stesso argomento su trattati diversi. In molti casi, la compresenza di un elemento architettonico, nei diversi trattati, ha assegnato il valore paradigmatico all'elemento stesso. Nei casi in cui l'elemento risulta eccezionalmente presente, in un unico trattato, si è attribuito il valore paradigmatico in luogo della ampiezza speculativa dello stesso.

L'acquisizione dei singoli *folia* dei trattati è stata compiuta attraverso tecniche diverse, in rapporto allo specifico caso, tutte finalizzate alla trasformazione dei dati cartacei in dati digitali. Dalla scansione diretta delle pagine del trattato cartaceo, alla *digitalizzazione* diretta delle pagine del trattato in microfilm o microfiche, allo scatto fotografico digitale. In tutti i casi si è operata la *correzione delle deformazioni prospettiche*, di diversa entità da un caso all'altro di acquisizione, con tecniche di fotoraddrizzamento digitale.

La pagina "ritoccata" ha rappresentato la "base" di lavoro dell'operazione di *vettorializzazione bidimensionale delle sezioni principali dell'elemento architettonico*. Tale fase consente di trasformare i dati digitali di tipo *raster*<sup>10</sup> in dati vettoriali. L'operazione, eseguita in maniera "manuale e mirata", prevede una prima individuazione di elementi di simmetria, polare o rettangolare, presenti nella composizione dell'immagine da *vettorializzare* al fine di agire su singole parti ripetibili. Di tali parti verrà scelta quella contenuta nelle zone del foglio meno deformata. Si procederà quindi alla "costruzione" degli enti geometrici (linee, archi di cerchio o ellisse, ecc.)

10 Immagine computerizzata costituita da informazione relative al colore di ogni pixel.

cercando, sin dall'inizio, di individuare quelle geometrie piane *ideali*, alla base del tracciamento delle sezioni. Un lavoro, quindi, non di sterile ricopiatura di dati, bensì di creativo e colto atto ri-progettuale.

I *luoghi geometrici*<sup>11</sup> che compongono i profili, le sezioni (orizzontali e verticali) e gli impianti geometrici (centri, assi, ecc.) che strutturano l'insieme architettonico, creano le premesse per il passaggio alla *modellazione solida tridimensionale dell'elemento architettonico*.

Tale tipo di modellazione consente di ottenere in maniera non ambigua tutte le informazioni dell'intero elemento architettonico. A seconda dello specifico elemento da modellare in maniera *solida* si opererà opportunamente per una modalità CGS (Constructive Solid Geometry) o B-Rep (Boundary Representation).

Nel primo caso si utilizzeranno gli strumenti di *protrusione*, *booleani* e *taglio di solidi*, che consentono di costruire "oggetti" relativamente complessi, agendo sempre su geometrie solide. Con il generico termine di *protrusione*<sup>12</sup> si indica la realizzazione di un solido (sottile o pieno) partendo da un insieme di profili disgiunti; i diversi tipi di protrusioni sono stati classificati in: lineare (estrusione di un profilo lungo una direttrice rettilinea), circolare (estrusione di rivoluzione attorno ad un asse), elicoidale (estrusione del profilo lungo una direttrice elicoidale - con particolare attenzione ai vincoli di perpendicolarità), sweep (estrusione del profilo lungo una direttrice di forma qualsiasi), loft (realizzazione di un solido da un insieme ordinato di profili disgiunti).

Nel secondo caso si otterranno gli elementi solidi, attraverso l'"assemblaggio a tenuta stagna" delle superfici che definiscono la pelle dell'oggetto. In questo caso la modellazione è più delicata perché non direttamente solida, ma più *performante* perché capace di creare qualsiasi superficie complessa presente nell'elemento architettonico. Si sfrutterà quindi la modellazione superficiale NURBS per creare, attraverso la chiusura delle superfici, elementi architettonici solidi molto complessi (*arriere-vousure*, *trompe*, volte ellittiche, ecc).

Costruito il modello solido dell'elemento stereotomico, si sfrutteranno gli strumenti di controllo e analisi al fine di una prima *esplicazione delle geometrie solide che conformano l'elemento architettonico*. Si individueranno quindi gli elementi cardine (centri, baricentri, assi, luoghi geometrici delle superfici interne all'elemento - letti di contatto dei conci, ecc.) per costruire la suddivisione dell'unità in parti dello specifico sistema di apparecchiatura dell'elemento.

Si è proceduto, a parametri esplicitati, all'*individuazione di un campo di variabilità* geometrico/formale, degli stessi, per comprendere la possibile generalizzazione formale dell'elemento architettonico.

11 Alcune sezioni o profili, possono esser ricavati a posteriori sezionando il modello solido per mezzo di piani su cui non era possibile operare la vettorializzazione.

12 P. Aspettati, S. Buralli, G. Cascini, P. Rissone, G. Taddei, M. Toderi, *op. cit.* (cfr. nota 3).

Tale modalità operativa fa riferimento ai processi di modellazione parametrico/variazionale di cui si è detto. L'interesse è quello di "manipolare" creativamente la forma, codificata storicamente, per giungere a nuove speculazioni progettuali.

Da modello solido di ogni elemento esaminato, oltre alla creazione di infinite immagini di sintesi è stato possibile creare la *predisposizione dei modelli alla prototipazione dell'elemento*. Tale operazione è stata strutturata in due fasi. In una prima fase si è creato il file di formato *stl* per la *prototipazione rapida* dell'elemento. Tale tecnica ha consentito la comprensione immediata delle problematiche morfologiche relative all'insieme geometrico del sistema architettonico. Nella seconda fase, attraverso l'interscambio dati di formato *iges*, si sono letti i modelli di "diversa provenienza" nel software CAM. Si è proceduto alla "lavorazione virtuale" dell'elemento/concetto e, a verifiche ultimate, si è predisposto il file *post-script CN* per la lavorazione del concetto, con macchina a CNC a 5 assi per *asportazione del truciolo*.

Il "corredo genetico" del modello infografico solido, consente un approccio analitico, variegato e puntuale, che tende a riportare la speculazione stereotomica in quegli ambiti disciplinari, storicamente uniti, oggi sfortunatamente parcellizzati.