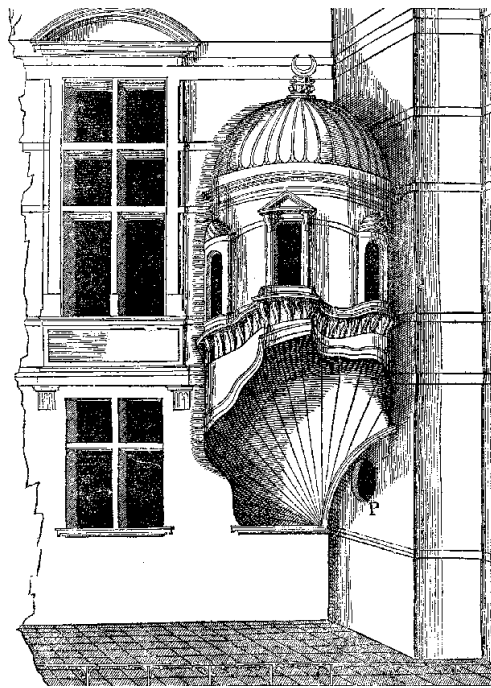


CAMILLO TREVISAN

PER LA STORIA DELLA STEREOTOMIA
GEOMETRIE, METODI E COSTRUZIONI



Indice

Prefazione	5
1. Introduzione	7
2. Stereotomia e <i>Trait</i>	8
3. Il taglio della pietra	11
4. Tipologia della <i>Trompe</i>	18
5. La costruzione del <i>Trait géométrique</i>	20
Appendice A. La costruzione del <i>trait</i> della <i>trompe</i> d'Anet	31
Appendice B. La costruzione dei cartoni di giunzione tra i conci e dell'estradosso della <i>trompe</i> d'Anet	37
Appendice C. Ricostruzione del metodo proposto da Girard Desargues	41
Note	46
Bibliografia	50
<i>Excerpta</i> da <i>Le premier tome de l'architecture</i> di Philibert Delorme	53
<i>Excerpta</i> da <i>Le Secret d'Architecture</i> di Mathurin Jousse	75
<i>Excerpta</i> da <i>L'Architecture des voutes</i> di François Derand	83
<i>Excerpta</i> da <i>La pratique du trait</i> di Abraham Bosse	103
<i>Excerpta</i> da <i>De Lapidum Sectione</i> di Claude François Milliet de Chales	121
<i>Excerpta</i> da <i>Traité de la coupe des pierres</i> di Philippe de La Hire	127
<i>Excerpta</i> da <i>Traité de la coupe des pierres</i> di Jean Baptiste De La Ruë	139
<i>Excerpta</i> da <i>Traité de la Coupe des Bois</i> di Edme Blanchard	149
<i>Excerpta</i> da <i>La théorie et la pratique de la coupe des pierres</i> di Amédée-François Frézier	153
<i>Excerpta</i> da <i>L'Architecture des voutes</i> di Blaise Boye	201
<i>Excerpta</i> da <i>Architettura Civile</i> di Guarino Guarini	207

Certamente non è la geometria che ha prodotto la stereotomia in Francia; ma al contrario - grazie a Desargues, La Hire, Frézier, Monge - è la stereotomia che, in Francia, ha fatto nascere la geometria descrittiva.

Pérouse de Montclos, *L'architecture à la française*, 1982.

Prefazione

Lo scopo principale di questo studio è dato dal raccogliere, selezionare, tradurre, commentare e illustrare i brani più notevoli dei principali trattati, quasi tutti francesi, che tra la seconda metà del Cinquecento e la prima del Settecento definirono e svilupparono la scienza della stereotomia. Si prenderà in esame, soprattutto, uno tra gli oggetti architettonici più espressivi e peculiari di questa disciplina: la *trompe*, ed in particolare la *trompe* di Anet, dalla forma forse più ardita e complessa tra tutte. Pertanto sono stati scelti i trattati di Philibert Delorme, precursore nel campo della stereotomia e inventore della *trompe* di Anet; Amédée-François Frézier, il quale nei suoi tre tomi ha codificato complessivamente la materia; Girard Desargues, che invece, anche attraverso il suo discepolo Abraham Bosse, propone un metodo per certi versi del tutto originale; François Derand, Mathurin Jousse, François de Chales, Philippe de La Hire, Jean Baptiste De La Ruë e Guarino Guarini, ciascuno dei quali perfeziona, approfondisce o codifica uno o più aspetti particolari della materia.

Per meglio operare, e con maggior precisione, si è anche messo a punto un programma per computer, basato sul metodo del *trait*, in grado di definire sia il modello tridimensionale di una generica *trompe* conica e dei suoi conci, sia i cartoni bidimensionali, a quel tempo usati per il taglio dei conci stessi oppure per costruire modelli in scala. Il programma, di semplice e libero utilizzo e disponibile presso il sito *Internet* <http://www.iuav.it/dpa/ricerche/trevisan/trompe.htm>, consente anche di scandagliare, rapidamente e con certezza dei risultati, le possibili variazioni che subisce il modello al modificarsi del grafico costruttivo.

Il primo motivo di interesse per questa disciplina, apparentemente così lontana dalle odierne procedure di progettazione e costruzione dell'architettura, consiste al contrario nella sua assoluta attualità. Negli ultimi due secoli l'architetto ha concepito e sviluppato il progetto essenzialmente usando i metodi di rappresentazione sul piano di un modello. La geometria descrittiva, tenendo fede al suo stesso nome, si propone infatti di rappresentare univocamente il modello tridimensionale, certo non di costruirlo. Al contrario, oggi, gli strumenti del *computer aided architectural design* creano, controllano e modificano il modello tridimensionale con metodi simili a quelli della costruzione reale. La rappresentazione del modello coincide dunque con il modello stesso e tende persino a confondersi con l'architettura edificata. L'architetto può così operare costruendo direttamente l'architettura, o meglio il suo modello digitale, non una sua rappresentazione piana. La stereotomia, ed in particolare il metodo del *trait*, ha lo stesso intento, non limitandosi a conoscere e descrivere l'oggetto, ma letteralmente costruendolo in ogni spigolo, in ciascuna faccia, concio per concio. Basti pensare, ad esempio, che il metodo della doppia proiezione ortogonale richiede almeno due rappresentazioni, proprio perché dall'incrocio delle due informazioni bidimensionali si perviene alla conoscenza della terza dimensione: ciò che non è rappresentato, semplicemente, non esiste e ciò che è rappresentato in una sola vista è, di norma, indefinito. Un *trait géométrique*,

al contrario, non solo trattiene in sé il modello complessivo e completo dell'oggetto, come una cellula contiene l'intero patrimonio genetico di un individuo, ma consente anche di descriverlo e persino di costruirne direttamente il modello fisico, per quanto complesso esso sia. Uno strumento vivo e dinamico, allora, un vero e proprio algoritmo creatore, ancora utile all'architetto oltre che allo storico.

Il testo che segue è strutturato per livelli successivi: ad una prima parte, che ha il compito di illustrare e suddividere il tema e trarne alcune considerazioni complessive, seguono alcune appendici tecniche, che approfondiscono specifici problemi geometrici e di metodo. Infine, le traduzioni commentate e provviste di un ampio apparato iconografico portano il lettore ad una diretta conoscenza dei trattati.

Lo spunto per lo studio della stereotomia proviene dal prof. Massimo Scolari. Gli sono particolarmente riconoscente anche per le lunghe, assidue e per me assai fruttuose conversazioni sull'argomento; per avermi dato accesso alla sua biblioteca e persino ai suoi stessi appunti di lavoro. Non sono certo di esser riuscito a tradurre tutto questo in analisi penetranti e illuminanti, in concetti e metodi espressi con chiarezza e accuratezza. Per contro, manifestamente, tutti gli errori, le imprecisioni o le lacune sono da attribuirsi solo ed interamente a chi scrive.

1. Introduzione

Nelle cave di Gebel-Abou-Fedah, nei pressi di Beni Hasan e vicino a Tell el-Amarna, nel Medio Egitto, durante la sfortunata spedizione napoleonica furono ritrovati, abbandonati in tempi antichi ancora in fase di lavorazione, dei blocchi di pietra sui quali erano stati tracciati degli *épure*¹ di capitelli hathoriani.

I blocchi di Abou-Fedah, leggermente più grandi del capitello e rifiniti come perfetti parallelepipedi, presentavano sulle loro facce, ancora ben visibili, le tre proiezioni ortogonali, tracciate con l'aiuto di una griglia quadrettata. La forma finale era dunque ottenuta dall'incontro di tre ideali direttrici di scavo, perpendicolari tra loro e ortogonali alle rispettive facce del parallelepipedo. La quadrettatura, oltre a servire da guida per la proporzione delle figure, poteva così essere usata anche come riferimento per mantenere l'ortogonalità dello scavo rispetto alla faccia.²

In molti altri casi si sono ritrovati esempi di grafici, in scala o in proporzione, utili per la definizione e la costruzione di parti di edifici in legno e in pietra: grafici ai quali, estensivamente, è possibile assegnare il nome di *trait*.³ Il *trait* è infatti un tracciato costruttivo analogo all'*épure* ma eseguito in scala non naturale, su carta, pergamena, legno o anche su schegge di calcare.

Il metodo del *trait*, nell'accezione più ristretta di tracciato geometrico costruttivo utile per la formazione e il taglio di conci di pietra, è però compiutamente determinato a partire dalla metà del Cinquecento, in Francia; pure se alcuni grafici - anche architettonici, in scala o in proporzione e con accenni di semplici costruzioni geometriche - risalgono anch'essi al periodo dell'Antico Egitto.

Ad esempio, nel papiro Rhind sono presentati alcuni problemi geometrici relativi al calcolo del *seked*, l'inclinazione di una piramide.⁴ È logico dedurre che costruzioni geometriche del tutto analoghe fossero servite, circa un millennio addietro, per la definizione delle inclinazioni da dare alle facce dei blocchi di calcare fine di Tura o di granito di Aswan, usati come rivestimento esterno delle piramidi.

Un *ostrakon* risalente alla III dinastia egizia sembra definire la curva di un tetto con il *sistema delle coordinate*.⁵ Anche in questo caso si tratta di uno schizzo di progetto, eseguito più con l'intento dell'indicazione costruttiva che della rappresentazione architettonica.

Ma a differenza degli *épure*, questi due esempi sottendono, oltre a metodi pantografici di riporto e d'uso degli schizzi alla scala naturale, anche e soprattutto una discontinuità metodologica.

Se l'*épure* è essenzialmente una proiezione ortogonale - ed infatti spesso compaiono due o tre grafici in reciproco completamento - il *trait* è nella sostanza, e nella sua forma più semplice, una sezione.

Ad una rappresentazione in proiezione parallela - utile per l'estrusione dell'oggetto, quasi il grafico fosse una maschera di taglio - si contrappone pertanto l'operazione quasi fisica di sezione di un oggetto, già concepito nella sua forma finita.

Ed in questa accezione è interessante notare come Amédée-François Frézier commenta l'espressione *couper du trait*: "Si dice *couper du trait* per indicare lo studio che si fa con il gesso, su legno o altro materiale facile da tagliare, che si taglia in piccoli conci, come nella vera esecuzione di una volta, per imparare ad unire la teoria alla pratica e per capire più facilmente l'effetto del *Trait* sulla pietra o anche per verificare le diverse maniere usate per ottenere lo stesso risultato, sia servendosi dei pannelli sia

tagliando *par équarrissement*".⁶

I pannelli, costruiti seguendo il metodo del *trait* proposto nel suo trattato da Philibert Delorme,⁷ possono servire infatti, oltre che ad avviluppare e definire i conci di pietra durante le fasi della loro produzione, anche per produrre semplici ma precisi modelli in cartone o legno.⁸

La stupefacente complessità stereometrica di quei modelli non potrà non stupire, soprattutto se si tiene in conto della relativa semplicità dei grafici bidimensionali dei quali ci si è serviti. Nel modello, i grafici del *trait* si incastonano su poche sezioni fondamentali - orizzontali e verticali - costituendone l'orditura portante e i principali vincoli di modifica.⁹

Dunque, se i semplici *trait* egizi o gli *épures* medievali erano del tutto adeguati a quel tipo di costruzioni, nella Francia del Cinquecento, per costruire usando la pietra da taglio, si rendono necessari metodi più evoluti.

Delorme scrive infatti: "Quando vi è qualche difformità [nella geometria degli edifici], comunemente i Muratori, dato che non capiscono il metodo di questi *traicts* [sic], fanno le volte in mattoni o in pietre, ma in blocchi piccoli, piuttosto che in pietra da taglio. Questo per non avere l'affanno di prepararli [i conci] e, di sovente, senza risparmiare l'uso di grandi barre di ferro per sostenere le loro costruzioni, per paura che quelle cadano. Questo è un costume molto sconveniente, per le ragioni che abbiamo detto".¹⁰

Da questa breve nota, si evince che si iniziò ad usare il *nuovo* metodo del *trait* non tanto, o non solo, come forma di virtuosismo geometrico applicato all'architettura, ma soprattutto per risolvere problemi costruttivi reali. Problemi che potevano sì essere brutalmente forzati con barre di ferro o evitati con altri mezzi poco ortodossi, ma che avevano un'unica soluzione diretta ed elegante: il *trait géométrique* che dava la capacità all'architetto di progettare - e pertanto di prevedere, anche per mezzo di modelli - forme tridimensionali complesse e consentiva al tagliapietre di eseguirle e ricavarle dalla pietra squadrata.

2. Stereotomia e *Trait*

Jean Chéreau - nel suo manoscritto *Livre d'architecture* (ff. 102-119), coevo al trattato di Delorme - associa il *trait* non solo alla prospettiva, ma anche alla gnomonica, all'astronomia e persino alla metrologia: tecniche che rappresentano in vario modo entità tridimensionali attraverso il disegno.

Anche nel quaderno di Villard vi è la notazione "tutte queste figure provengono dalla geometria". Ma lì si tratta essenzialmente di geometria piana, non di stereografia, pur se quelle costruzioni dovevano essere usate per costruire elementi tridimensionali.¹¹

Nel 1459, a Ratisbona, fu interdetto di insegnare ai non addetti ai lavori il metodo grafico - che può essere visto come un semplice e primitivo *trait* costruttivo - per ricavare l'elevazione di un pinnacolo dalla sua pianta; metodo che invece Roritzer rivelò nel suo *Büchlein* del 1486.¹²

La stereotomia¹³ è dunque una scienza in equilibrio tra moderna invenzione del Rinascimento e retaggio del Gotico e di procedure ancora più antiche: esperienza pratica medievale, prettamente empirica, unita ai nuovi metodi geometrici, assai più compiuti e coerenti.

Come per la prospettiva, nel *trait* due sezioni, relative a piani tra loro perpendicolari, non solo vengono ambedue usate, ma servono contempo-

raneamente ed entrambe per la generazione di un terzo grafico: la prospettiva stessa oppure i cartoni con i profili dei conci o lo sviluppo su piano del manufatto. Come nella prospettiva, il *trait* è usato per rappresentare lo spazio attraverso la geometria e il disegno. Inoltre, nel *trait* - così come viene descritto, forse non per caso, nei coevi trattati francesi di prospettiva¹⁴ e poi nella geometria descrittiva - un piano viene ribaltato sull'altro in modo da ottenere un'unica superficie di lavoro, sulla quale si opera con procedure che tengono sempre in considerazione la diversa natura dei grafici. È in tal senso che il metodo del *trait* può senz'altro essere visto, nei fatti oltre che nel nome, come vero e proprio *trait d'union* tra la prospettiva albertiana e la geometria descrittiva di Gaspard Monge. Nel suo trattato Delorme evita di affrontare il problema nel suo insieme, da un punto di vista puramente teorico, ma, consapevolmente e pur senza grande successo, tenta di spiegare ed illustrare il "generale per mezzo del particolare".¹⁵

Delorme - pur non essendo il primo in assoluto a scrivere sul metodo del *trait*, inteso in senso estensivo¹⁶ - è comunque il primo a dedicarvi una parte cospicua di un trattato di architettura (due interi libri, il terzo ed il quarto), sia pure scrivendo in modo spesso confuso e poco comprensibile, quasi mai giustificando dal punto di vista geometrico le operazioni descritte. Operazioni mirate, inoltre, alla soluzione di problemi specifici, pratici più che teorici.

Pur iniziando ad essere divulgata dai trattati, che si succederanno con ritmo sempre più pressante, l'arte del *trait* rimane pertanto appannaggio degli iniziati; appresa sul campo e con l'esperienza più che per mezzo di applicazioni geometriche.

Mathurin Jousse, Girard Desargues, Abraham Bosse, François Derand, compilano invece i loro trattati attorno alla metà del Seicento. In tutti, pur se diversi tra loro nel tono e nel merito, la stereotomia emerge come disciplina autonoma sia dalla matematica sia dall'architettura. Jousse propone sostanzialmente lo stesso metodo di Delorme; Desargues invece riconduce tutti i problemi della stereotomia ad una unica regola, attirandosi con questo l'accusa di ermetismo da parte dei Maestri Massoni dell'epoca. Derand ritorna anch'egli alle modalità di Delorme, sviluppate da Jousse. I suoi metodi risultano più raffinati di quelli proposti da Delorme, pur rimanendo sistemi messi a punto *ad hoc* per ogni tipo di costruzione. Mathurin Jousse scrive nel 1642 il primo trattato completamente dedicato alla stereotomia. Al contrario di Delorme, che secondo Jousse aveva presentato il problema in modo troppo complicato e oscuro,¹⁷ l'esposizione del metodo è intenzionalmente semplice: tanto da non essere sufficiente per la comprensione completa del tema.¹⁸ Il testo comprende circa cento esempi di *trait*, con relativo commento a lato, una buona parte dei quali è dedicata ai vari tipi di *trompe*.

Desargues, con il suo *Brouillon Project* del 1640, per primo tende a condurre l'infinita varietà di metodi specifici ad un unico sistema, capace di risolvere tutti i problemi della definizione stereometrica di qualsiasi concio, introducendo ed usando i postulati basilari della geometria proiettiva. Il metodo, riproposto tre anni dopo da Bosse nel *La Pratique du Trait*, non è in realtà del tutto nuovo e rivoluzionario nei principi o nei meccanismi: lo è invece nella pulsione alla teoria e all'astrazione dal problema particolare.¹⁹

Jean-Baptiste De La Ruë, Philippe de La Hire e Amédée-François Frézier rappresentano infine gli ultimi grandi trattatisti, prima dell'inizio del

declino della stereotomia, a partire dalla seconda metà del Settecento. Il trattato di De La Ruë, particolarmente ben illustrato e con i vari passaggi costruttivi presentati sistematicamente, si mantiene nella tradizione di Derand.

De La Hire, professore nella *Académie d'Architecture*, lascia invece un manoscritto inedito che costituisce la summa dei suoi periodici insegnamenti accademici sulla *coupe des pierres* (1688-89, 1702-5, 1707-9, 1712-13).

Infine e soprattutto, Frézier predispone il trattato più esteso e completo, pubblicato tra il 1737 e il 1739. Si compone di tre tomi, il primo dedicato alla sezione di corpi solidi, alla loro compenetrazione e alle curve che in tal modo si ottengono, alla proiezione di archi e volte su superfici piane o sferiche, ai metodi per trovare gli angoli tra le superfici di un concio. Il secondo tratta dei vari tipi di volte, siano queste piane, cilindriche, coniche, sferiche, anulari, elicoidali o irregolari; il terzo tomo analizza le volte composte, date dall'intersezione e dall'incontro di volte di tipo uguale o diverso: ad esempio l'intersezione tra due volte coniche, tra una conica e una sferica o cilindrica e così via.

Se da un lato si manifesta l'evidente tendenza alla classificazione (tassonomia concepita sulla base delle caratteristiche geometriche dei vari tipi di volta, più che sul tipo architettonico), d'altro canto ogni tipo è ancora una volta affrontato e svolto come un *unicum*, sia pure attraverso riferimenti incrociati e confronti. La soluzione di ciascun caso dipende infatti dalla conformazione dell'oggetto considerato, dalle sue caratteristiche peculiari più che da quelle generali.

I trattati successivi, pur se molto numerosi, costituiscono, a parte qualche rara eccezione, delle riproposte di opere precedenti, ormai astratti e spesso virtuosistici.²⁰

La difficoltà di spiegazione e di comprensione del metodo è evidente: il *trait* è un grafico che considera e coinvolge tre dimensioni, anche se separatamente, per coppie. In un *trait* coesistono infatti due o più sezioni, riferite a piani normalmente tra loro perpendicolari: le sezioni non appartenenti a piani paralleli a quello di rappresentazione sono ribaltate su quest'ultimo.

La presenza contemporanea di due o più sezioni, poste a registro ed eventualmente ribaltate, consente di operare - sia pur attraverso metodi apparentemente farraginosi - come nelle tre dimensioni dello spazio, quasi come se si stesse costruendo un modello in cartone dell'oggetto. Come anche nella doppia proiezione mongiana, il metodo del *trait*, dato un qualsiasi punto del quale siano note le coordinate di pianta, consente infatti di ottenerne la quota. Inoltre, è anche possibile determinare gli angoli tra le facce dell'oggetto.

Il metodo proposto nei molti trattati che si succedono, con parziale esclusione per quello di Desargues, è sostanzialmente sempre il medesimo, sia pure descritto in modo a volte diverso, data la specificità dei casi esaminati: ribaltamento di un punto sul piano orizzontale rispetto ad un dato asse e riporto lungo una retta della distanza di quel punto da quell'asse per ottenere l'altezza del punto; operazione eseguita usando informazioni contenute in un altro grafico, suddividendo pertanto il problema in parti facilmente risolvibili.

Per mezzo di quelle costruzioni si era così in grado di tracciare i cartoni di sviluppo del manufatto: dunque il suo modello, in scala o anche a grandezza naturale.

Il metodo illustrato da Desargues è di altro tipo rispetto a quello di Delorme e dei suoi successori. Desargues, per descrivere un *berceau descente* o *montée biaise en talus* (una volta sghemba con l'asse, ed il piano di calpestio, inclinato verso l'alto o il basso) usa cinque piani - l'orizzontale, di riferimento, uno inclinato appoggiato alla facciata, un piano verticale e perpendicolare alla facciata stessa, un altro piano verticale ma parallelo ai piedritti della volta ed infine il piano inclinato di calpestio - e ben quattro assi principali: l'asse della volta, la sua proiezione sul piano di facciata, la perpendicolare a questa, giacente sullo stesso piano, e una specifica perpendicolare all'asse, giacente sul piano dell'asse e della sua proiezione sulla facciata.

Frézier tenta di spiegare così, sommariamente, il metodo di Desargues: "In tutto il capitolo ho mostrato come un problema resti costante: le differenze tra le volte *en Berceau* [Frézier sta trattando le volte cilindriche, *en berceau*] non sono altro che il risultato del cambiamento della posizione, o della sezione, di un corpo cilindrico; cosa che non altera minimamente la natura stessa del cilindro, né quella delle sue sezioni. Desargues, avendo capito questa verità, ha ridotto ad un unico problema la costruzione dei *Berceaux*, siano questi retti, inclinati, *en Talud* o *Biais*: quello di cercare l'angolo tra l'asse del cilindro e un diametro della sua base, quest'ultimo posto sulla sezione passante per l'asse e perpendicolare al piano per la stessa base. In altre parole: trovare l'angolo della maggiore inclinazione dell'asse del cilindro rispetto al piano della faccia".²¹

In altri termini, il manufatto non è scomposto in conci, ciascuno definito singolarmente e posto in relazione con i suoi vicini, ma al contrario è inserito in un sistema di riferimento immobile nello spazio ed ogni sua parte si risolve geometricamente e si collega con l'adiacente sempre indirettamente, sempre usando gli stessi piani e gli stessi assi di riferimento, scelti ingegnosamente per poter costruire i pannelli e trovare gli angoli tra le facce con il minor dispendio di energie.

3. Il taglio della pietra

Un altro interessante aspetto, strettamente legato alla pratica della stereotomia e del *trait*, riguarda le modalità di taglio dei conci. Infatti, per interpretare nel giusto modo i grafici proposti nei trattati di stereotomia, forse più che la geometria è utile prendere in esame anzitutto la statica e la prassi costruttiva. Se i conci in pietra devono giustapporsi e combinarsi in modo da costruire un manufatto che "sembri un tutt'uno", i primi problemi che l'architetto deve risolvere riguardano i meccanismi di distribuzione dei pesi e delle forze e la scelta della forma dei conci, in modo che questi possano ben combinarsi tra loro e sopportare indenni le forze e il peso della struttura.

Durante il Medioevo di norma si procedeva *par équarrissement*, o *par déroboement*: date le misure nette del concio, si esegue la squadratura del parallelepipedo che contiene il concio stesso.

Tagliando un concio *par équarrissement* si opera nel modo seguente:

- 1) Si inizia con il formare un parallelepipedo che contiene completamente il concio.
- 2) Si applicano poi, alle facce orizzontali e verticali del parallelepipedo, le proiezioni del concio e si perviene alla definizione stereometrica del concio stesso eliminando le parti superflue. Questa operazione è del tutto simile a quella di una moderna macchina utensile operante per fresatura. Successivamente fu introdotta la pratica di costruire pannelli che avvol-

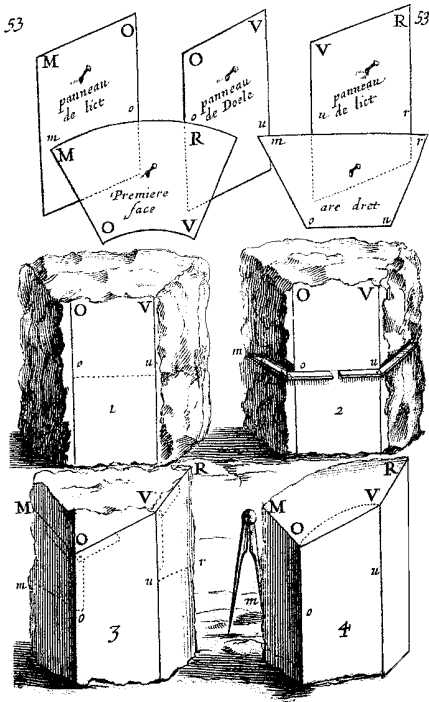
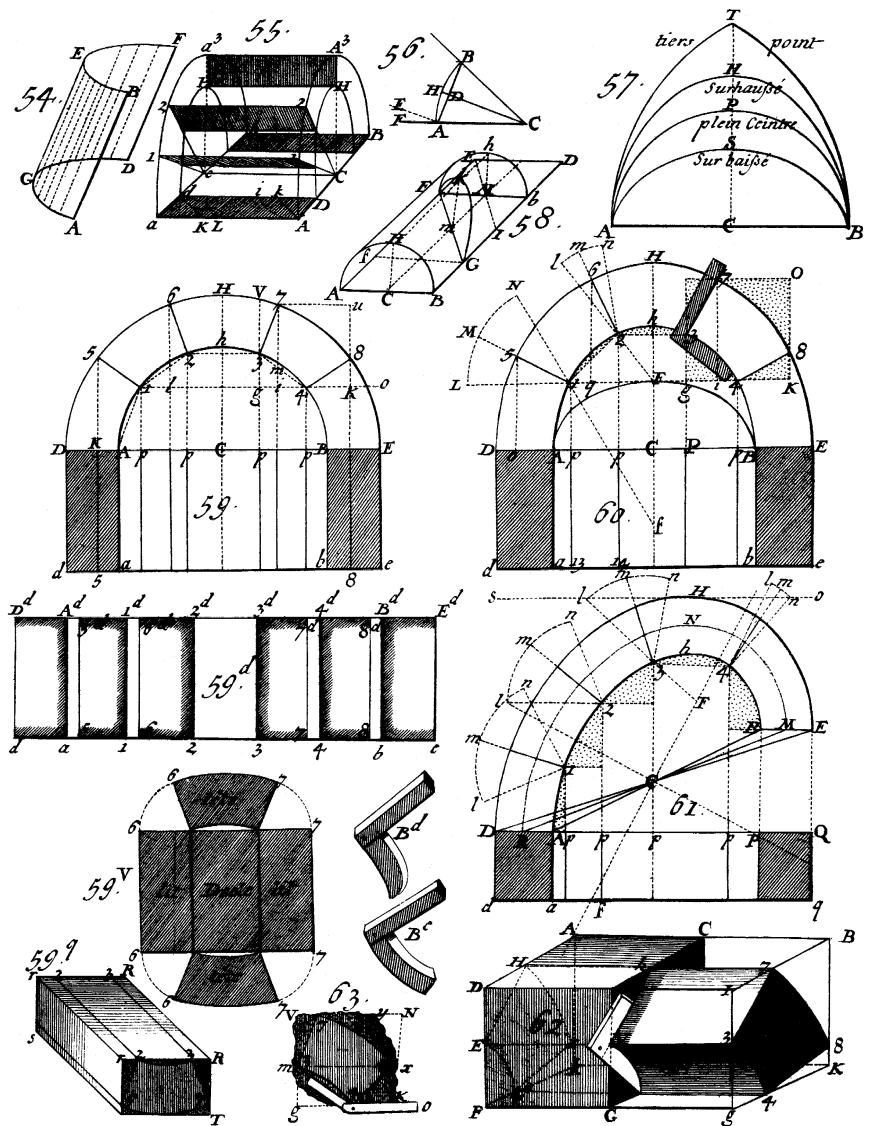


Figura 1. Bosse, La pratique du Trait, tavola 53.

Figura 2. Frézier, La théorie..., Libro IV, tavola 34, p. 118.



gevano il concio finito.

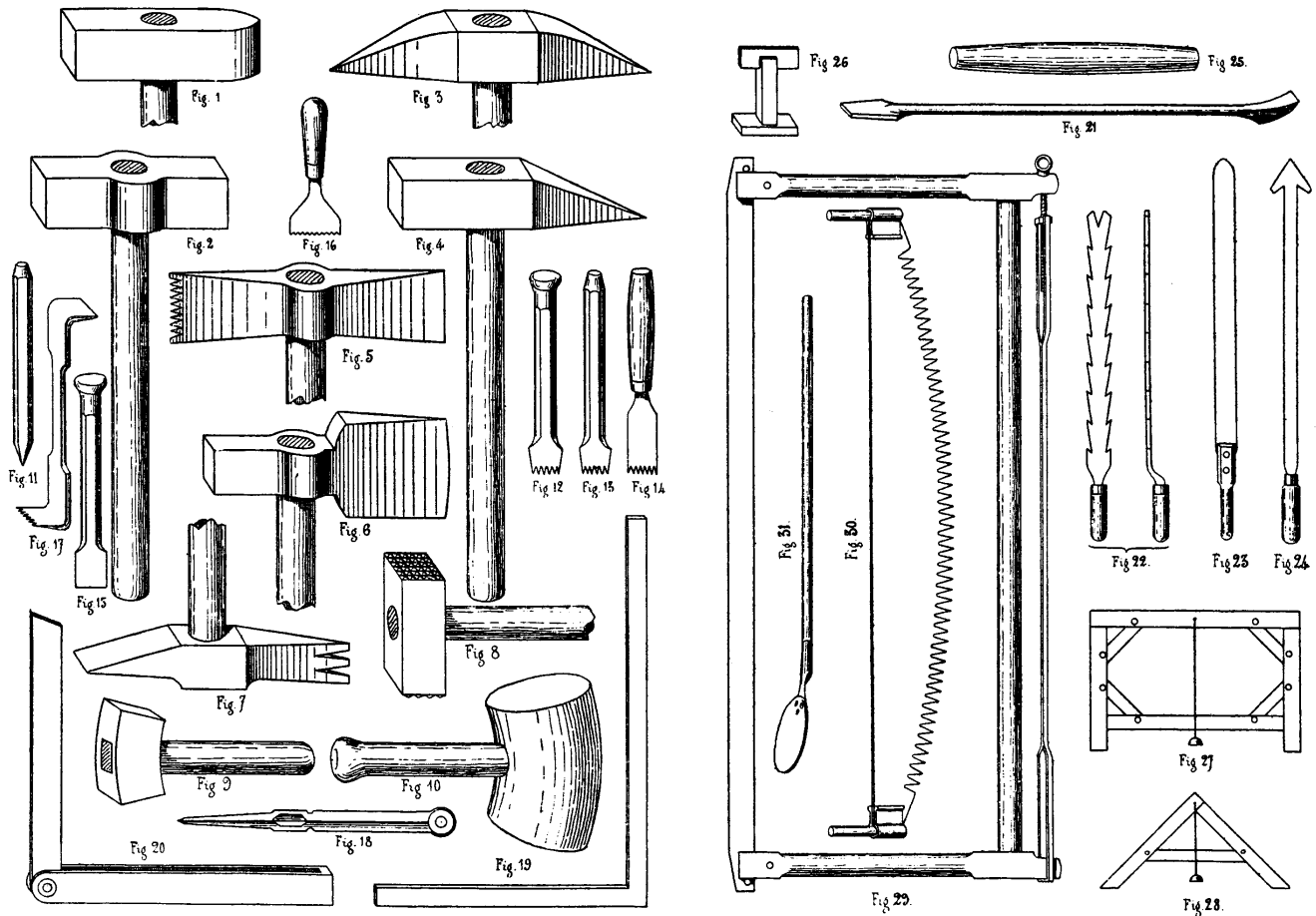
Tagliando dunque *par panneaux* - noto anche, successivamente, con il termine *par biveaux*, metodo altrimenti detto *directe* perché direttamente applicato al taglio del concio -, si eseguono invece le operazioni:

1) Si parte da un blocco di pietra, su una faccia del quale si traccia per mezzo di un pannello una delle facce del concio, possibilmente piana, sia questa *de lit*,²² di testa o anche *de döele*.²³ I pannelli sono eseguiti su carta, pergamena, legno o metallo duttile, ad esempio piombo. Nel caso si inizi con una *döele* si userà il pannello delle *döele plate*.

2) Si procede dunque o per mezzo degli altri pannelli oppure anche per mezzo di modani (*biveaux*) che riportano gli angoli tra la faccia appena eseguita e quelle adiacenti.

Il metodo *par équarrissement* ha il vantaggio di richiedere pochi cartoni (di norma due o tre proiezioni in pianta e alzato) ed inoltre non è necessario conoscere a priori la natura delle eventuali linee curve: infatti queste si determinano automaticamente, "*par une espece de hazard*".²⁴

D'altro canto ha anche lo svantaggio di sprecare una gran quantità di materiale, specie se il concio è inclinato rispetto alle facce del blocco che lo contiene. È anche spesso necessario eseguire più passaggi, vale a dire che non in tutti i casi l'intersezione dei tre profili produce il concio



definitivo. Infine è indispensabile prestare estrema cura nel mantenere costanti gli angoli di abbattimento della pietra: un errore, anche piccolo, produrrebbe un concio malformato.

Al contrario, il metodo *par biveaux* prevede un maggior armamentario di strumenti, ma richiede anch'esso grande perizia, poiché gli eventuali errori di inclinazione del taglio si possono sommare tra loro.

In compenso consente di ridurre lo spreco di materiale lapideo e i tempi di lavorazione, soprattutto per i conci complessi.

Frézier dedica una tavola alla descrizione dei due metodi per il taglio di un *berceau*, aggiungendone un terzo: *par demi-équarrissement*²⁵ (vedi figura 2). Per il taglio di un concio, secondo Frézier, si può dunque procedere in uno dei modi seguenti.

Par équarrissement. Si definisce, per prima cosa, la suddivisione in conci dell'arco (vedi immagini 60 e 61 della figura 2; dove, nel caso di andamento ellittico dell'arco, i giunti sono ottenuti dalle bisettrici degli angoli formati dalle rette che passano per il punto interno di giunzione e per i due fuochi dell'ellisse). Prendendo in esame il concio 3-4-8-7 dell'immagine 60, lo si inserirà in un rettangolo che lo contenga completamente, calcolando le *retombée*: le rette verticali che proiettano sul piano dell'imposta dell'arco i segmenti di giunzione (vedi immagini 60 e 61). A questo punto, costruita la sagoma di testa, la si userà per scavare il blocco di pietra come nell'immagine 62, in basso a destra della figura 2.

Par biveaux. Dopo aver suddiviso l'arco in conci, come nel caso precedente, il pannello di testa è già dato. La costruzione dei pannelli di giunzione è, in questo caso, immediata e così è anche per il pannello della *dœle plate* dell'intradosso (vedi figura 2, immagini, 55, 56, 59^d e 59^v).

Figura 3. Strumenti usati per il taglio della pietra (immagini tratte da Chaix, Traité de coupe des pierres..., pp. 6-7). Il calcare duro si taglia con il têtù (n. 1, 2), per disgrossare rozzamente il blocco; il ciseau (n. 15); la gradine (n. 12, 13); la pioche à deux pointes (n. 3); il poinçon (n. 11); il marteau bretté o laye (n. 5); la boucharde (n. 8) e la ripe (n. 17). Per il calcare tenero si usano la pioche (n. 4); il rustique (n. 3, con denti più distanziati) e il marteau tranchant (n. 6). Per le pietre tenere la lunghezza e la larghezza del concio sarà compresa tra una e due volte l'altezza; per le pietre di media durezza da una a tre volte; per le pietre dure da una a quattro e per le pietre molto dure da una a cinque volte l'altezza. Si dovranno poi evitare gli spigoli acuti. Inoltre i blocchi di pietra dovranno essere accuratamente selezionati in cava: si dovranno evitare le venature terrose (fil), tenere (moye) o particolarmente dure (ferrée) e i blocchi ghiaiosi (moulinée), che possono assorbire l'umidità ed essere attaccati dal gelo (gélives).

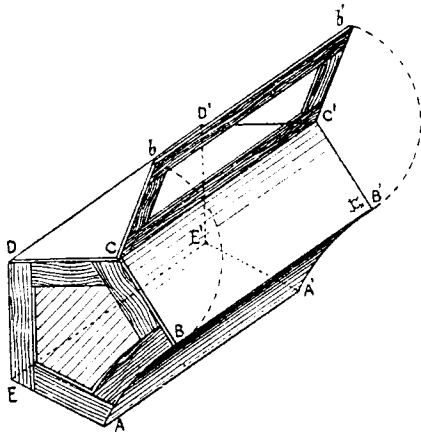
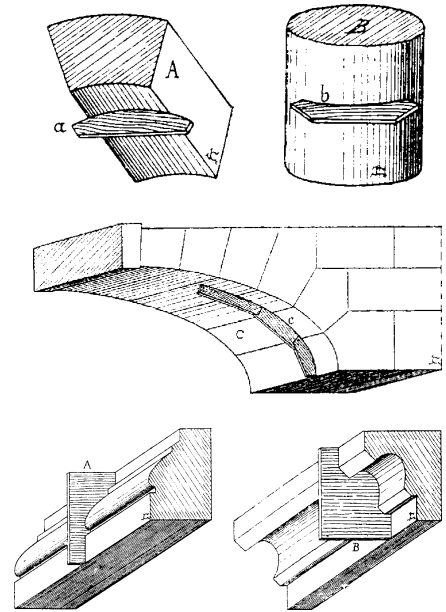
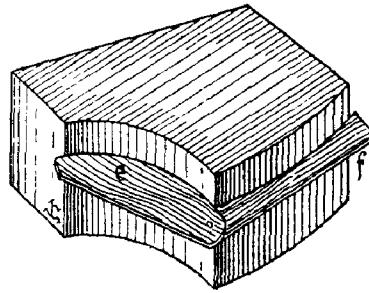
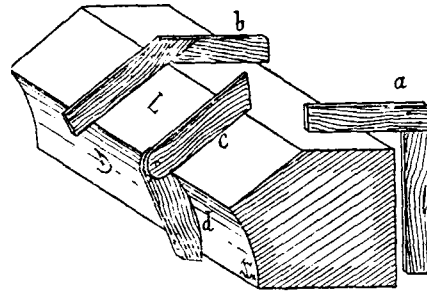


Figura 4, in alto a sinistra. I panneaux sono costruiti in cartone o, più frequentemente, in legno. Essi dovranno circondare completamente il concio. Il pannello ABCDE è il panneau de tête; BCC'B' il panneau de lit de dessus o panneau de dessus; AEE'A' il panneau de lit de pose o panneau de dessous; DCC'D' il panneau supérieur; DEE'D' il panneau de côté. I due pannelli BCC'B' e AEE'A' prendono il nome di panneaux de coupe; mentre la superficie curva ABB'A' è il panneau de douelle.

Figura 5, in basso a destra. I calibres o contre-panneaux - anch'essi in legno o cartone oppure in metallo - definiscono l'andamento della modanatura e si applicano perpendicolarmente alla pietra.

Figura 6, in alto a destra. La cerce (anticamente cherche) definisce la curva della douelle e potrà avere una curvatura ad arco di cerchio, ellittica o di altra conica.

Figura 7, al centro. I biveaux (o beuveaux) devono riportare sulla pietra gli angoli tra le facce, misurati perpendicolarmente alle facce stesse. Nel caso una stecca sia rettilinea e l'altra curva (figura in alto, lettere c, d), oppure entrambe curve (figura in basso, lettere e, f), essi prendono il nome di biveaux mixte e biveaux cerce.



Non resta pertanto che costruire i *biveaux* (vedi immagini B^d e B^e della figura 2 e la voce *biveau* nel glossario) che servono per dare a ciascuna faccia la giusta inclinazione rispetto alla sua contigua. La predisposizione dei pannelli, in questa accezione, serve dunque essenzialmente per poter squadrare un blocco di pietra che meglio si adatti alla conformazione del concio: il blocco dell'immagine 59^a (*par biveaux*) è infatti molto più piccolo di quello dell'immagine 62 (*par équarrissement*).

Par demi-équarrissement. Questo metodo, che Frézier dice essere stato messo a punto da Philippe De la Hire, anzitutto non usa le *retombée*, e dunque non usa i due paramenti *d'equerre* verticali. Inoltre, se la differenza essenziale tra i due primi metodi è data dalla presenza, nel secondo, di molti modani (*biveau* e *cerche*), questi si usano anche in quest'ultimo metodo, ma in minor numero rispetto al precedente. L'immagine 63 (vedi figura 2) illustra graficamente il metodo *par demi-équarrissement*: dato un blocco irregolare e volendo costruire il concio 3-4-8-7 dell'immagine 60, si tratterà l'orizzontale 4-K; si prenderà con un *biveau* l'angolo K-4-3 e lo si riporterà sul blocco di pietra. Si continuerà dunque sia per mezzo del pannello della *döele plate*, sia con tagli a squadra rispetto alla faccia di testa. Frézier ammette che il metodo, data la regolarità del concio, non apporta grandi benefici in questo particolare caso, ma ne illustra i vantaggi per i concii più complessi. Anzitutto, la possibilità di operare su blocchi non preventivamente squadrati consente un gran risparmio di materiale e di tempo. Inoltre, la flessibilità data dall'operare sia con pannelli e modani sia con tagli a squadra, permette di scegliere in corso d'opera il percorso costruttivo più conveniente: ad esempio scegliere come base di partenza una faccia orizzontale o verticale, secondo l'opportunità del momento, oppure usare i pannelli quando questi sono di semplice definizione. I tre metodi, pur seguendo vie diverse per giungere al medesimo risultato, ma vie spesso intersecate l'una all'altra, in realtà risultano concettualmente simili tra loro, con l'eccezione di un importante punto di discontinuità.

La pratica del taglio della pietra prevedeva, infatti, che il progetto generale fosse fatto dall'architetto, il quale doveva però poi fornire ai tagliatori sia elementi concreti (cartoni, modani o, addirittura, lo stesso modello

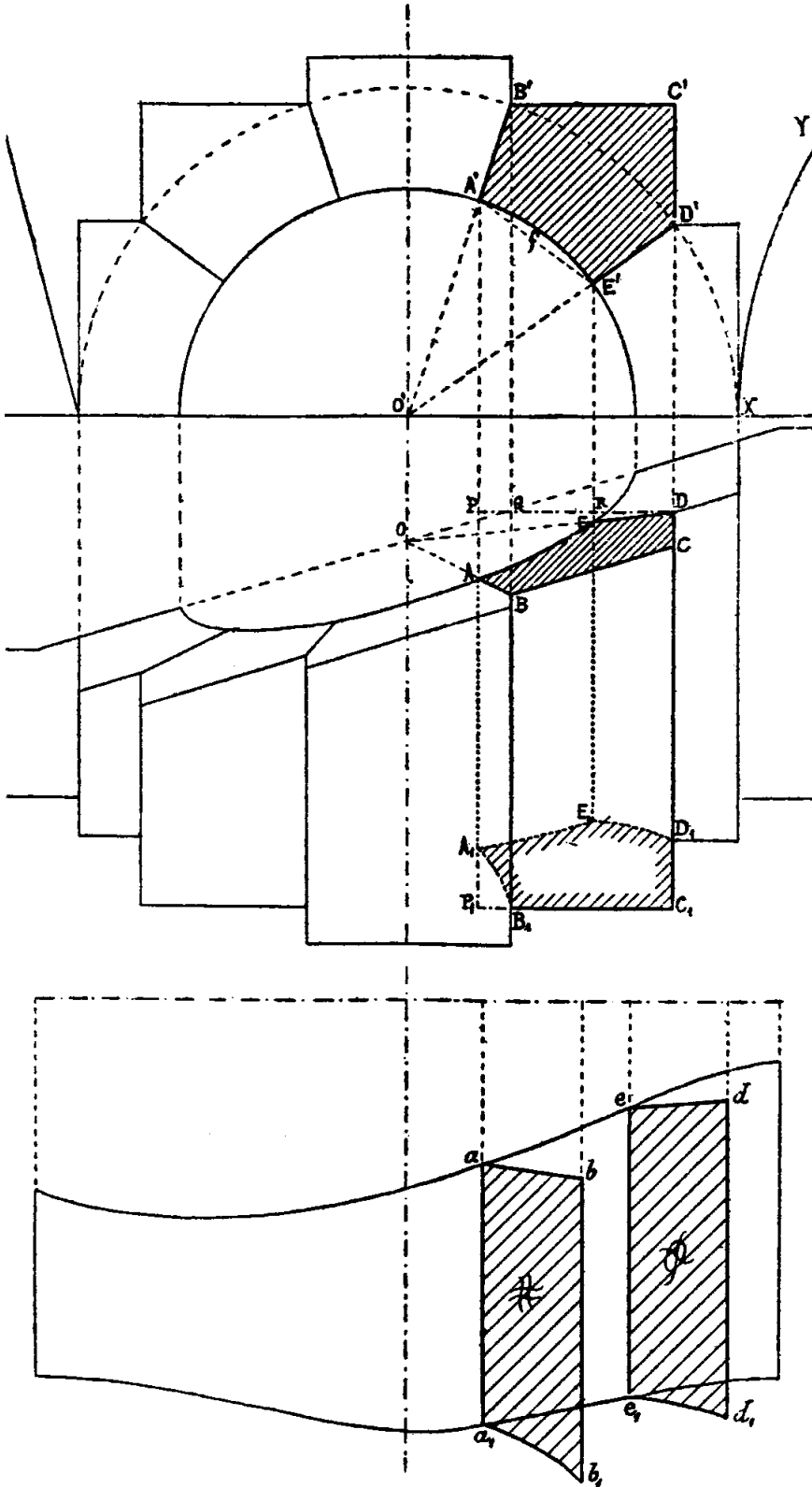


Figura 8. Chaix, *Traité de coupe des pierres...*, p. 24. Proiezioni ortogonali di una porte biaise, en talus et rachetant un berceau en maçonnerie, caratterizzato da una sezione piana inclinata (frontale) e da una sezione curva cilindrica (posteriore). Il contorno A'B'C'D'E' rappresenta la proiezione sul piano verticale del concio considerato negli esempi che seguono. A'B' è la proiezione del lit de dessus; A'E' la proiezione della douelle; E'D' la proiezione del lit de dessous; D'C' la proiezione del joint vertical; B'C' la proiezione del joint horizontal. Nella proiezione sul piano orizzontale, ABCDE rappresenta la tête du vousoir du côté de la face biaise et en talus; A₁B₁C₁D₁E₁ è la tête du vousoir du côté du berceau; ABB₁A₁ è la proiezione del lit de dessus; AA₁E₁E la proiezione della douelle; EDD₁E₁ la proiezione del lit de dessous; DD₁C₁C la proiezione del joint vertical; BCC₁B₁ la proiezione del joint horizontal. L'immagine in basso rappresenta il ribaltamento dei lit de dessus e de dessous (da notare i simboli che identificano i pannelli).

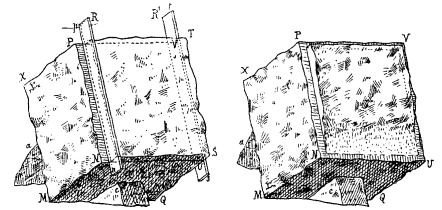


Figura 9. Giunto in cantiere dalla cava, rozzamente squadrato, il blocco di pietra deve anzitutto essere disposto en chantier (vedi figura a sinistra), vale a dire inclinato su di uno spigolo in modo che una sua faccia risulti completamente libera e di comodo accesso. Qualunque sia il metodo di taglio adottato, la fase successiva prevede il dressage d'un premier parement, la predisposizione di una faccia perfettamente piana. Tracciata sulla faccia MNPX una linea NP che indica il limite inferiore della faccia, viene praticata su questa traccia una ciselure (detta anche plumée) con il ciseau (n. 15, figura con gli strumenti per il taglio) e il maillet (n. 10), avendo cura di sovrapporre di tanto in tanto una stecca per verificare l'omogeneità della superficie. Una seconda ciselure sulla traccia TS permetterà controllare due limiti esterni della superficie da tagliare e, successivamente, altre due guide saranno prodotte sugli altri spigoli (vedi figura a destra). A questo punto si potrà facilmente ottenere la superficie spianata (degauchie). Si potrà ora procedere al taglio par éqarrissement (o par dérochement) oppure par biveaux (o taille directe). In entrambi i casi ci si servirà di panneaux, ma nel primo non è necessario conoscere preventivamente gli angoli tra le facce.

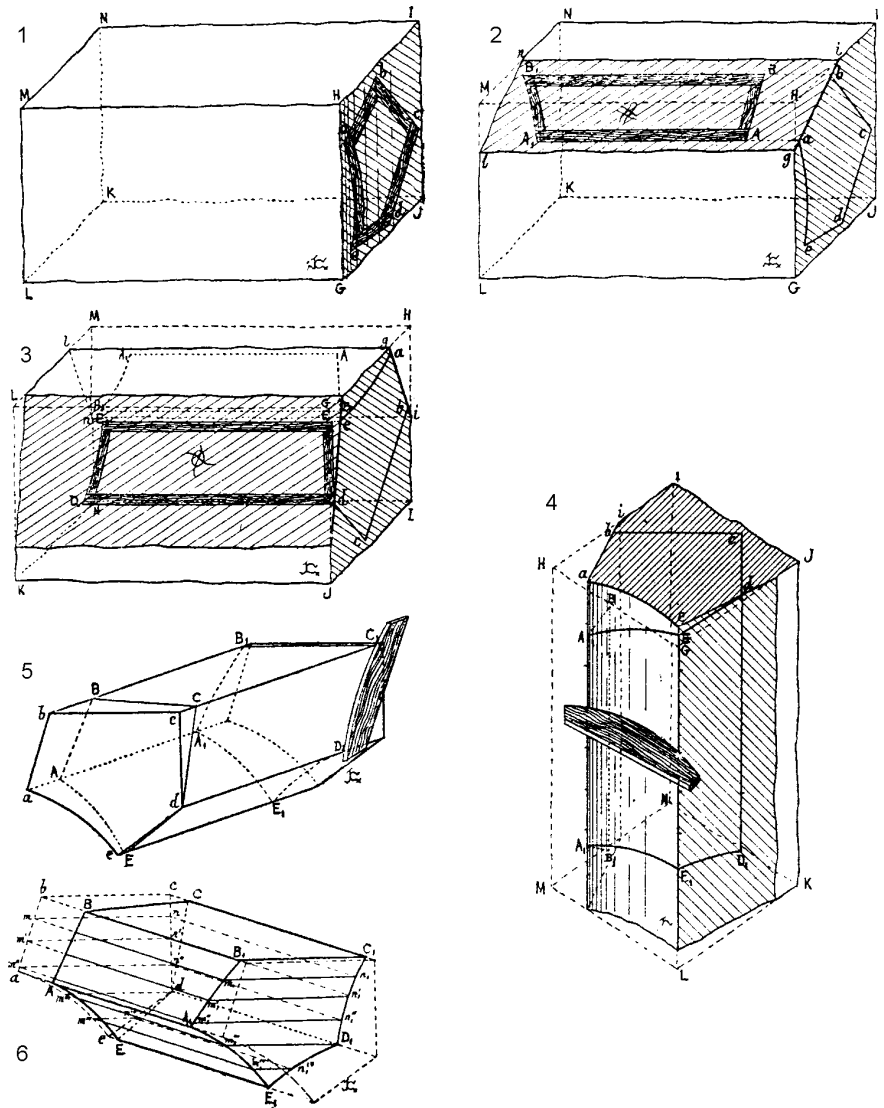
di gesso o legno), sia direttive che dovevano necessariamente fare riferimento ad una prassi consolidata e conosciuta.

I tagliatori, sia pur abili e competenti, potevano infatti avere difficoltà nel passare indifferentemente da un sistema all'altro; soprattutto se la prassi, come accade sovente, è vista come meccanica applicazione di una sequenza di procedure.

Il primo metodo è un diretto retaggio dell'epoca gotica ed infatti prevede,

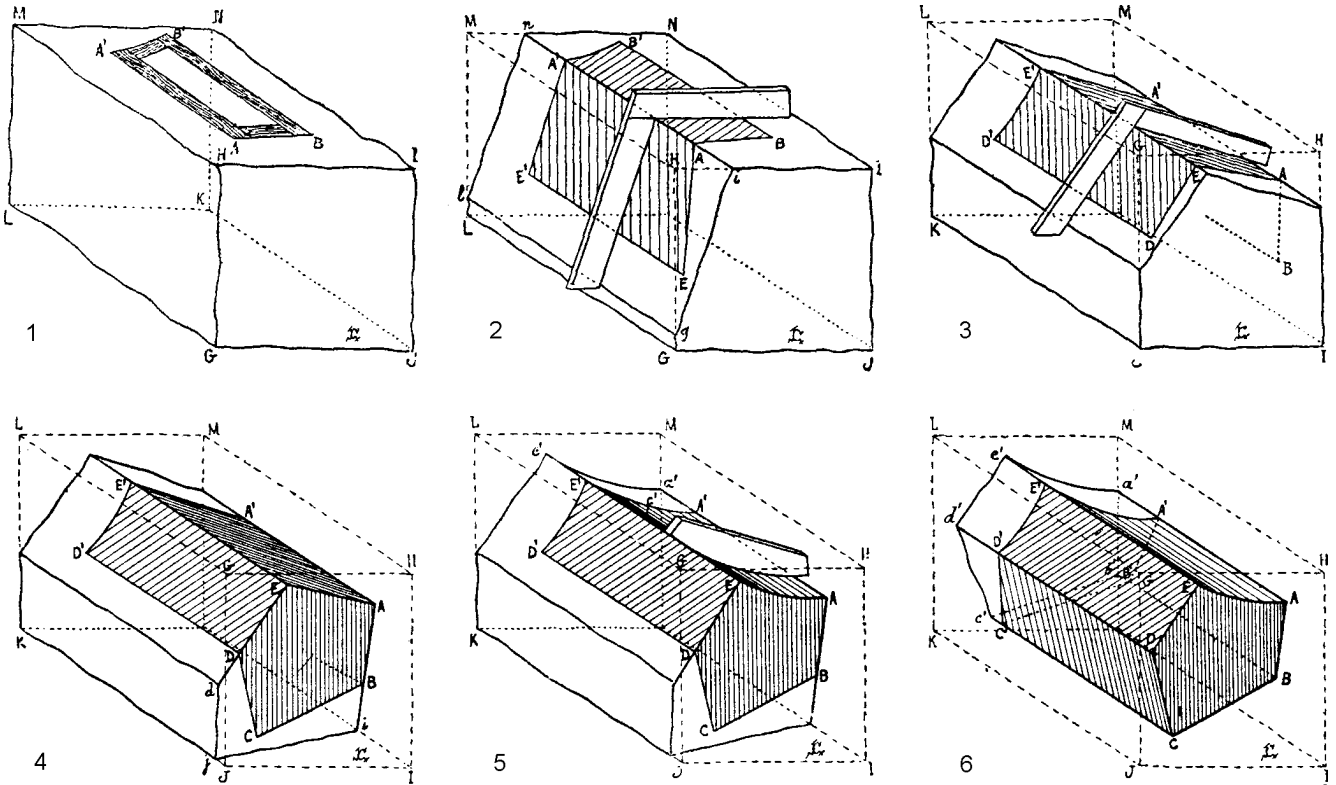
Figura 10. Esempio di taglio par éqarrissement. Sia, ad esempio, GHIJKLMN il blocco di partenza (grafico 1). Si dispone la base del concio sulla faccia GHJ (il concio appartiene ad una porte biaise, en talus et rachatant un berceau en maçonnerie, vedi figura 8, contenente le proiezioni ortogonali del berceau, nella quale sono da notare, in basso, i due simboli posti al centro dei cartoni: il cerchio con una croce indica il lit de pose o lit de dessous, l'altro il lit de dessus). Si farà in modo che i lit de pose e de dessus siano posti quasi paralleli al lit de carrière, in modo da rendere minime le forze di taglio sulla struttura della pietra. Successivamente si taglierà la pietra perpendicolarmente allo spigolo gi, sulla faccia gilm (grafico 2). Su questa nuova faccia si applicherà il pannello del lit de dessus (abb₁a₁ della figura con le proiezioni ortogonali). Lo stesso si farà per il lit de dessous (grafico 3). Ottenute le due facce contrapposte e nella loro giusta posizione, si procede con lo scavo della douelle (grafico 4), mediante una sagoma precedentemente definita (cerce) e un pannello flessibile - corrispondente all'intradosso sviluppato - che permetterà un controllo di coerenza sull'intero contorno della superficie. Si taglierà poi il giunto verticale D'C' (grafico 5), definendo la giacitura della sua superficie riportando lungo gli spigoli le distanze misurate sulla proiezione ortogonale. Infine, l'ultima faccia (grafico 6) - in questo caso una superficie cilindrica - sarà ottenuta per punti.

Figura 11, alla pagina successiva. Esempio di taglio par biveaux. Si inizia con il taglio di una delle superfici, passando poi al taglio di quelle adiacenti usando gli angoli tra le superfici (biveaux). Se, come nell'esempio proposto, alcune superfici sono curve, si esegue un primo taglio delle douelle plate, per ricavare la curvatura di ciascuna superficie in un secondo momento. Tuttavia, a volte - quando la forma del concio si presta - si usano dei biveaux mixte, per ottenere la curvatura al primo taglio. Spianato un lit de carrière (una delle superfici del blocco di partenza che segue l'andamento della vena), ad esempio MHIN (figura in alto a sinistra), si applica il panneau de lit de dessus (il pannello abb₁a₁ della figura 8, contenente le proiezioni ortogonali del berceau). Abbattuto lo spigolo AA' (figura in alto al centro), si applica il biveau con angolo B'A'E' (preso dalla proiezione sul piano verticale), il quale definisce la faccia della douelle plate A'E', sulla quale si applicherà il suo panneau. Ruotato il blocco, usando un analogo biveau con angolo A'E'D', si costruisce il lit de dessous, per mezzo del pannello ed₁e₁ (figura in alto a destra). A questo punto è semplice tagliare la testa del concio (figura in basso a sinistra), anche se questa non è data dalla proiezione ortogonale, ma ottenuta per ribaltamento. Infine (figura in basso al centro e a destra), si ricaveranno le superfici curve.



quasi di necessità, l'uso dell' *épure*, il grafico costruttivo in scala naturale: è il più semplice dal punto di vista teorico, soprattutto per i conci regolari, anche se può risultare tecnicamente di complessa applicazione. Ogni concio è inserito in un parallelepipedo, con le giaciture delle facce rigidamente ancorate al pavimento e ai muri (e dunque a due piani di assai facile controllo spaziale), ed è scavato usando un piano ed una sagoma di riferimento, tipicamente la faccia di testa.

Il secondo, più raffinato, isola ogni concio e gli conferisce un sistema di riferimento locale, non più legato alla fabbrica. Richiede pertanto più lavoro da parte dell'architetto (per la messa a punto dei cartoni e dei modani) ed una maggiore capacità di astrazione da parte del tagliatore di pietra, data la necessità di prevedere mentalmente la disposizione del concio nell'opera finita. Consente anche di generare conci complessi senza apprezzabili aumenti di difficoltà tecnica e teorica, mantenendo al tempo stesso un completo controllo della forma del concio durante tutte le fasi costruttive. È dunque una naturale evoluzione del primo, stanti la disponibilità di architetti e di operai più evoluti e "sapienti" e la possibilità, che diviene presto necessità, di costruire opere di geometria più complessa. Ed è anche importante notare che, per la costruzione dei cartoni, non è più sufficiente la proiezione del concio sul piano orizzontale ma diviene necessario saperli proiettare su piani a giacitura generica.



Infine il terzo sistema, cronologicamente giunto per ultimo, contempera abilmente la necessità di economizzare i tempi di lavorazione e la materia prima con le possibilità date dalle conoscenze acquisite dall'intera categoria della *coupe de la pierre*, architetti e tagliatori di pietra. Consente pertanto di ottenere il risultato voluto con il minimo sforzo compatibile con la complessità del concio.

Il punto di discontinuità, per noi essenziale, consiste nella quasi assoluta necessità, in questi ultimi casi, di usare il metodo del *trait* per la produzione dei cartoni: metodo che, in molti casi, non risulta invece necessario nel taglio *par équarrissement*.

In altre parole, operando *par équarrissement* è possibile ricavare un concio, purché semplice e relativamente regolare, anche senza la pratica del *trait* (come del resto è comprovato dalle costruzioni precedenti); l'uso del *trait* diviene invece necessario per concii complessi (con tutti i metodi appena visti), ma assai spesso quasi necessario nel caso si tagli la pietra *par biveaux*. Ed inoltre, come già notato, in quest'ultimo caso la costruzione geometrica necessaria per la definizione dei pannelli e degli angoli è di norma molto più raffinata e complessa rispetto a quella per produrre i cartoni utili per il taglio *par équarrissement*; passando, è questo il punto, dalla pura proiezione ortogonale a più complesse operazioni geometriche che coinvolgono le proiezioni di punti e i ribaltamenti e le rotazioni di piani.

È dubbio che l'uso dei *biveaux* sia dovuto esclusivamente alla necessità di evitare sprechi di materiale.²⁶

È più probabile infatti che, come spesso accade, l'invenzione di una nuova tecnica (il *trait*) abbia stimolato gli architetti a ricercarne i limiti di applicazione e a sondare le possibilità che si aprivano.²⁷

Il nostro principale interesse di studio è pertanto rivolto, più che alla scelta del metodo e dunque alla pratica, soprattutto alle modalità geometriche attraverso le quali si giunge a definire il *trait*.

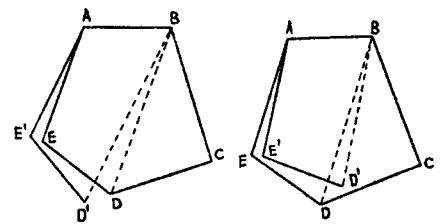


Figura 12. Comparazione tra i due metodi di taglio. Nel taglio *par dérochement*, si è iniziato con il taglio della base del prisma retto che contiene il concio. Su questa base si è poi continuato con il taglio delle altre facce. Infine si sono tagliate le due facce di testa. Il primo taglio è pertanto in pura perdita, poiché non costruisce una faccia definitiva del concio ma solo una superficie di appoggio per altre facce. Nel metodo *par biveaux*, al contrario, tutte le fasi di taglio costruiscono facce definitive (ed ecco perché tale metodo prende anche il nome di *directe*). Tuttavia è da considerare che il più piccolo errore compiuto nella costruzione dei *biveaux*, si riverbererà sulle facce successive (si veda la figura, nella quale è dimostrato come un piccolo errore per eccesso o per difetto del primo *biveau* comporta il taglio di un concio non preciso).

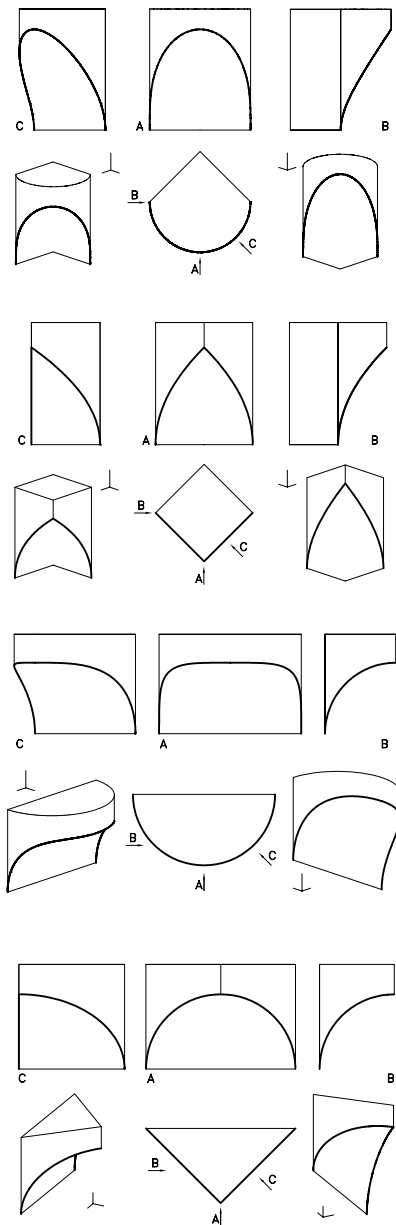


Figura 13. Esempi di trompe con volta conica e cilindrica. Dall'alto verso il basso: trompe conica sull'angolo (conique dans l'angle) en tour ronde (pertanto con volta conica - sia il cono a base circolare, ellittica o di altro tipo ed in questi casi con gli assi dell'ellisse o dell'ovale orizzontali e verticali oppure inclinati e dunque con volta rampante - posta sopra un angolo - sia esso a 90 gradi oppure maggiore o minore di un angolo retto - e che sostiene una costruzione a sezione orizzontale semicircolare, ellittica o di altro tipo); trompe conica sull'angolo sous le coin (che sostiene una costruzione sporgente ad angolo retto, acuto oppure ottuso; mentre nel caso la sezione orizzontale sia poligonale la trompe si dirà à pans); trompe cylindrique sur le pan et en tour ronde (la parte inferiore, in questi casi, è dunque rettilinea); trompe cylindrique sur le pan et sous le coin (anche in questi due casi il cilindro potrà essere a sezione circolare, ellittica, ovale o di altro tipo; con l'asse orizzontale o inclinato).

4. Tipologia della *Trompe*

Prima di approfondire il tema della costruzione geometrica del *trait*, per meglio comprenderla è utile definire compiutamente la forma ed i tipi dell'architettura scelta come esempio.

La *trompe* è una piccola volta, di norma formata da conci di pietra, che sopporta una copertura o un muro a strapiombo. Come tutte le volte o gli archi, la *trompesi* sostiene, e regge le opere murarie soprastanti, scaricando il peso dell'intera struttura sulle imposte. Questa "volta sospesa nell'aria" (*voûte suspendue en l'air*, come la chiama lo stesso Delorme) era eseguita sia per sorreggere scale o piccoli *cabinet*, come nel caso della *trompe* di Anet, senza la necessità di poggiarsi a terra; ma forse soprattutto per ottenere un elemento caratterizzante l'intero edificio. Nelle *trompe*, in particolare, si ritrova spesso una ardita convergenza tra geometria e fisica: la struttura, ottenuta con metodi geometrici, sembra sfidare le leggi della statica e pare dover crollare da un momento all'altro.

Spesso le imposte di una *trompe* sono costituite da due muri posti ad angolo retto (*trompe dans l'angle*²⁸), ma non sono rari i casi di angoli acuti, ottusi o di imposta unica con andamento curvo o rettilineo (*trompe sur le pan*).

Per definire la collocazione tassonomica di una *trompe*, per identificarne dunque il *genere* e la *specie*, è opportuno considerare, anzitutto, tre elementi variabili: le sezioni orizzontali inferiore e superiore e la sezione verticale trasversale, vale a dire la pianta dei muri d'imposta, quella della costruzione sostenuta dalla *trompe* e la sezione dell'intradosso della volta. Questi grafici costituiscono anche la base del *trait*, il tracciato costruttivo della *trompe* stessa.

Per la classificazione di una *trompe*, si ricorre dunque alla specificazione della muratura sottostante la *trompe* ed a quella della costruzione soprastante, spesso con l'aggiunta del tipo di intradosso. Quest'ultimo potrà essere piatto (*plate*, in realtà leggermente curvo e dunque *plate cylindrique*²⁹ o *plate sphéroïdale*³⁰ che Frézier chiama a *coquille Saint-Jacques* dato che l'intradosso nasce piatto e si deforma a sferoide verso l'alto), conico (*conique, en canoniere*), sferico (*sphérique, en cul-de-four*), cilindrico (*cylindrique, en berceau* o anche *en demi-berceau*), rampante, misto³¹ o di altro tipo ancora.

Ad esempio, una *trompe dans l'angle e sous le coin* indica una costruzione posta tra due muri ad angolo, che sostiene un *cabinet* quadrangolare, il quale forma dunque un angolo sporgente (*coin*). Una *trompe sur le pan e sous le coin*³² è invece posta su un muro che costituisce l'ipotenusa di un triangolo che ha per cateti i due muri ad angolo, sporgenti, sostenuti dalla *trompe* (tipicamente questa *trompe* ha l'intradosso cilindrico). Una *trompe plate cylindrique sur le pan et en tour-ronde*³³ appoggia su un muro diritto (*sur le pan*), ha l'intradosso cilindrico e sostiene una costruzione con sezione orizzontale semicircolare o semiellittica (*en tour-ronde*). Se il suo fronte è concavo la *trompe* è invece *en tour creuse*.

Una *trompe sphérique dans l'angle et sous le coin*³⁴ è caratterizzata da un intradosso sferico, posto su due muri ad angolo, che sostiene un *cabinet* quadrangolare.

La *trompe di Montpellier*³⁵ dalla forma più semplice tra tutte, è caratterizzata invece da una sezione orizzontale ed una verticale trasversale entrambe a semicerchio e insiste su due appoggi posti ad angolo retto: è dunque una *trompe conique dans l'angle et en tour-ronde*.

Deran, infine, chiama *trompe fondamentale* la *trompe* conica retta (*conique droite, dans l'angle*), vale a dire una *trompe* nella quale il fronte è piano e verticale (generalmente posto a 45 gradi rispetto alle imposte), mentre l'intradosso è conico: caratterizzata da un *trait* di semplice definizione, verrà spesso utilizzata come contenitore di *trompe* più complesse, come ad esempio quella *rampante et ondée* di Anet.

Volendo dunque classificare le *trompe* in modo semplice, anche se forse rozzo, queste possono essere suddivise in quattro classi principali: le *trompe* con intradosso

piatto, conico, cilindrico e sferico. Ogni classe potrà poi avere delle sotto-classi: ad esempio il cono potrà essere a base circolare, ellittica, ovale o di altro tipo, sghembo o retto e così via. L'asse del cono potrà essere orizzontale o inclinato (generando delle *trompe* a profilo rialzato o ribassato), potrà bisecare l'angolo oppure essere obliquo (e in questo caso la *trompe* non avrà la pianta simmetrica). Se poi, ad esempio, la base è ellittica, gli assi dell'ellisse potranno essere a loro volta orizzontali e verticali oppure inclinati rispetto al piano orizzontale, generando una *trompe* rampante. Evidentemente ogni caratteristica potrà combinarsi con altre, in numerosissime permutazioni, come nel caso della *trompe* di Anet, la quale è posta su due muri non perfettamente ad angolo retto, sostiene una costruzione a profilo misto ed è generata da un cono sghembo a base ovale, con gli assi dell'ovale ruotati per renderla rampante.

Lo stesso vale per le *trompe* cilindriche e sferiche.

Se fin dall'epoca romana, nella sua forma conica, la *trompe* contribuiva a sostenere una cupola, alcuni esempi, a partire dalla prima metà del XII secolo, provano che questa poteva anche esserne dissociata: ad esempio la *trompe* conica tra due contrafforti sulla facciata della chiesa di Santa Marta di Tarascona (secondo quarto del XII secolo), o anche la *trompe* conica *sous le coin* della chiesa di San Pietro a Nant (Aveyron), del 1135 circa.

Anche alcune volte ogivali gotiche sono sostenute agli angoli da lunette gemellate che svolgono la funzione di *trompe*.³⁶

In epoca gotica la *trompe* compare anche a Perpignano, nella sala capitolare del convento dei Domenicani (fine XIII, inizio XIV secolo) e nelle due cappelle del castello di Maiorca, ultimato nel 1309. Tuttavia le *trompe* di Perpignano, impostate su due muri posti ad angolo retto, portano un muro che corre sulla ipotenusina del triangolo che ha per cateti le stesse imposte della *trompe* (*trompe dans l'angle* e *sous le pan*) e dunque la costruzione soprastante non è esterna alle imposte, non è a strapiombo.

Per creare un vero e proprio strapiombo, l'architettura gotica è solita sovrapporre a sbalzo conci squadrati e profondamente infissi nella muratura³⁷: senza dunque far uso delle caratteristiche statiche tipiche delle volte e nemmeno del *trait*, per la definizione stereometrica dei conci di pietra. Senza pertanto servirsi dei metodi della stereotomia.

Non si conosce - in Francia, prima della metà del Quattrocento - una sola costruzione sulla quale si sia osato porre un carico a sbalzo.³⁸

Per la restante parte del secolo le *trompe* sono assai poche, tutte coniche *en tour-ronde*: quella dell'antica Università di Poitiers (1460), quella dell'*hôtel de Clunya* Parigi (1485) ed infine, di datazione più incerta, le torrette su *trompe* della *maison Roch* a Montpellier e del castello d'Armentières-sur-Ourcq, nel dipartimento dell'Aisne (si veda la tabella 1, dove è riportato il numero di *trompe dans l'angle* costruite in Francia tra il 1450 e il 1800 e suddivise per tipi³⁹).

Tutte queste *trompe* sono *en panache*, vale a dire con un *trompillori*⁴⁰ che segna il vertice del cono della *trompe* in un unico *voussoir*, dal quale si dipartono a raggiera i conci che formano l'intradosso.

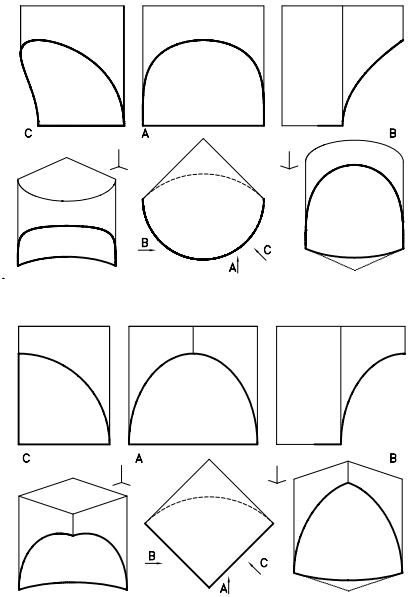
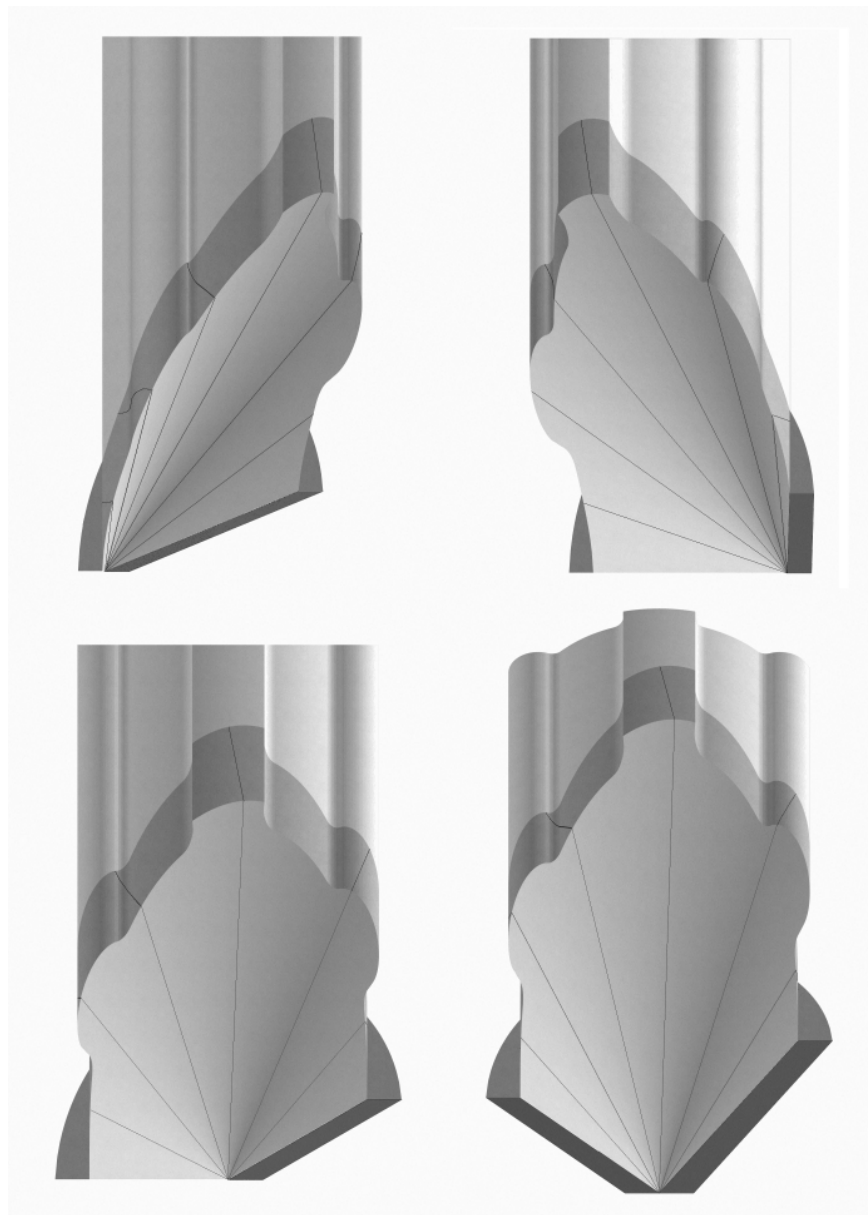


Figura 14. Esempi di *trompe* con volta sferica. In alto, *trompe spherique en tour ronde*; in basso *trompe spherique sous le coin*. In entrambi i casi la costruzione sottostante sarà raccordata con un arco di cerchio. La sfera potrà anche divenire uno sferoide o un ellissoide e pertanto potrà generare anche *trompe* rampanti, nel caso lo sferoide abbia gli assi non orizzontali e verticali ma inclinati. In questi ultimi casi il raccordo inferiore evidentemente non sarà più necessariamente un arco di cerchio.

Tabella 1. Elenco delle *trompe dans l'angle*, in Francia, tra il 1450 e il 1800. Nella tabella non compaiono però le *trompe* di datazione incerta. Dalla tabella emerge chiaramente il punto massimo, collocato nella prima metà del Seicento: in quel torno di tempo si costruiscono, in Francia, più *trompe dans l'angle* che in tutti i periodi successivi (39 in tutto) o precedenti (complessivamente 30). In particolare, mentre le *trompe* coniche *sous le coin* sono quasi tutte concentrate nel Seicento, quelle *en tour ronde* sono state per lo più costruite nel corso di tutto il Cinquecento e nella prima metà del Seicento. Gli altri tipi si distribuiscono equamente nel periodo compreso tra il Cinquecento e il Settecento, con un massimo nel Seicento, secolo al quale si attribuiscono, complessivamente, ben 65 *trompe* su un totale di 110.

<i>Trompe dans l'angle</i>	1450-1500	1500-1550	1550-1600	1600-1650	1650-1700	1700-1750	1750-1800
<i>Trompe</i> coniche <i>en tour-ronde</i>	3	10	10	13	2	-	1
<i>Trompe</i> coniche <i>sous le coin</i>	-	1	2	21	12	1	-
Altre <i>trompe</i>	-	2	2	7	10	7	6
Totale	3	13	14	41	24	8	7

Figura 15. La trompe d'Anet. Viste in prospettiva a $\pm 45^\circ$ (in alto), prospetto frontale (in basso a sinistra) ed in assonometria ortogonale dal basso (in basso a destra). Da notare il diverso spessore dei conci, dovuto alla scelta del vertice dell'intradosso per il calcolo del profilo dell'estradosso della volta (vedi Appendici A e B).

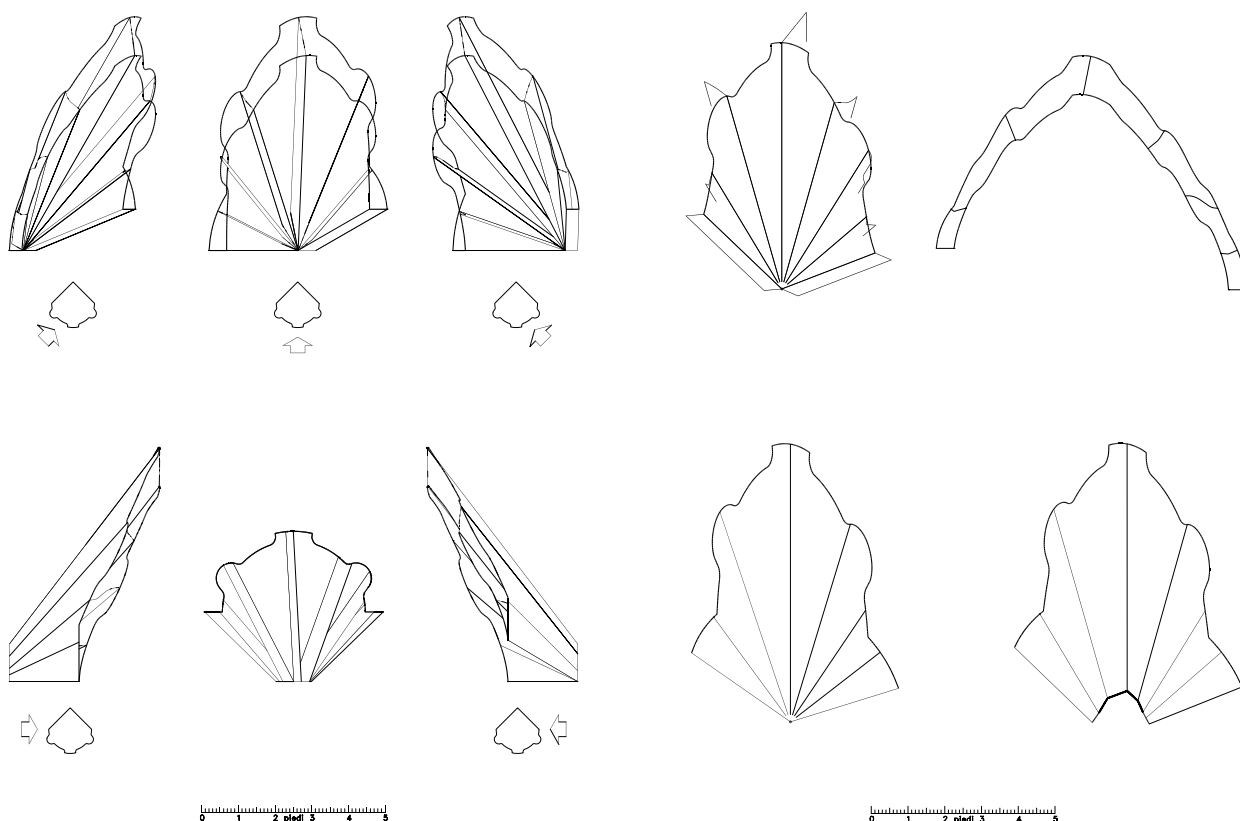


5. La costruzione del *Trait géométrique*

Nella costruzione geometrica del *trait* confluiscono varie e spesso contrastanti esigenze: la necessità di conoscere la forma complessiva del manufatto e di ciascuna sua singola parte, quella di garantirne la stabilità e l'edificazione, e quella, infine ma non ultima, di percorrere metodi grafici conosciuti dalle maestranze e applicabili al taglio delle pietre con il minor spreco di tempo e materiale.

Problemi difficili, dunque, che ciascun trattatista affronta con metodi a volte nuovi, spesso introducendo personali modifiche, sempre confrontandosi con la tradizione precedente.

Delorme, anche nell'esame di oggetti complessi come le *trompe*, pur avendo descritto all'inizio del suo trattato il *biveau*, ed anche la *sauterelle*, non li usa mai espressamente, né li costruisce geometricamente: in nessun passo è preso in considerazione l'angolo tra due diverse facce di un concio o tra facce contigue, appartenenti a conci diversi. Gli angoli sono rappresentati nelle figure solo se derivano direttamente da un ribaltamento, nel caso di conci assai semplici, e comunque appartenenti ai pannelli che descrivono il concio. Inoltre, lo stesso Delorme ricorda più volte la necessità di usare modelli in gesso o carta.⁴¹ Infine è tra i pochi a prevedere la costruzione dei pannelli dello sviluppo frontale delle *trompe* e quelli



de pente, sagome verticali disposte a raggiera che sostengono e danno forma all'intradosso delle volte.

Da tutti questi indizi risulta evidente che per Delorme la costruzione del modello fisico non solo è utile per meglio comprendere l'architettura, ma è anche indispensabile per fornire ai tagliatori un oggetto da misurare e copiare e, probabilmente, anche per il calcolo diretto degli angoli. I pannelli lì descritti sono senz'altro sufficienti per ricavare i concii, ad esempio quelli della *trompe* d'Anet (vedi figure 15, 16, 17), ma con grande dispendio di tempo ed alti rischi di taglio.⁴²

L'intero dispositivo metodologico, in Delorme, è orientato verso un solo obiettivo: definire esattamente i pannelli che avvolgono ciascun singolo concio. Nel farlo, anche per architetture complesse come le *trompe*, è adottato sempre lo stesso *algoritmo*, qualsiasi sia l'oggetto considerato: in tal senso, dunque, Delorme si presenta con atteggiamento assai moderno.

Egli opera per mezzo di triangoli rettangoli simili, appartenenti a sezioni di norma verticali, ruotati e ribaltati sul piano del foglio e costruendo i contorni dei pannelli per trilaterazione (vedi figura 18 e Appendice A). Noto un triangolo giacente su di una sezione costruttiva, definita dall'architetto, è dunque sempre possibile trovare un triangolo simile, appartenente ad una sezione derivata e complessiva, adagiata sullo stesso piano del triangolo precedente. Del secondo triangolo è noto un cateto, ad esempio la distanza in pianta di un punto dal vertice, e di conseguenza esso sarà completamente definito.

Ripetendo la stessa operazione per più punti sarà pertanto possibile conoscere le loro reciproche distanze orizzontali e verticali, riportando poi, per trilaterazione, la loro distanza obliqua sui pannelli sviluppati.

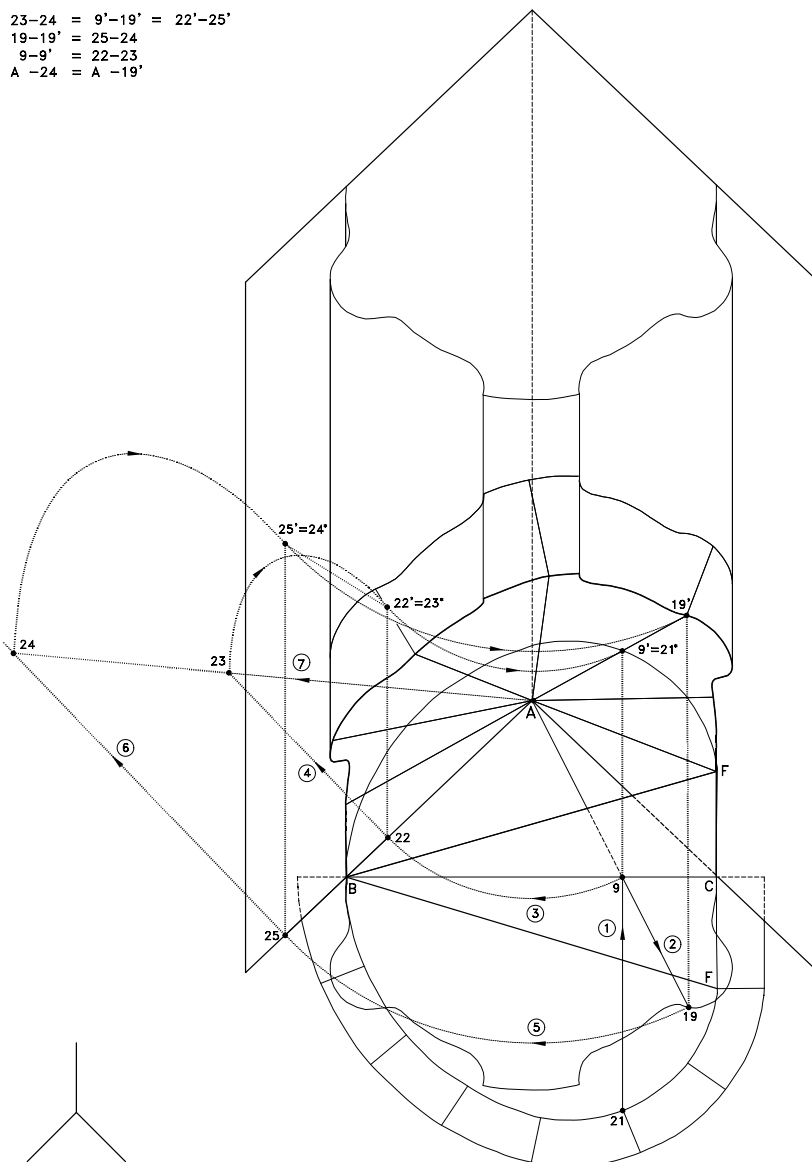
Prendendo in esame la *trompe* d'Anet, è significativo notare che l'unico problema geometrico non definibile direttamente e compiutamente per mezzo di questo

Figura 16. Modello della trompe d'Anet, ottenuto per mezzo del programma *Trompe*.

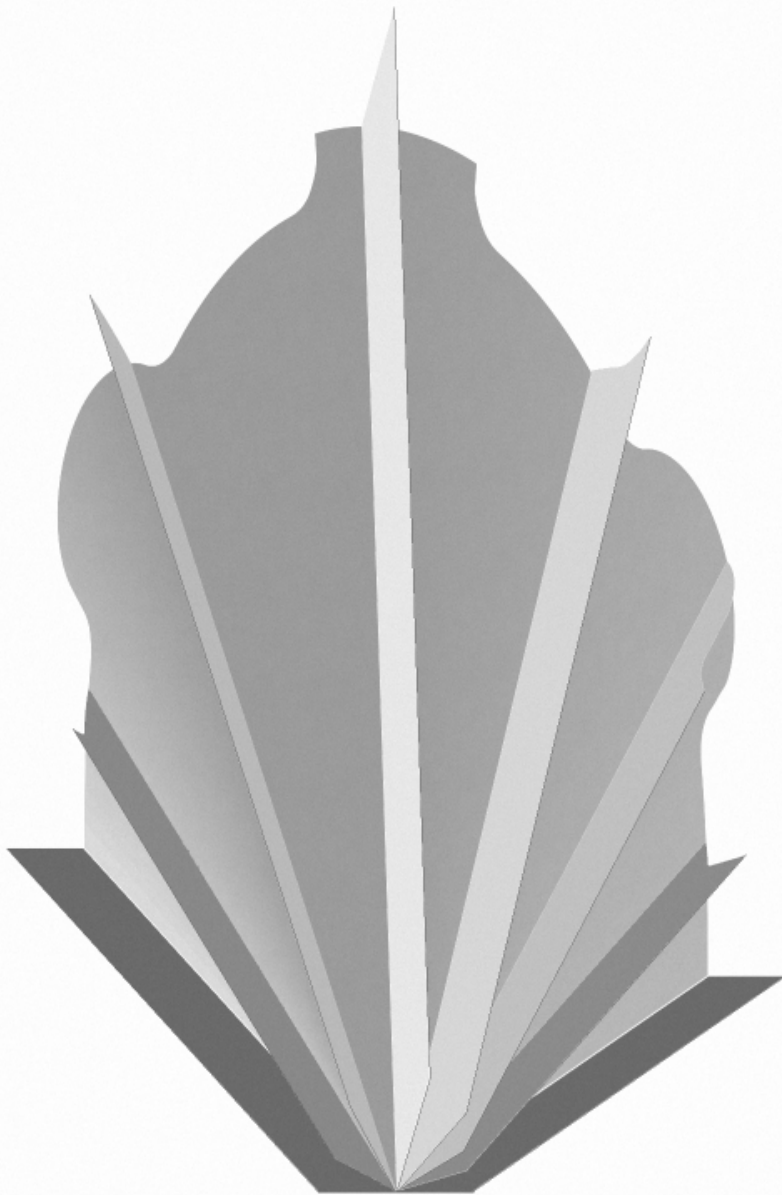
Figura 17. Cartoni di sviluppo della trompe d'Anet, ottenuti per mezzo del programma *Trompe*. Da notare, in basso, le due possibili soluzioni per i cartoni dell'estradosso (vedi Appendice B).

Figura 18. Assonometria obliqua monometrica della costruzione di Delorme. Il triangolo (rettangolo in 19) A-19-19' (o anche A-25-24) è simile al rettangolo A-9-9' (o anche A-22-23). Il primo triangolo è noto per costruzione di progetto: la distanza A-9 si misura nella pianta, l'altezza è pari a 9-21. Del secondo triangolo è nota la base A-19 ed è pertanto possibile reperire l'altezza 19-19'. Nell'immagine sono numerati i passaggi descritti da Delorme nel suo trattato.

Figura 19, alla pagina seguente. Assonometria ortogonale dal retro dell'intradosso e dei cartoni di giunzione della trompe d'Anet. Dall'immagine risulta evidente che - se i cartoni di giunzione tra i conci hanno le due coste lunghe parallele tra loro e sono piani, come indica Delorme (vedi figura A-3) - non esiste un solo polo superiore (vedi anche Appendice B).



metodo - il reperimento e l'uso del vertice di sviluppo dell'estradosso (vedi figure 17, 19 e Appendice B) - è semplicemente ignorato da Delorme. Anche Mathurin Jousse, nel suo *Le Secret d'Architecture* del 1642, opera in modo concettualmente del tutto analogo a Delorme. Tuttavia, alcune costruzioni denotano per alcuni versi un superamento di quei metodi, per altri una regressione. L'involuzione, che negli anni successivi si accentuerà ulteriormente, consiste nel cercare e proporre metodi geometrici concepiti e validi solo per alcuni casi particolari, senza per altro specificarne i termini ma limitandosi a descriverli passo dopo passo, esattamente come opera Delorme, senza fornire spiegazioni generali. Questo stesso aspetto, tuttavia, costituisce anche una interessante novità: implicitamente l'oggetto è visto nella sua globalità, è sezionato con piani di norma verticali e le sezioni ribaltate e manipolate con atteggiamento diverso, secondo la loro natura. Ad esempio, per reperire le altezze della volta di una *trompe* (vedi figure 20, 21), Jousse adotta due diversi metodi, entrambi però basati sull'uso di triangoli simili, che prevedono rotazioni e ribaltamenti rispetto ad assi differenti. In tal modo si riduce la complessità della costruzione geometrica, sfruttando la simmetria e le caratteristiche del manufatto. Lo stesso esempio vale per l'individuazione della lunghezza delle coste dei pannelli dell'intradosso della *Trompe*



Octogone (vedi figura 22). Tuttavia l'obiettivo rimane ancora quello di individuare i pannelli che circondano ciascun concio.

Ad esclusione di Desargues, il primo a descrivere compiutamente l'applicazione alla pietra di *biveaux*, presi perpendicolarmente agli spigoli del concio e specificamente ricavati per quell'uso, è Derand, nel trattato *Architecture des voutes*, pubblicato l'anno successivo al trattato di Jousse, nel 1643.

“Mi sembra di vederli, certi spiriti delicati dell'Arte del *Trait* e della *coupe des voûtes* rigettare questa pratica [l'uso dei pannelli unito a quello dei *biveaux*] e tutte le altre che si eseguono *par équarrissement*. Ma senza chiedermi se si debba o meno avere riguardo per i loro sentimenti, io dico che questo metodo, e quelli simili che si servono dei *traits* per tagliare *par équarrissement*, sono generalmente più sicuri e rapidi nell'esecuzione rispetto a quelli che si servono dei [soli] pannelli o a quelli che propongono invenzioni più speculative: pertanto sono persuaso che quanto ho detto qui, e quanto potrò dire in avvenire, sarà visto di buon occhio dagli operai. Essi saranno ben felici di aver appreso in questo trattato alcune pratiche; le quali, anziché elevare il loro spirito e il loro sapere, renderanno più veloci i loro lavori. Saranno dunque avvantaggiati rispetto a coloro che sono attratti da una dottrina più

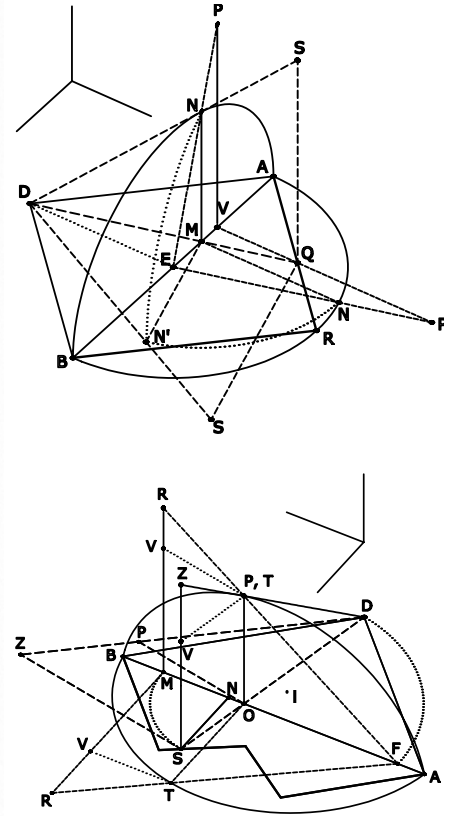


Figura 20, in alto a destra. Assonometria ortogonale dimetrica che illustra la tavola 43, *Trompe sous le Coin, avec son Cintre* (vedi anche figure 2-1 e 2-4), tratta da Jousse, *Le Secret d'Architecture. Ricostruzione del metodo adottato da Jousse per reperire le altezze della volta nella Trompe sous le Coin*. L'altezza della volta nel punto Q, posto sulla pianta della trompe, è evidentemente data dal segmento QS (segmento ribaltato sul piano orizzontale, assieme al cerchio di sezione passante per i punti A e B). Per trovare, ad esempio, l'altezza nel punto Q, Jousse propone invece - evitando il ribaltamento della sezione verticale per quel punto - il seguente metodo:

- trovare la distanza VQ;
- riportarla da N su P; con la retta PN diretta verso il centro E del semicerchio di sezione. La distanza PV è l'altezza della volta dell'intradosso nel punto Q. Infatti, proiettando su AB i segmenti MQ ed MD si ottengono i segmenti MV ed ME. Se MN è uguale ad MN', allora anche VP sarà uguale a QS, ribaltamento sul piano orizzontale della sezione verticale per D nel punto Q.

Figura 21. Assonometria ortogonale dimetrica che illustra la tavola 45, *Trompe à trois angles sous-baissée* (vedi anche figura 2-8), tratta da Jousse, *Le Secret d'Architecture. Metodo usato per reperire le altezze*. Anziché orientare la retta verso il centro I (vedi figura 2-3), si orienta verso il punto F, ribaltamento, con centro in O, del vertice D su AB. In questo caso si ruota la sezione ribaltata SZD, attorno al punto O, sino a far coincidere D con F; si specchia poi il triangolo SZD in FRM: RM è dunque uguale ad SZ.

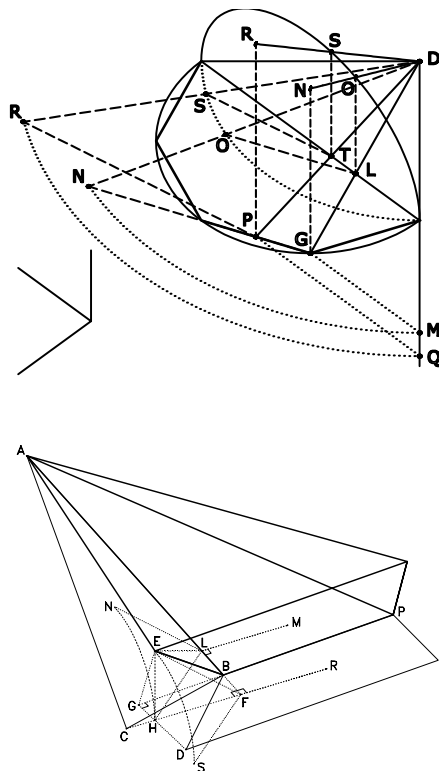
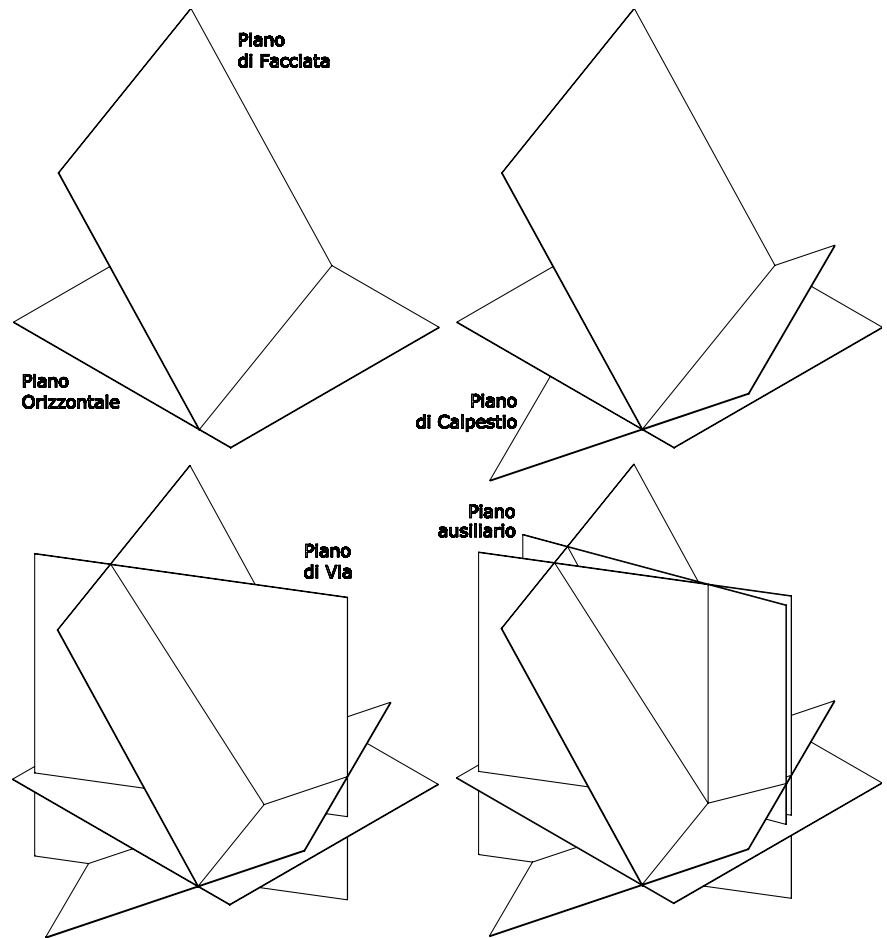


Figura 22, in alto a sinistra. Assonometria ortogonale dimetrica che illustra la tavola 37, Trompe Octogone (vedi anche figura 2-7), tratta da Jousse, *Le Secret d'Architecture*. Dimostrazione del reperimento delle lunghezze dei pannelli dell'intradosso della volta della trompe (pannelli de doyle). Le lunghezze dei segmenti LO e TS corrispondono alle altezze della volta della trompe, rispettivamente, nei punti L e T. I segmenti GN e PR corrispondono invece alle altezze della volta nei punti G e P. Se DO e DS sono le lunghezze dei pannelli de doyle sulla verticale dei punti L e T, e DN e DR sono invece le lunghezze degli stessi pannelli sulla verticale dei punti G e P, allora DM sarà uguale a DN e DQ uguale a DR (i segmenti LO e GN sono perpendicolari a DG mentre i segmenti TS e PR sono perpendicolari a DP).

Figura 23, in basso a sinistra. Assonometria di un concio e dei cartoni ribaltati sul piano orizzontale (vedi anche figura 3-8, relativa alla Trompe surbaissée, & quarrée par devant descritta da Derand). Il cartone di giunzione ABC corrisponde ad ABE, mentre il segmento BD è il ribaltamento di BE, usando PB come cerniera. Lanciando da C la perpendicolare ad AB e da D la perpendicolare all'altra costa, queste due rette si incontrano in H, posto sulla verticale di E. Infatti, nelle tre dimensioni, CF corrisponde ad FE e DG a GE: dunque, poiché i punti D e C si portano entrambi in E, il punto di incontro H delle perpendicolari agli spigoli corrisponde anche alla proiezione di E sul piano orizzontale. La costruzione prosegue tacciando un arco, con centro in H e raggio CF, ad incontrare lo spigolo AB in L. Tracciata da M una perpendicolare ad AB in L, l'angolo MLH è il biveau cercato. Infatti, se EF è congruente ad HL per costruzione, ribaltando EF sul piano orizzontale - usando come cerniera RF, perpendicolare ad AB - il punto E si ribalta in S. Questo stesso ribaltamento è semplicemente riprodotto, usando H e non S come ribaltamento di E, essendo nota la lunghezza SF (o HL) e pari a CF (o EF).



profonda, tesa a maggiori sottigliezze ed a più vaste ricerche".⁴³

Questa frase ben descrive la scelta operata da Derand rispetto alle tre possibili vie: mantenere l'uso dei soli pannelli (Delorme e Jousse), verificare altre possibili soluzioni geometriche (Desargues, "spirito delicato e profondo, che propone invenzioni più speculative"), ovvero agire con metodi "più sicuri e rapidi", non limitandosi, dunque, ad ingabbiare il concio con pannelli, ma controllando durante la lavorazione gli angoli tra le facce, misurati perpendicolarmente agli spigoli, ed usando quelle informazioni per limitare i possibili errori e per operare più celermente.

Il reperimento dei *biveaux*, infatti, non solo comporta nuovi metodi geometrici (vedi figura 23), ma modifica anche le fasi della lavorazione. Derand, ad esempio, approfondisce l'uso dell'*arc droit*, la sezione perpendicolare agli spigoli dei concii, e considera più volte rette pensate "nel corpo dell'opera" (vedi, ad esempio, le *Diverses façons de construire les arcs droits des trompes*, negli *excerpta*). Inoltre, mentre con i soli pannelli si procede quasi "alla cieca", con i *biveaux* è possibile non solo impostare il taglio con maggiore certezza, ma anche controllare le fasi di taglio durante la lavorazione ed infine verificare la stessa costruzione geometrica del *trait* (vedi, ad esempio, le descrizioni *De la trompe droite par devant, & fondamentale des autres de la Trompe surbaissée, & quarrée par devant*).

Il *Brouillon project* di Desargues - del 1640, dunque di qualche anno anteriore ai due trattati precedenti - è diviso in tre parti: la prima sulla prospettiva, la seconda sul taglio della pietra, e infine, la terza sulle meridiane solari. Nella sezione dedicata alla stereotomia egli prende in esame il caso più generale di un *berceau descente* o *montée biaise en talus*, vale a dire una volta con facciata inclinata (*en talus*), con piano di calpestio anch'esso inclinato genericamente verso il

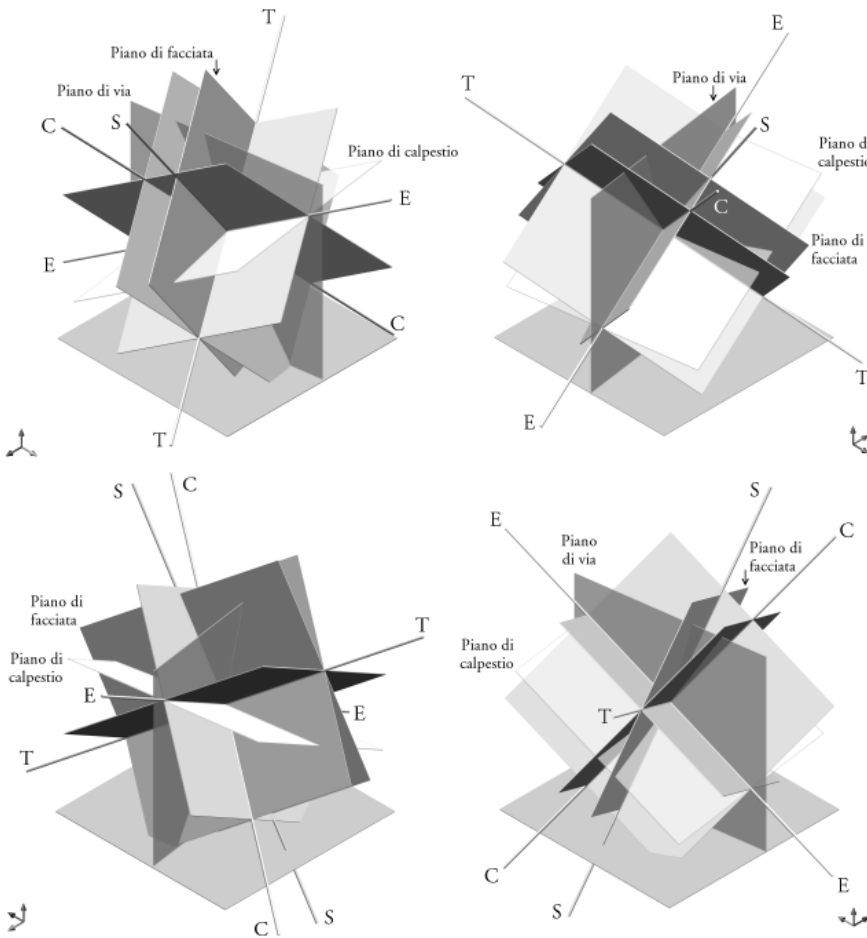


Figura 24, alla pagina precedente. Assonometria ortogonale isometrica che illustra i cinque piani principali definiti da Desargues (vedi anche figura C-2). Il Piano di facciata è genericamente inclinato rispetto all'orizzontale. Il Piano di calpestio non è necessariamente ortogonale al Piano di facciata. Il Piano di via, anch'esso non necessariamente ortogonale al Piano di facciata, è invece verticale e contiene l'asse della volta: è dunque parallelo ai piedritti e ortogonale rispetto al Piano di calpestio. Infine, il Piano ausiliario è anch'esso verticale e perpendicolare al Piano di facciata.

Figura 25. Assonometrie ortogonali isometriche con gli assi ed alcuni altri piani individuati dal metodo di Desargues, indicati in una forma che mette in evidenza la loro disposizione relativa (le inclinazioni dei piani sono volutamente diverse rispetto alla figura precedente). Sono indicati l'essieu (E), il sousessieu (S), proiezione dell'asse sul piano di facciata, il contressieu (C), perpendicolare all'asse sul piano che contiene l'asse ed il sousessieu, ed il traversieu (T), perpendicolare all'asse, al sousessieu ed al contressieu ed anch'esso appartenente al piano di facciata. Sono anche indicati il piano orizzontale ed il piano verticale di via che contiene l'asse (semitrasparente). Il piano di facciata è individuato dal traversieu e dal sousessieu. Il piano di calpestio (semitrasparente) è parallelo all'asse ed alla traccia di intersezione tra il piano di facciata e l'orizzontale. Da notare che tutti i piani si intersecano in A, centro della volta. Inoltre tre dei piani formano un triedro triortogonale, dove gli assi X, Y, Z sono rispettivamente il contressieu, l'essieu ed il traversieu (vedi anche figura 28).

basso o verso l'alto (*descente* o *montée*) e con piedritti a loro volta sghembi rispetto alla facciata (*biaise*). Inoltre, come ulteriore generalizzazione, l'arco di facciata è anche rampante (vedi figura 4-2).

Desargues introduce alcuni assi e piani principali, tutti legati tra loro da relazioni proiettive e geometriche, essenzialmente di mutua perpendicolarità, tutti passanti per l'*origine* della volta (vedi figure 24, 25 e Appendice C). Due assi (il *sousessieu* ed il *traversieu*, tra loro perpendicolari) definiscono univocamente il piano di facciata del manufatto, a sua volta legato all'asse principale del *berceau* da una relazione proiettiva: infatti, il *sousessieu* è la proiezione dell'asse (l'*essieu*) sul piano di facciata, eseguita perpendicolarmente alla facciata stessa. Il *sousessieu* e l'asse stesso definiscono un piano sul quale giace il *contressieu*, retta perpendicolare all'asse. Ed è questo alternarsi e comporsi di proprietà geometriche e proiettive che consente di risolvere il problema principale posto dall'Autore: trovare gli angoli tra i vari piani, misurati su piani a loro volta verticali, perpendicolari o paralleli ai primi, o sul piano orizzontale, di riferimento complessivo. Il sistema di riferimento inerziale dunque esiste ed è usato per controllare il sistema locale, ruotato e definito sulla geometria del manufatto, costante per tutte le costruzioni.

La mutua ortogonalità - unita all'altra vera novità assoluta, data dalla relazione proiettiva che lega l'*essieu* al *sousessieu* - consentono di lavorare sul piano del foglio come se si stesse operando nelle tre dimensioni dello spazio: in realtà, infatti, tutte le costruzioni appartengono a piani legati tra loro e dei quali si conoscono le reciproche tracce. Non per caso il primo problema che si pone Desargues è di trovare la proiezione dell'asse sul piano di facciata, traccia del piano che naturalmente contiene l'asse e sul quale si misura il massimo - ed

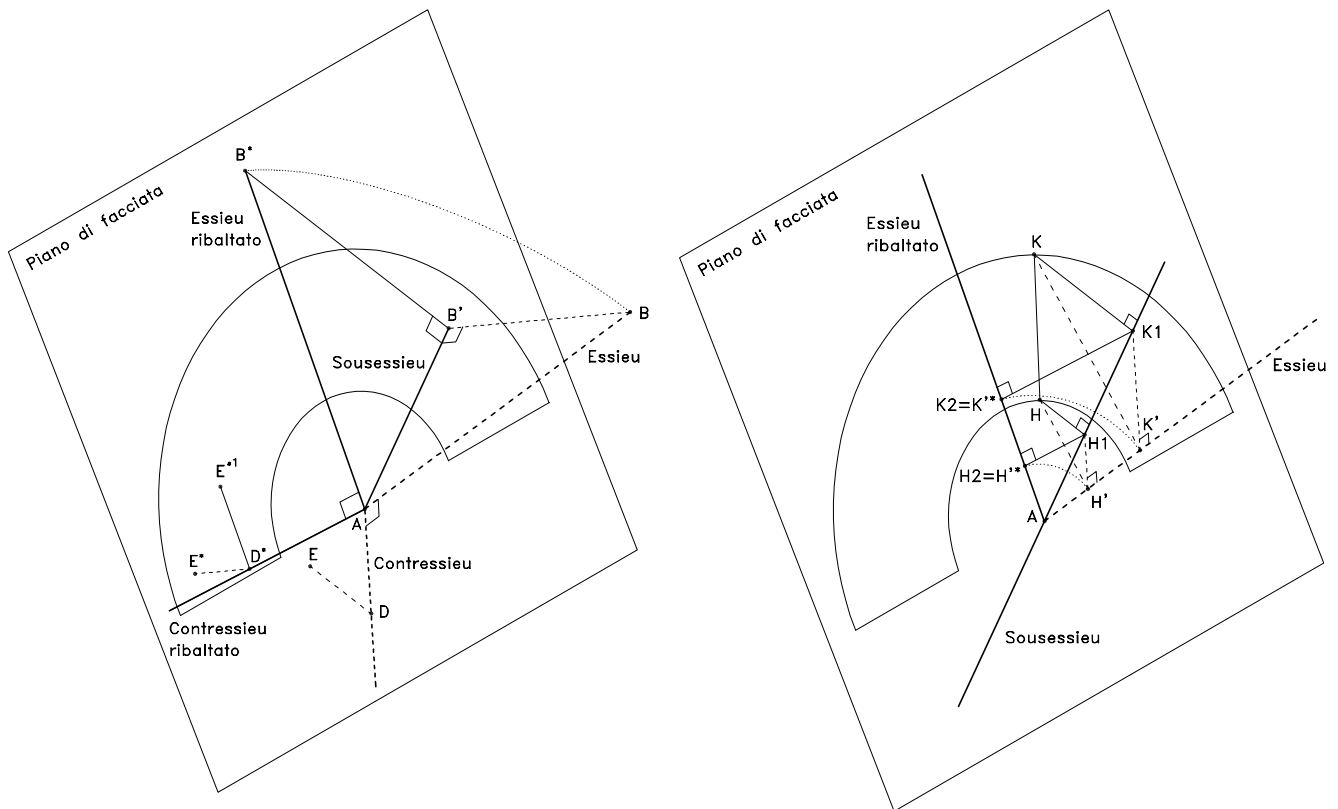


Figura 26. Assonometria ortogonale isometrica che illustra gli assi principali ed i ribaltamenti usati da Desargues (le linee tratteggiate indicano segmenti che non appartengono al piano di facciata). I punti D, E appartengono ad un piano perpendicolare all'asse (essieu) e contenente il contrassieu: il segmento ED è perpendicolare all'asse ed anche al contrassieu. Dapprima si identifica il sousessieu AB', proiettando B in B'. Poi il contrassieu è ribaltato sul piano di facciata usando il sousessieu come cerniera (punti D, E in D', E', con il segmento D'E' perpendicolare al piano di facciata), poi il punto E è a sua volta ribaltato di 90° sul piano di facciata in E¹, usando il contrassieu ribaltato come cerniera. Per le costruzioni geometriche adottate da Desargues si veda l'Appendice C.

Figura 27. Assonometria ortogonale isometrica che illustra le modalità di reperimento della proiezione di un segmento sull'asse della volta (le linee tratteggiate indicano segmenti che non appartengono al piano di facciata). I punti H, K appartengono al piano di facciata. H' e K' sono le loro proiezioni sull'asse. H1 e K1 sono invece le loro proiezioni sul sousessieu, anch'esso appartenente al piano di facciata, mentre H2, K2 sono le proiezioni sull'asse ribaltato che coincidono con i ribaltamenti di H' e K' sullo stesso piano.

anche il minimo – angolo di inclinazione tra l'asse stesso ed il piano di facciata. Trovata la traccia, sarà dunque semplice, operando nelle due dimensioni del foglio, ribaltare il piano dell'asse su quello di facciata, usando la stessa traccia come cerniera.

Il passo successivo consiste nel trovare l'intersezione tra un cilindro generico ed un piano perpendicolare al suo asse: *l'arc droit*. Il *contrassieu* ed il *traversieu* appartengono infatti a questo piano ed il *contrassieu* appartiene anche ad un piano perpendicolare alla facciata e che contiene l'asse ed il *sousessieu*. Dunque, lo stesso ribaltamento, seguito da un successivo operato usando il *contrassieu* come cerniera, consente anche questa operazione (vedi figure 26, 27).

Infine, è da notare che il *traversieu*, oltre a giacere sul piano di facciata ed essere ortogonale al *sousessieu*, è anche la retta di intersezione tra il piano di facciata ed il piano perpendicolare all'asse e passante per l'origine della volta: anche quest'asse, dunque, può essere usato per le medesime costruzioni, poiché, assieme al *contrassieu*, definisce compiutamente il piano dell'*arc droit*.

La figura 28 rende evidente la costruzione del sistema *cartesiano* ruotato, nel quale il piano di facciata (per A, S, T) diviene un generico piano verticale passante per l'origine (resta dunque da individuare l'angolo tra questo ed il piano XZ o YZ) e il piano di via, da verticale, diviene un generico piano contenente l'asse Y, mentre il piano *orizzontale* è un piano, altrettanto generico, perpendicolare al precedente.

Tuttavia, se questa geniale costruzione ben si presta ad infinite generalizzazioni, mal si adatta, ad esempio, ad una *trompe* simile a quella d'Anet.⁴⁴ Infatti, l'allievo Bosse descrive sì due *trompe* nel suo trattato, ma entrambe con facciata piana, ad una o due facce (pur rappresentando una *trompe* simile a quella d'Anet: vedi figura 4-18). Per poter usare questo metodo sarebbe dunque necessario inscrivere la *trompe* d'Anet in una *trompe plate rampante*, per poi ricavare per differenza le singole teste.

Questi sistemi di riferimento risultano, in ogni caso, assai difficili da compren-

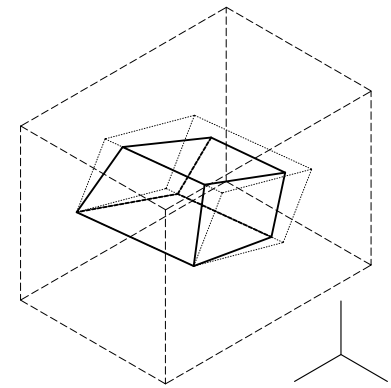
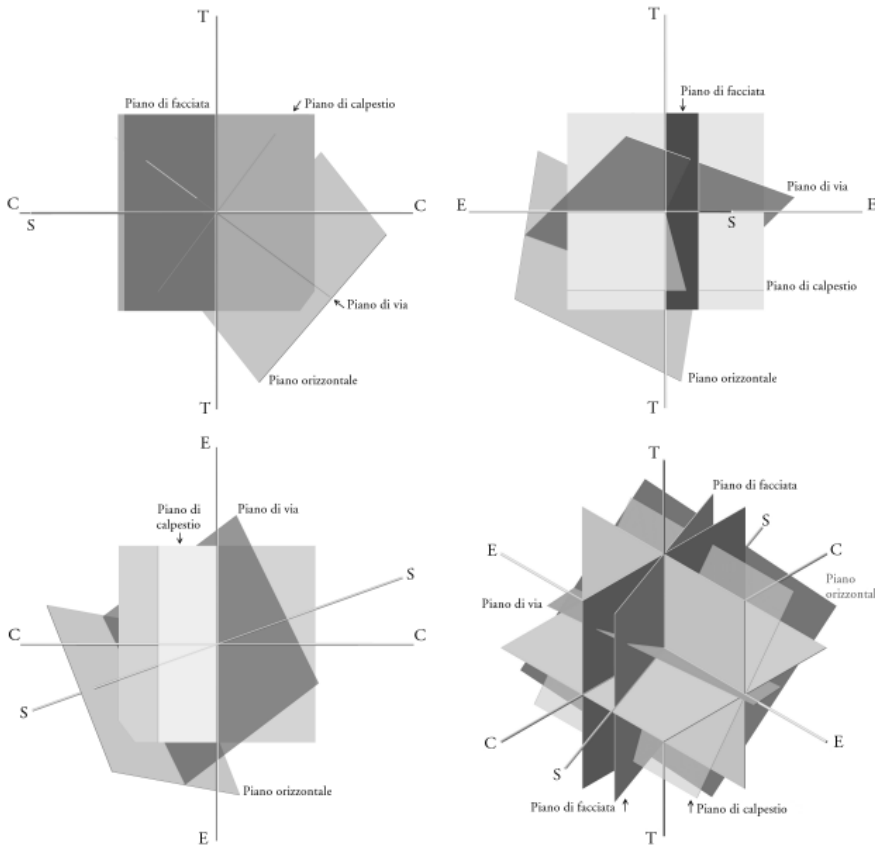


Figura 28. Assonometria ortogonale isometrica (in basso a destra), pianta (in basso a sinistra), prospetto frontale (in alto a sinistra) e prospetto laterale (in alto a destra) degli stessi assi e piani della figura 24, ruotati in modo che il compresso sia coincidente con l'asse X, l'essieu con l'asse Y ed il traversieu con l'asse Z di un sistema di riferimento cartesiano ortogonale. Da notare la disposizione del piano di facciata (per A, S, T), dell'ex piano verticale contenente l'asse, del piano di calpestio (entrambi semitrasparenti) e dell'ex piano orizzontale.

Figura 29. Rappresentazione dei due parallelepipedi di minor volume che avvolgono un concio generico: il primo, più piccolo e in linea punteggiata, tocca i vertici, gli spigoli o le facce del concio ed è disposto in modo generico nello spazio; il più grande invece, pur toccando anch'esso vertici, spigoli o facce del concio, mantiene i suoi spigoli paralleli e perpendicolari ad un sistema esterno, unico per tutti i concii.

dere, soprattutto senza l'ausilio di complessi modelli reali oppure, oggi, di strumenti informatici: forse solo un grande geometra come Desargues poteva usarli senza incorrere in grossolani errori.

Per comprendere la differenza fondamentale che sussiste tra il metodo che potremmo definire classico, descritto per primo da Philibert Delorme, ed il nuovo, proposto da Girard Desargues, si immagini anzitutto di fissare una terna di assi cartesiani, immobili nello spazio (vedi figura 29). Un qualsiasi concio, comunque disposto nello spazio, potrà essere inserito nel parallelepipedo di minor volume (che tocchi quindi le facce o gli spigoli oppure i vertici del concio) almeno in due modi: nel primo caso il parallelepipedo sarà di minor volume in senso stretto e dunque le sue facce potranno assumere una qualunque giacitura rispetto agli assi; nel secondo caso le facce del parallelepipedo dovranno essere sempre e comunque parallele e perpendicolari agli assi cartesiani. È pertanto evidente che, nella prima accezione, ogni concio seguirà un proprio destino, probabilmente diverso da quello del concio adiacente, poiché diverse potranno essere le giaciture dei due parallelepipedi che li contengono, mancando una relazione unificatrice valida per tutti i concii. Nel secondo caso, al contrario, ogni concio è analogo ad ogni altro poiché le facce di ogni parallelepipedo sono in relazione diretta con gli assi cartesiani, comuni per tutti, e dunque con disposizione nota a priori.

Ed è sostanzialmente questo il motivo per cui si può dire *universale* il metodo proposto da Desargues: perché ogni concio è creato per mezzo di pannelli ed angoli, tutti reperiti per mezzo delle medesime costruzioni geometriche e non dipendenti dal caso specifico.

In tal senso, nel caso di concii assai semplici, è anche immediato comprendere come l'applicazione del metodo si riveli spesso eccessiva, sproporzionata rispetto all'esiguità del problema che risolve. Ma se da un lato è sempre consentito rinunciare, se è il caso, alla completa attuazione dell'intera costruzione, d'altro canto è teoricamente possibile cancellare, o comunque ridurre, le estese e fitte ragnatele

tassonomiche, presenti in tutti gli altri trattati di stereotomia, non ultimo quello dello stesso Frézier.

Nell'arco di tempo che separa questi trattati dall'opera manoscritta di de La Hire, della fine del Seicento, de Chales e Guarini trattano la stessa materia da un punto di vista squisitamente geometrico. Il primo scrivendo in latino, certo non la lingua più adatta per le maestranze, ed inserendo un capitolo in un'opera matematica più ampia, il secondo come parte di un trattato sull'architettura, pubblicato cinquant'anni dopo la sua morte. In entrambi i casi manca del tutto la preoccupazione pratica della "applicazione sulla pietra". A titolo di esempio, de Chales suddivide l'arco di una *conicâ testitudine quadratâ*, ovvero della *trompe sur le coin ou quarrée par devant* (vedi figura 5-4), in conci definiti direttamente sulla pianta, senza dunque tener conto delle loro dimensioni reali ma solo di quelle proiettate a terra. Per contro, entrambi descrivono assai bene le operazioni di ribaltamento e sezione, alla base del metodo di costruzione, ed individuano univocamente le giaciture dei piani principali (si veda, ad esempio, la figura 11-5, ma anche molte altre tratte dall'*Architettura Civile* del Guarini).

Il manoscritto di de La Hire, invece, mantenendosi perfettamente coerente a fattori tecnici e operativi oltre che geometrici, in relazione a Derand inverte, o accresce, il peso del *biveau* rispetto al pannello. Il concio è suddiviso in parti (vedi figura 6-10), ciascuna caratterizzata da un proprio *biveau*, e proprio a questo fine tende la maggior parte delle pagine (si vedano le figure 6-12 e seguenti e le descrizioni negli *excerpta*). Pur ancora senza approfondire né spiegare troppo, sempre rimanendo fedele al caso particolare, de La Hire individua tuttavia ciascun angolo tra i vari conci, preso perpendicolarmente agli spigoli, proiettando, ruotando e ribaltando abilmente rette e piani a giacitura generica.

Frézier, infine, si *limiterà* ad ordinare l'intero *corpus* degli studi precedenti, classificando un gran numero di tipi, descrivendo minuziosamente l'applicazione del *trait* sulla pietra, confrontando tra loro varie modalità di costruzione e di taglio, affrontando espressamente anche gli aspetti statici e strutturali dei manufatti lapidei. Nulla, o quasi, del trattato di Frézier può essere definito veramente originale, ma tutto, o quasi, è descritto, comparato, approfondito.

Ripercorrendo trasversalmente i due secoli che vedono l'apparire e il consolidarsi dei metodi grafici legati al *trait géométrique*, il loro sviluppo appare dunque sufficientemente chiaro.

In un primo momento, sino agli inizi del Seicento, il taglio dei conci usa e richiede soprattutto la costruzione dei pannelli che li avviluppano. Anche un manufatto complesso come la *trompe* d'Anet può essere edificato per mezzo dei soli pannelli, pur se, molto probabilmente, sin dall'inizio alcuni angoli tra le facce dei conci erano misurati - dopo la realizzazione del *trait* ma prima del taglio dei conci - direttamente su modelli in gesso, costruiti per mezzo dei pannelli stessi. I pannelli costituiscono dunque sia un apparato intermedio, necessario per la realizzazione dei modelli - e in tal senso divengono essenziali i pannelli *de pente*, ben descritti da Delorme -, sia una traccia ed una verifica utile per il taglio vero e proprio. Lo stesso Delorme, infatti, raccomanda un taglio oculato: un po' su una faccia ed un po' sull'altra, sino a far combaciare perfettamente i pannelli. Tale consegna non sarebbe stata ragionevole se il tagliatore avesse potuto impiegare *biveaux* costruiti geometricamente, piuttosto che misurati su modelli approssimativi.

Tuttavia, evidentemente, la necessità pratica di disporre di tali strumenti, per ridurre il dispendio di tempo e di materiale, costringe man mano i trattatisti ad approfondire sempre più questo aspetto. In realtà, oltre a tutto, l'uso dei *biveaux* consente di operare anche senza l'uso di tutti i pannelli che avviluppano il concio, portando un'economia di tempo anche per l'architetto. Non è certo un caso se

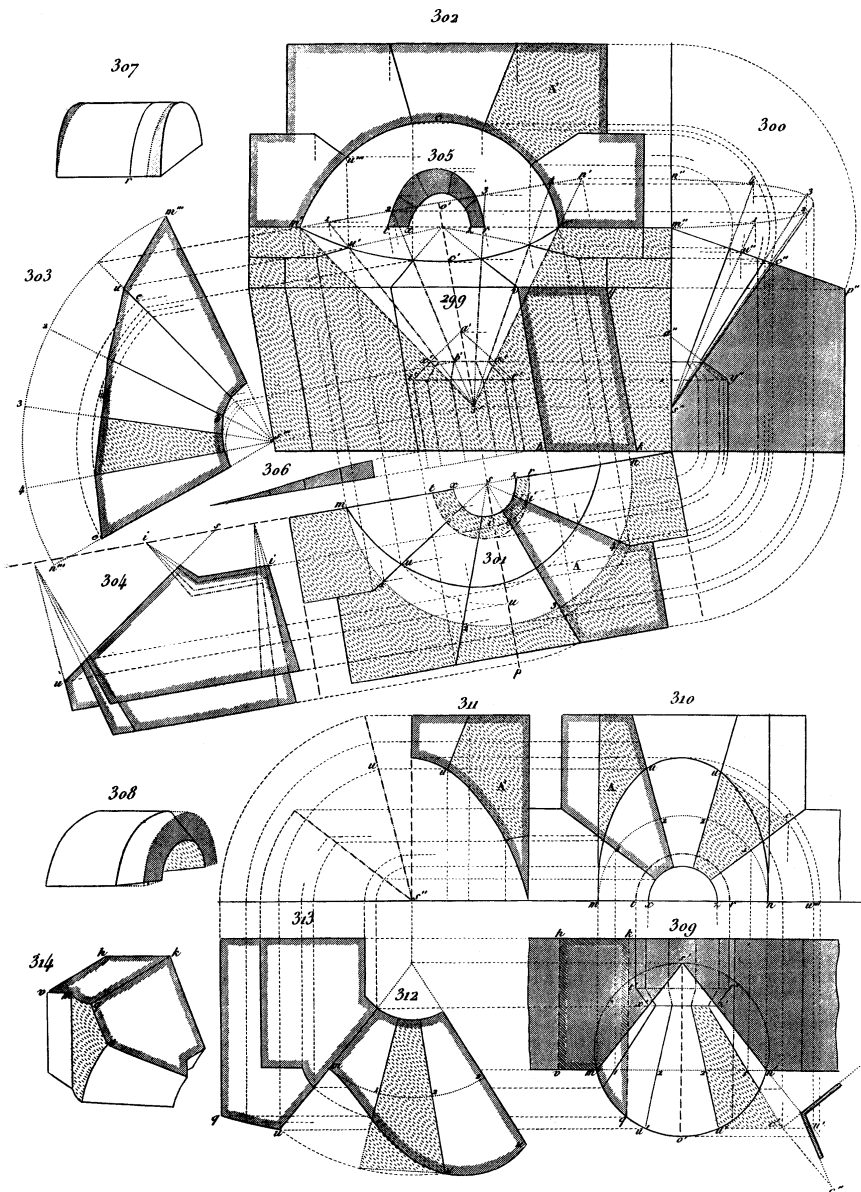


Figura 30. Trompes coniques, Adhémar, *Traité de la coupe des pierres*, tavola 36.

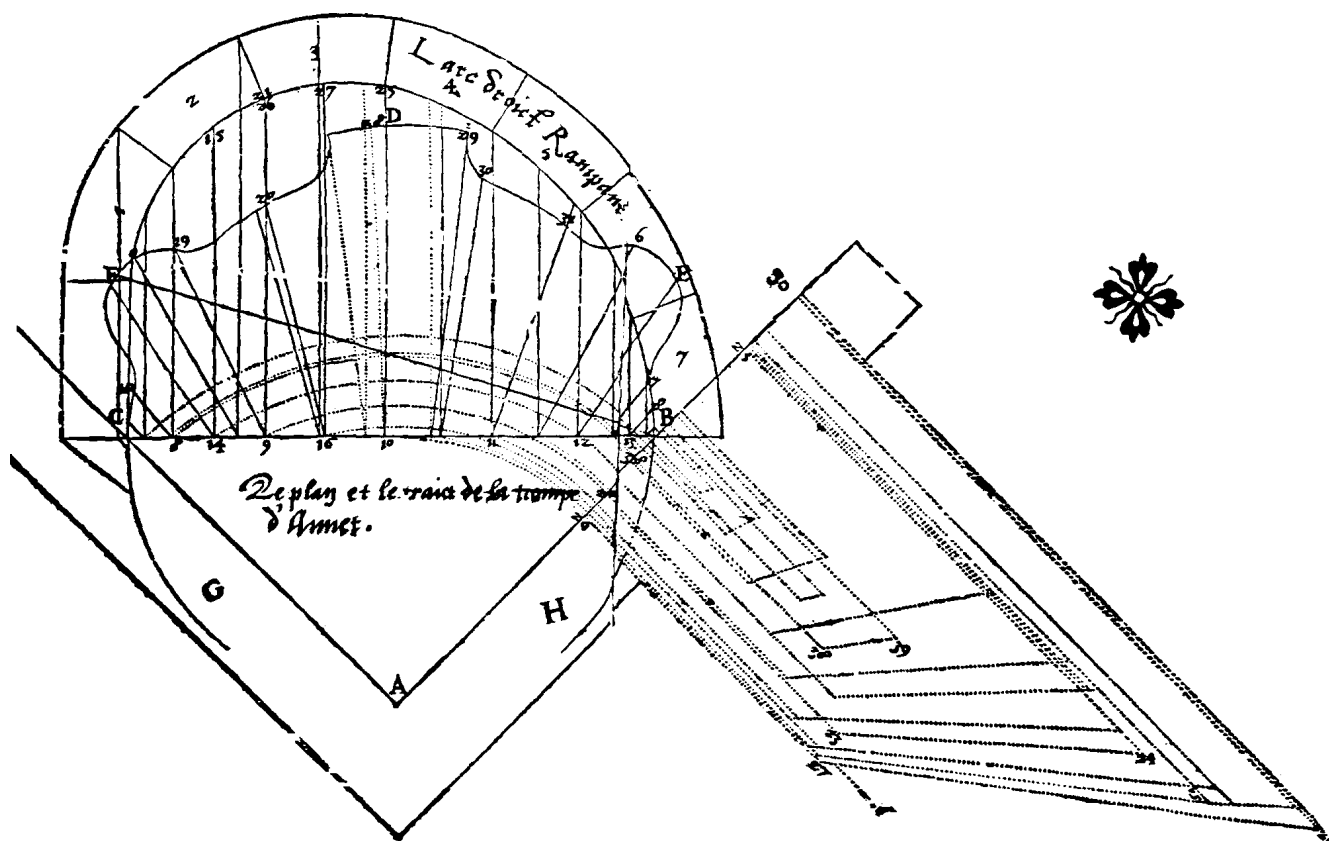
attorno al 1640 si pubblicano numerosi trattati e se proprio in quel periodo si divarica il confronto tra la teoria geometrica e la prassi del taglio della pietra.

Ma, pur nella diversità delle soluzioni proposte, l'obiettivo era comune: costruire sì anche i pannelli, ma soprattutto identificare gli angoli tra le facce di uno stesso concio e, in particolare, tra le facce di conci contigui, misurati ortogonalmente agli spigoli.

Questo processo - in realtà iniziato con lo stesso Delorme, per i *biveaux* più semplici ed immediati, quelli ottenuti direttamente dai pannelli - giunge a maturazione prima con Derand e Desargues, poi con de La Hire e Frézier, nei primi anni del Settecento. E questa urgenza - la necessità, in definitiva, di legare ciascun concio con il precedente ed il successivo - richiede costruzioni diverse da quelle indicate da Delorme, essenzialmente orientate ad individuare le intersezioni tra superfici ed il loro sviluppo sul piano. Esige, ad esempio, l'individuazione di piani perpendicolari alle facce di conci genericamente disposti nello spazio.

A quel punto tutto era già disponibile e predisposto per la codifica complessiva, tanto che stupisce siano trascorsi così tanti decenni (vedi, ad esempio, la figura 30).

Con Lagrange, certamente, anche Desargues, La Hire e Frézier non sapevano di conoscere la geometria descrittiva.



Appendice A. La costruzione del *trait* della *trompe* d'Anet

Philibert Delorme, nel quarto libro del suo trattato *Le premier tome de l'Architecture*, propone in diverse varianti tre grafici utili alla costruzione della *trompe* rampante del castello di Anet. Il primo disegno, fogli 92v. e 93r. (figura A-1) e riproposto poi nel foglio 96v. del trattato, mostra i due muri di sostegno *G* e *H*, la pianta della *trompe* *CFDEB* costruita, nei suoi tratti essenziali, su di un cerchio passante per *A* e con diametro pari a *CB*, ed infine una sezione verticale (*l'arc droit rampant*), ribaltata sul piano orizzontale attorno a *CB*.

La sezione mostra anche i sette conci - oltre al concio verticale *CF*, che sostiene e determina la *trompe* rampante - e le commessure tra i conci stessi. Sulla destra della figura, sono presenti 13 sezioni verticali radiali, passanti per *A* e per le commessure dei conci e per i loro punti medi. Le sezioni sono poi ruotate attorno ad *A* e ribaltate sul piano orizzontale.

Questo grafico è sufficiente per definire ogni punto della *trompe* e soprattutto l'andamento della volta rampante.

Gli altri due disegni si riferiscono il primo - foglio 94v. (figura A-2), riproposto in altra forma nel foglio 97r. - allo sviluppo frontale della *trompe*; il secondo - foglio 95v. (figura A-3), anch'esso riproposto parzialmente nel foglio 99v. - allo sviluppo dell'intradosso della volta rampante.

Il primo disegno (figura A-1) è particolarmente significativo sia perché consente la costruzione degli altri due, sia perché definisce la curva che determina l'andamento della volta rampante.

La costruzione di quelle che Delorme chiama linee *de pente*, vale a dire del grafico che compare a destra del disegno in figura A-1, è illustrata schematicamente nelle figure A-4 e A-5, usando le stesse lettere e numeri adoperati dallo stesso Delorme nel suo trattato:

1) Si abbassa una retta dal punto 21 ad incontrare perpendicolarmente *CB* nel punto 9.

Figura A-1. Delorme, *Le premier tome de l'Architecture*, ff. 92v.-93r. *Trait* usato per la costruzione dei cartoni della *trompe* di Anet.

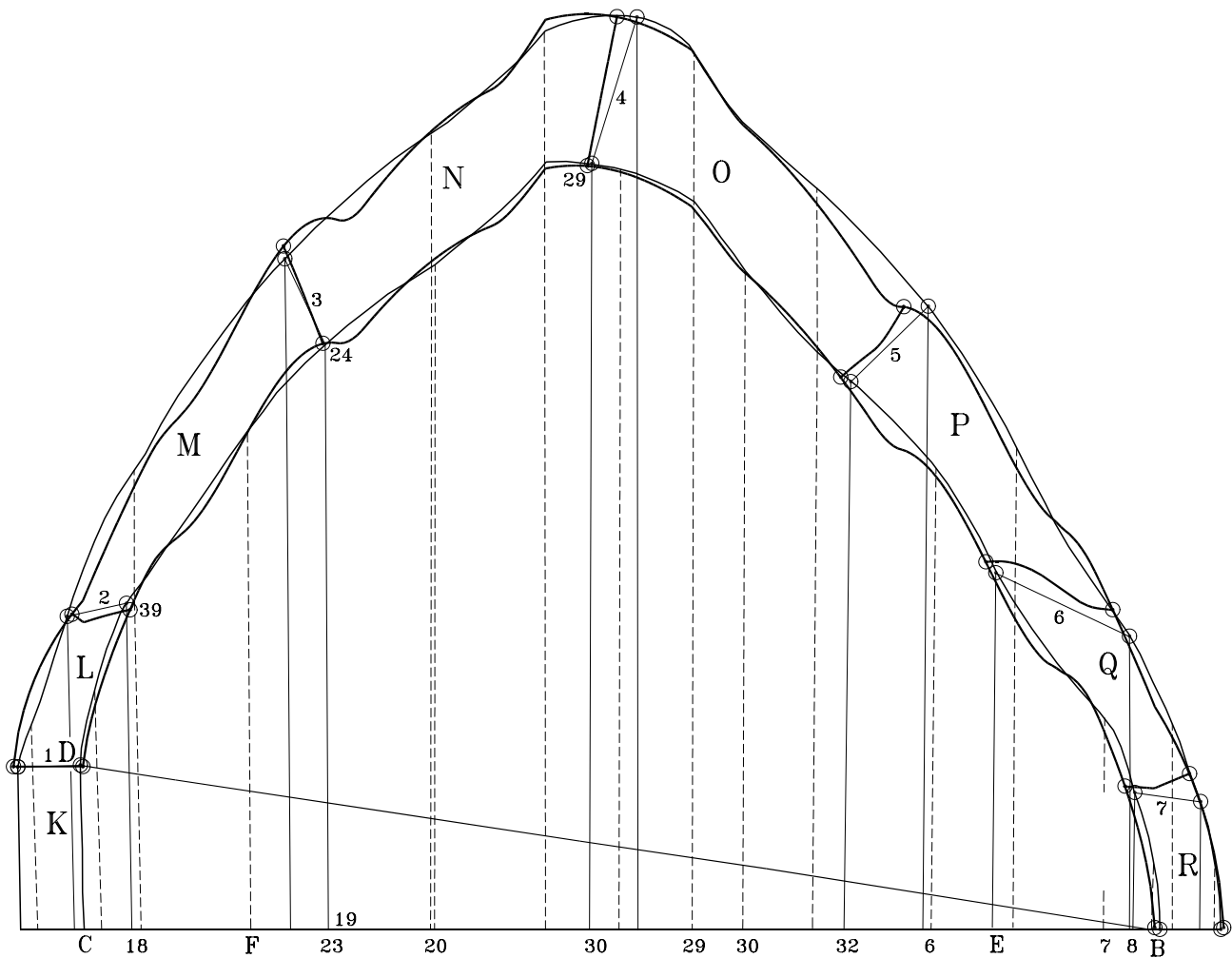


Figura A-2. Digitalizzazione dell'immagine del foglio 94v. del trattato di Delorme. In figura è mostrata la sovrapposizione tra il grafico tracciato da Delorme (segni sottili) e quello 'ideale' (segni marcati), ottenuto per mezzo di un programma di calcolo che ha suddiviso la pianta della trompe in 350 punti molto vicini tra loro. Il programma è in grado di produrre, per qualsiasi tipo di trompe, tutti i cartoni previsti da Delorme ed inoltre il modello tridimensionale della trompe. Il confronto dimostra una notevole concordanza soprattutto nei punti certamente calcolati da Delorme: vale a dire le commisure e i centri dei conci.

2) Da A si lancia una semiretta per il punto 9 ad incontrare la pianta della *trompe* nel punto 19 .

3) Con il compasso puntato in A si riporta su AB la misura $A-9$, identificando il punto 22 .

4) Da 22 si traccia un segmento, perpendicolare ad AB , di lunghezza pari a $9-21$, fino al punto 23 .

5) Sempre puntando il compasso in A , si riporta su AB anche la misura $A-19$, identificando il punto 25 .

6) Da 25 si traccia un segmento, perpendicolare ad AB e dunque parallelo a $22-23$, di lunghezza a piacere.

7) Da A si traccia un segmento passante per il punto 23 che incontra il segmento precedente nel punto 24 .

Il segmento $25-24$ rappresenta l'altezza del bordo della volta della *trompe*, rispetto al piano orizzontale passante per il vertice A , in corrispondenza del punto 19 , posto sulla pianta. La distanza $A-24$ è invece la distanza obliqua, presa nelle tre dimensioni, da A allo stesso punto 19 sulla *trompe*. Nelle tre dimensioni dello spazio (figura A-5), pertanto con la sezione $C-21-B$ verticale su CB , l'intera operazione volta a reperire la collocazione di un qualsiasi punto posto sul bordo esterno della *trompe* (ad esempio per trovare il punto $19'$), consiste dunque nei seguenti passi:

A) Si esegue una sezione del modello con un piano verticale per A e per il punto 9 e dunque anche per il punto 21 ribaltato sul piano verticale per B e C (il punto $9'$ nella figura 19). Il piano individua il punto 19 , posto sulla pianta della *trompe* (passo 2).

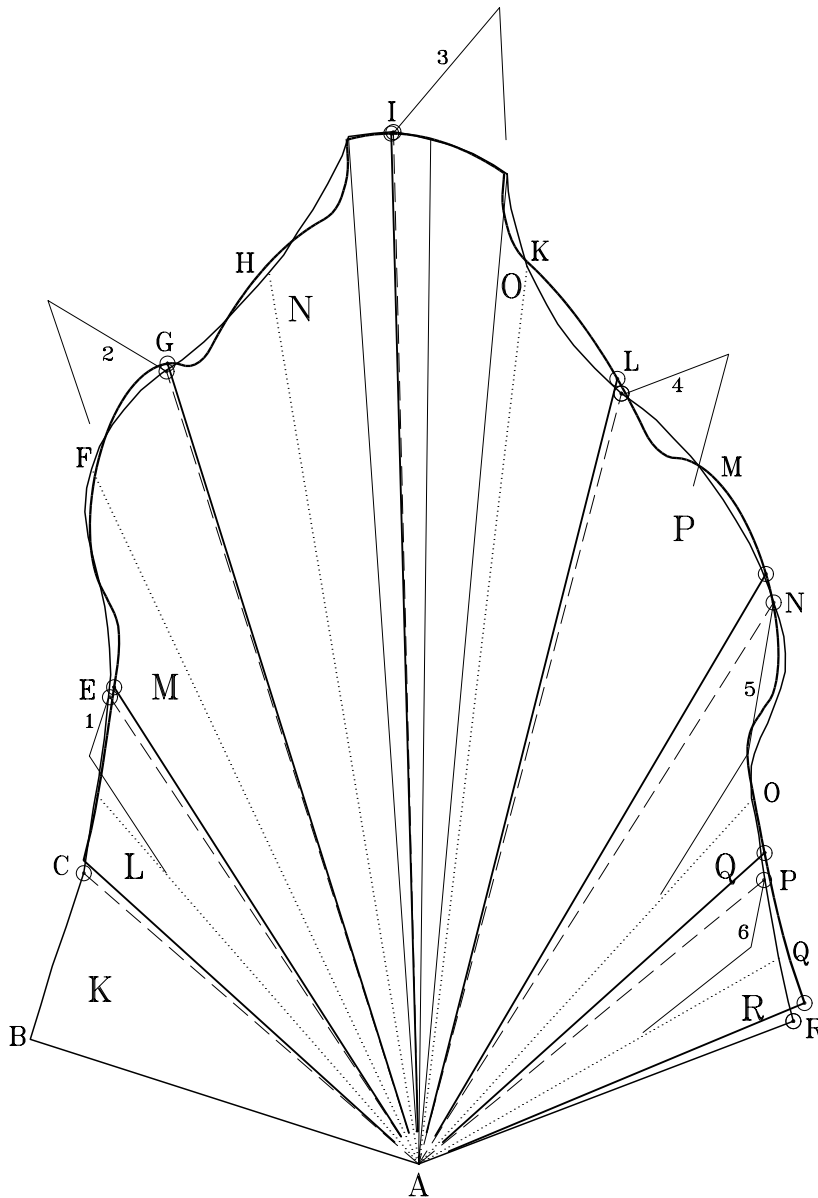


Figura A-3. Digitalizzazione dell'immagine del foglio 95v. del trattato di Delorme. La figura mostra il confronto tra il cartone di sviluppo dell'intradosso della volta tracciato da Delorme (segno sottile) e quello ottenuto dal programma per computer Trompe (segno marcato). Anche in questo caso le leggere differenze sono da imputarsi essenzialmente al fatto che Delorme ha calcolato un numero esiguo di punti: infatti in corrispondenza dei punti da lui certamente calcolati vi è quasi sempre identità tra i due grafici. Nella figura sono presenti anche i ribaltamenti dei pannelli di giunzione ed anche in questo caso vi è di norma una buona concordanza (gli estremi dei pannelli calcolati da programma sono qui evidenziati con pallini).

B) Su quel piano verticale, il punto $19'$, intersezione tra la retta dal punto A per 21^* (o per il punto $9'$, dato che i due punti coincidono) e la verticale dal punto 19 , è posto sul bordo della volta della *trompe* e, per costruzione, sulla verticale del punto 19 . Operando nelle due dimensioni è invece necessario eseguire tutti i passi da 3 a 7 per ottenere la distanza $25-24$, uguale alla distanza $19-19'$ che si voleva ricavare. Infatti, ribaltando sul piano verticale per A e B i punti 24 e 23 (sui punti 24^* e 23^* a loro volta coincidenti con i punti $25'$ e $22'$) e ruotando il trapezio rettangolo $25-22-23^*-24^*$ attorno al punto A fino a portare il punto 25 sul punto 19 , si ottiene appunto il trapezio $19-9-21^*-19'$.

La semplice costruzione della figura A-1 consente pertanto, data la pianta e una sezione verticale ribaltata della volta della *trompe*, di trovare l'altezza di ogni punto della pianta sul bordo esterno della volta. È poi interessante notare, sempre nella figura A-1, in che modo Delorme costruisca il grafico, sull'ovale esterno, per le linee relative alle commessure del concio 1 (e presumibilmente anche del concio 7).

Queste linee infatti cadono su CB esternamente alla pianta della *trompe*. Questa perciò viene fatta continuare in forma circolare, e dunque i due conci estremi avranno quella forma in pianta: è infatti importante, ai fini del metodo, che la retta per un qualsiasi punto posto sulla sezione ribaltata e per il vertice A abbia una, e possibilmente una

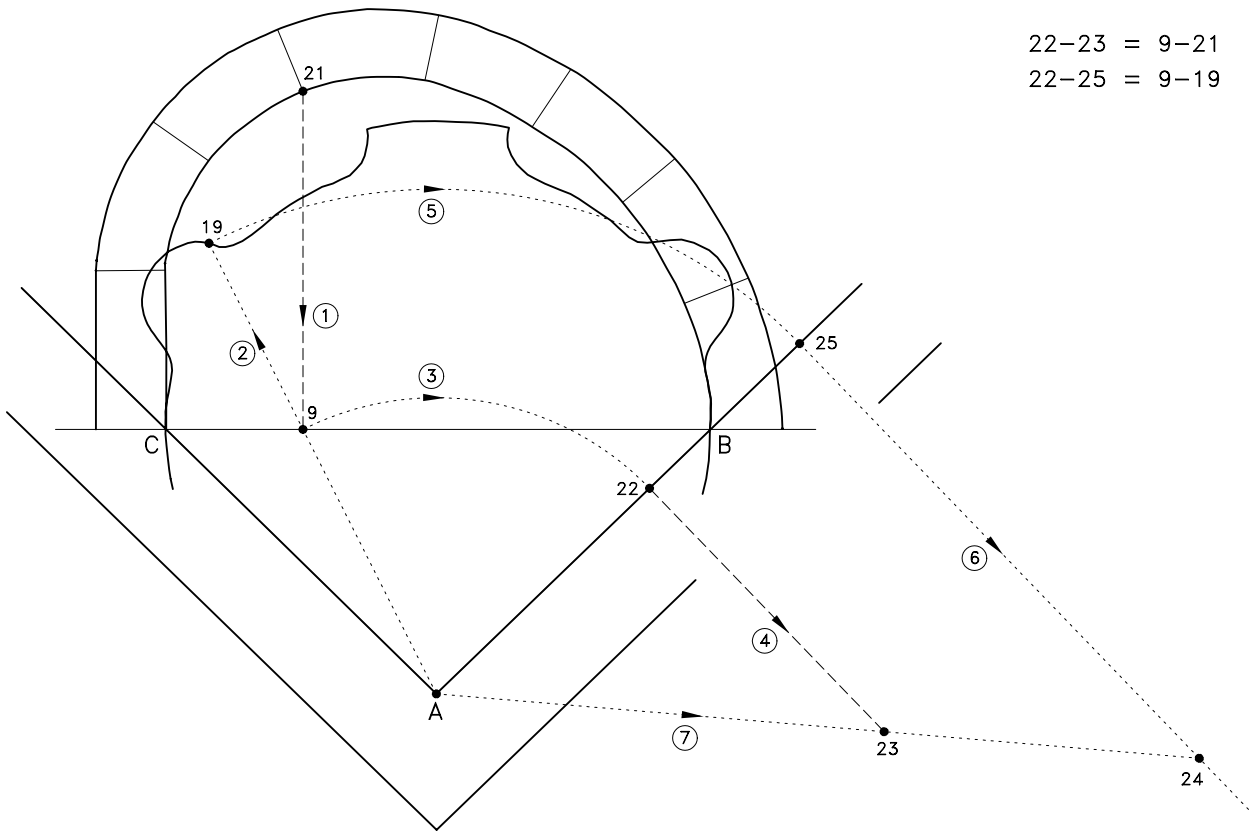


Figura A-4. Ricostruzione della figura A-1 per il reperimento dell'altezza del punto 19, posto sulla retta che congiunge A con 21 ribaltato sul piano verticale attorno a CB.

Passo 1. Stabilito il punto sulla sezione verticale (qui ribaltata sul piano del trait) del quale si vuole trovare la proiezione sul bordo della volta della trompe e l'altezza di quello stesso punto (in questo caso il punto 21), si abbassa la perpendicolare a CB (trovando il punto 9).

Passo 2. Si traccia la retta da A per il punto 9 (proiezione verticale sul piano orizzontale del punto 21), intercettando la pianta della trompe nel punto 19. Questo punto rappresenta la proiezione verticale sul piano orizzontale del punto che giace sul bordo della volta e sulla retta A-21* (il punto 21 ribaltato).

Passo 3. Si riporta, con il compasso puntato in A, il punto 9 su AB, trovando il punto 22.

Passo 4. Si traccia, da 22, una perpendicolare ad AB e su questa si riporta la lunghezza 9-21, trovando il punto 23.

Passo 5. Si riporta 19 su AB, trovando 25.

Passo 6. Si traccia una perpendicolare, di lunghezza a piacere, ad AB dal punto 25.

Passo 7. Si prolunga la retta A-23 fino ad intercettare la retta tracciata nel punto 6.

La distanza 25-24 è l'altezza del punto 19.

sola, intersezione con la pianta. Delorme comunque non dà nessuna spiegazione al riguardo, lasciando al lettore la soluzione per le modalità di inserimento, e dunque di sostegno, della volta nei due muri laterali.

Riprendendo la descrizione delle altre immagini inserite da Delorme nel *Premiere tome*, la figura A-2 risulta, a questo punto, di assai semplice costruzione. Infatti la lunghezza CB è pari allo sviluppo frontale della *trompe* CFDEB della figura A-1 (questo dato è stato verificato anche nei disegni originali, posti alla stessa scala).

1) A partire da C (nella figura A-1) sono definiti una serie di punti sulla pianta della *trompe*, in corrispondenza soprattutto dei suoi flessi di curvatura.

2) Di ogni punto viene misurata la distanza dal punto precedente, lungo la curva CFDEB, per mezzo di piccoli riporti di compasso.

3) La distanza è riportata in figura A-2, sul segmento orizzontale CB (da C verso B).

4) In corrispondenza di ogni punto su CB è innalzato un segmento di lunghezza pari all'altezza del punto stesso sulla volta della *trompe*. Per il punto 19 dell'esempio precedente, l'altezza sarà pari alla distanza 25-24.

5) Se il numero di punti è sufficientemente grande, collegando gli estremi dei segmenti si ottiene il grafico di figura A-2. Il cartone della figura A-2 avvolge il fusto della *trompe* e ne identifica lo spigolo dato dall'intersezione della volta.

Infine, la figura A-3, relativa allo sviluppo della superficie della *volta rampante*, è anch'essa di facile ed immediata costruzione. Anche in questo caso è necessario operare per punti, con calcolo delle distanze relative per mezzo di piccoli riporti di compasso. Non viene però più considerata l'altezza dei punti ma la loro distanza dal vertice A (nell'esempio precedente, per il punto 19, la distanza A-24 anziché la distanza tra il punto 25 e il 24). Si opera dunque come segue:

1) Partendo sempre dal punto C di figura A-1, si traccia un segmento di lunghezza AC (è il segmento orizzontale A-E della figura nel foglio 99v).

2) Si procede ora per trilaterazione. Misurata la distanza da C al punto successivo sulla figura A-2 (quella relativa allo sviluppo frontale) e la distanza obliqua, presa nello

- 22-23 = 9-21 = 9-9'
- 22-25 = 9-19
- 25-24 = 19-19'
- A-24 = A-19'
- A-23 = A-9'

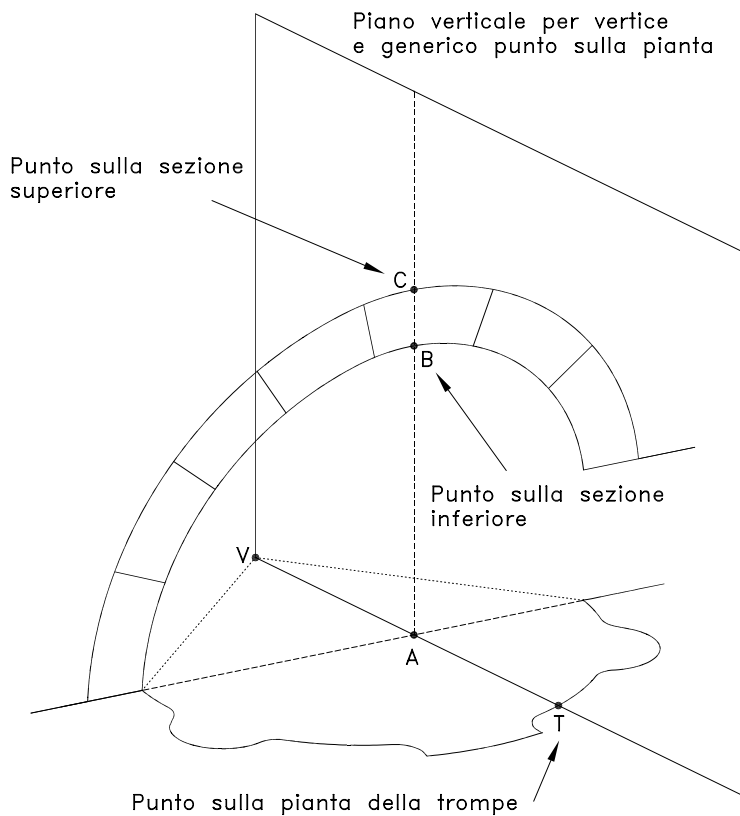
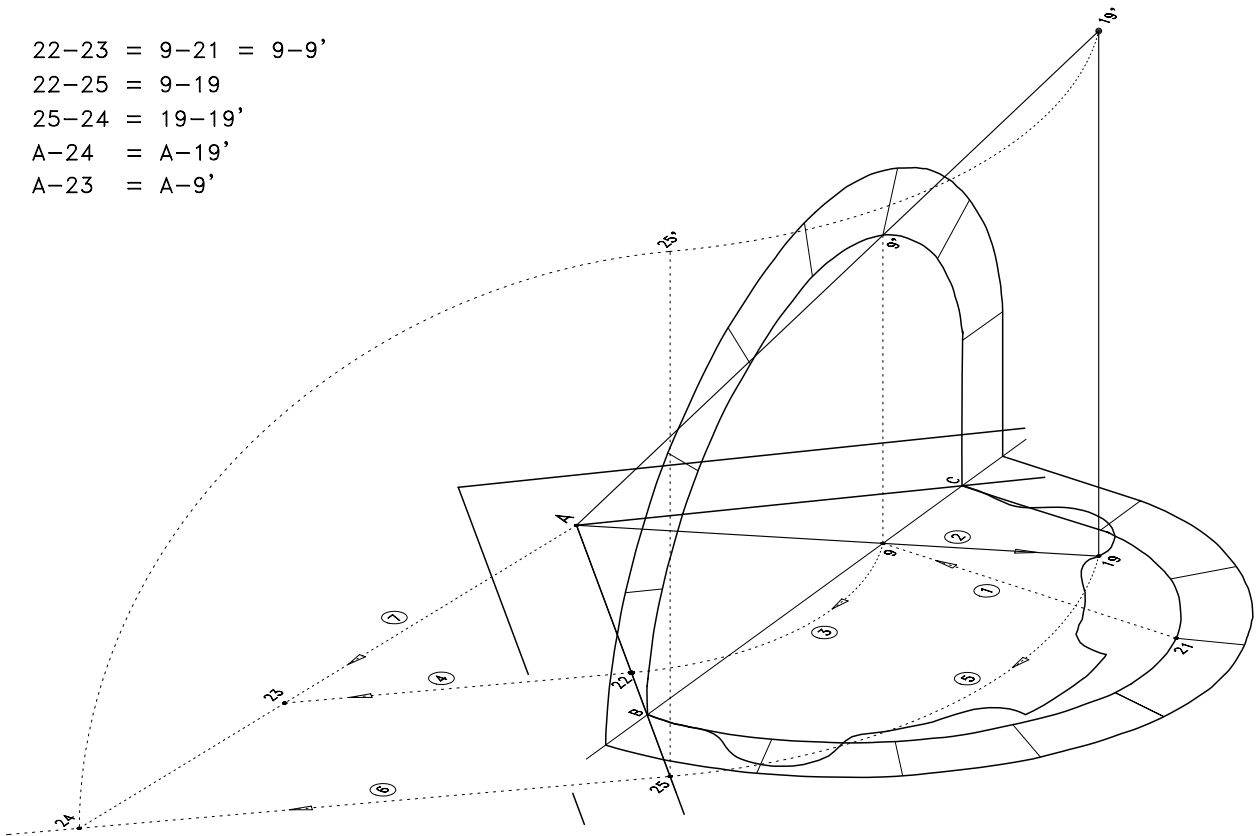


Figura A-5. Ricostruzione tridimensionale della figura A-1. Come nel caso della figura precedente, questa immagine si riferisce al reperimento dell'altezza del punto 19', posto sulla retta che congiunge A con 21 ribaltato sul piano verticale attorno a CB (qui il punto è identificato come 9', essendo anche la proiezione verticale del punto 9 sulla volta della trompe). La sequenza delle operazioni è la stessa dell'immagine precedente. In questo caso le rotazioni e i ribaltamenti sono però rappresentati nelle tre dimensioni. Così la sezione ovale è anche ribaltata sul piano verticale attorno a BC e la distanza 25-24 è ribaltata attorno alla retta per A-25 (il punto 24 diviene così 25') e poi ruotata sui punti 19 e 19'.

Figura A-6. Schema geometrico che illustra il metodo descritto da Delorme. Fase 1: individuazione delle intersezioni tra le due sezioni (l'inferiore e la superiore) ed una serie di piani verticali passanti per il vertice della trompe e per ciascun punto della pianta (le due sezioni, in linea teorica, potrebbero anche non essere verticali, né devono necessariamente appartenere ad un piano: il programma Trompe, ad esempio, prevede anche queste possibilità). Per ogni punto che definisce il tracciato della pianta, è trovato un piano verticale che passa per quel punto e per il vertice V della trompe conica. Tale piano intersecherà le due sezioni (quella dell'intradosso e quella dell'estradosso della volta della trompe) e individuerà pertanto due punti: il punto B ed il punto C. Per tali punti passeranno due rette generatrici delle superfici della volta.

Figura A-7, a sinistra. Schema geometrico che illustra il metodo descritto da Delorme. Fase 2: reperimento delle altezze, sul contorno esterno della trompe, di ogni punto della pianta; sia esso riferito alla volta inferiore (punto D), oppure a quella superiore dei conci (punto E). Trovati i punti B e C, sarà semplice - per mezzo di due proporzioni - trovare le altezze dell'estradosso e dell'intradosso sulla verticale del punto T. Se il punto D è univocamente determinato, il punto E potrà essere individuato dalla retta VB o in altro modo, facendo sì che lo spessore della volta rimanga costante.

$$TE : AC = VT : VA$$

$$TE = (AC * VT) / VA$$

$$TD : AB = VT : VA$$

$$TD = (AB * VT) / VA$$

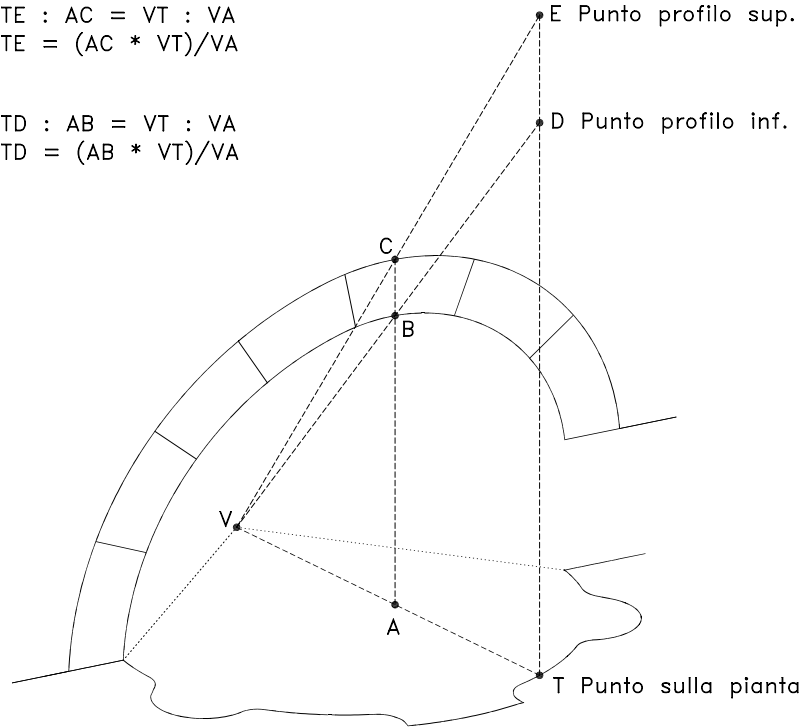
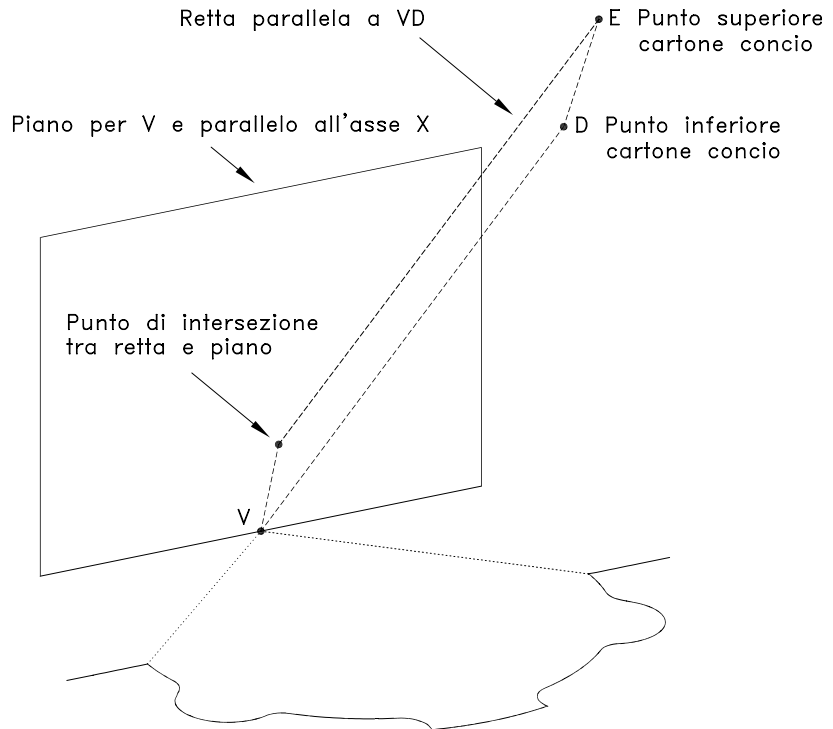


Figura A-8. Schema geometrico che illustra il metodo descritto da Delorme. Fase 3: reperimento dei quattro punti, appartenenti ad un piano, che definiscono gli estremi dei cartoni di taglio. Ogni concio è definito per mezzo di un segmento che unisce due punti: uno appartenente alla sezione inferiore della volta, l'altro a quella superiore: è dunque necessario determinare il piano passante per questi due punti e per il vertice V. Per dare uno spessore costante al concio, trovato il punto E, si definirà anche una retta passante per E e parallela a VD. L'intersezione della retta per E con un piano verticale per V e, ad esempio, parallelo all'asse X, definirà anche il quarto vertice del cartone di giunzione. Questo passaggio sarà evidentemente modificato nel caso di utilizzo di un trompillon, posto nel vertice V. Questo passaggio, forse per le difficoltà insite nel reperimento del quarto punto, non è descritto da Delorme nel suo trattato (vedi anche Appendice B).



spazio, dallo stesso punto al vertice A (sulla figura A-1 relativa al *trattato*), puntando il compasso rispettivamente in C e in A, si individua la posizione del punto sul grafico. Si ottiene in tal modo lo sviluppo della superficie inferiore della *trompe*: la lunghezza del contorno di questo cartone è evidentemente identica a quella del cartone precedente, visto che i due cartoni si toccano proprio lungo quello spigolo dato dal contorno superiore del cartone in figura A-2 e dal contorno esterno del cartone in figura A-3.

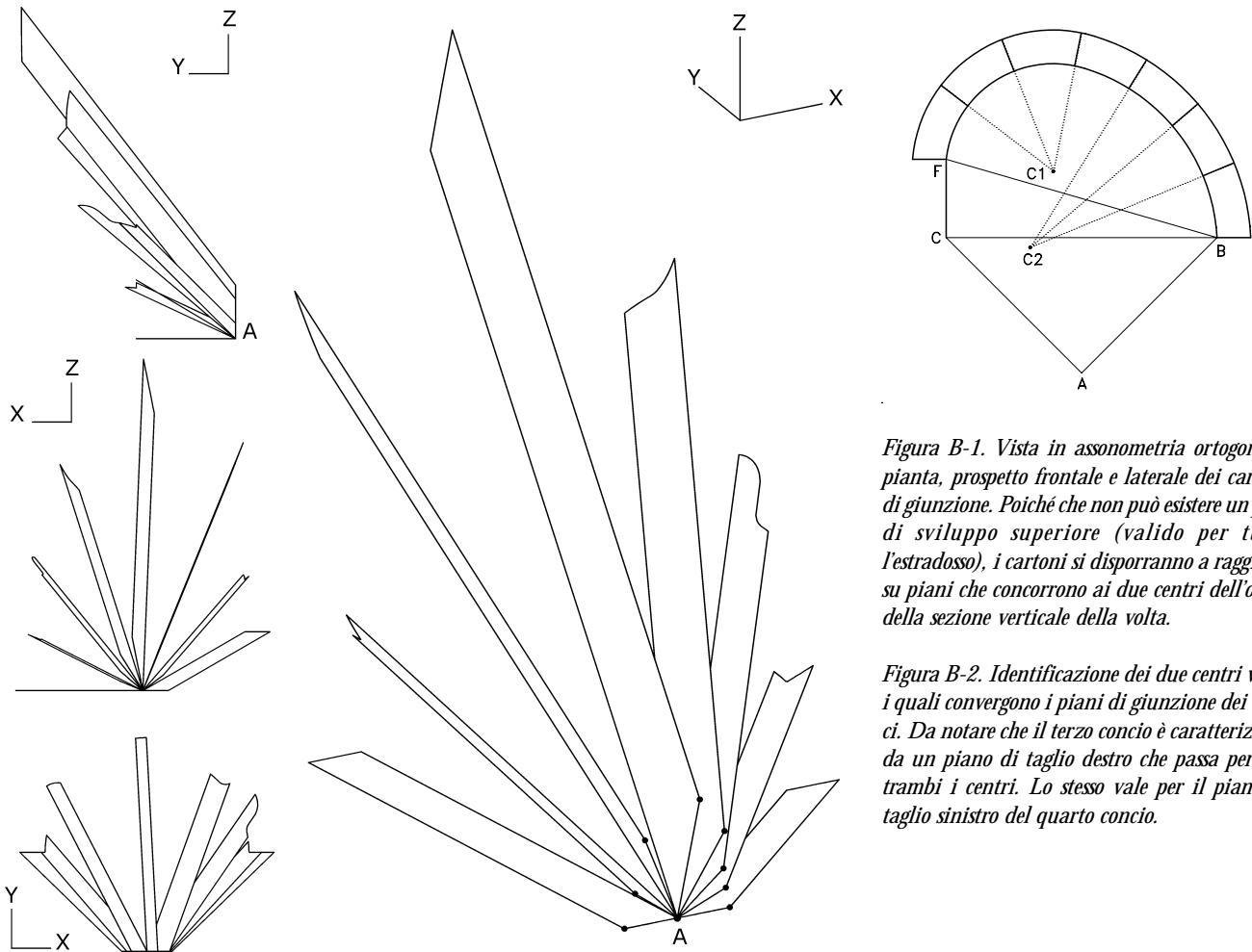


Figura B-1. Vista in assonometria ortogonale, pianta, prospetto frontale e laterale dei cartoni di giunzione. Poiché non può esistere un polo di sviluppo superiore (valido per tutto l'estradosso), i cartoni si disporranno a raggiera, su piani che concorrono ai due centri dell'ovale della sezione verticale della volta.

Figura B-2. Identificazione dei due centri verso i quali convergono i piani di giunzione dei conci. Da notare che il terzo concio è caratterizzato da un piano di taglio destro che passa per entrambi i centri. Lo stesso vale per il piano di taglio sinistro del quarto concio.

Appendice B. La costruzione dei cartoni di giunzione tra i conci e dell'estradosso della *tromped'Anet*

Delorme, all'estremità esterna dei segmenti relativi ai cartoni di giunzione, traccia dei segmenti paralleli a quelli che congiungono l'estremità interna ad *A* (vedi figura A-3).⁴⁵

Questa costruzione pone un problema di non immediata comprensione e soluzione.

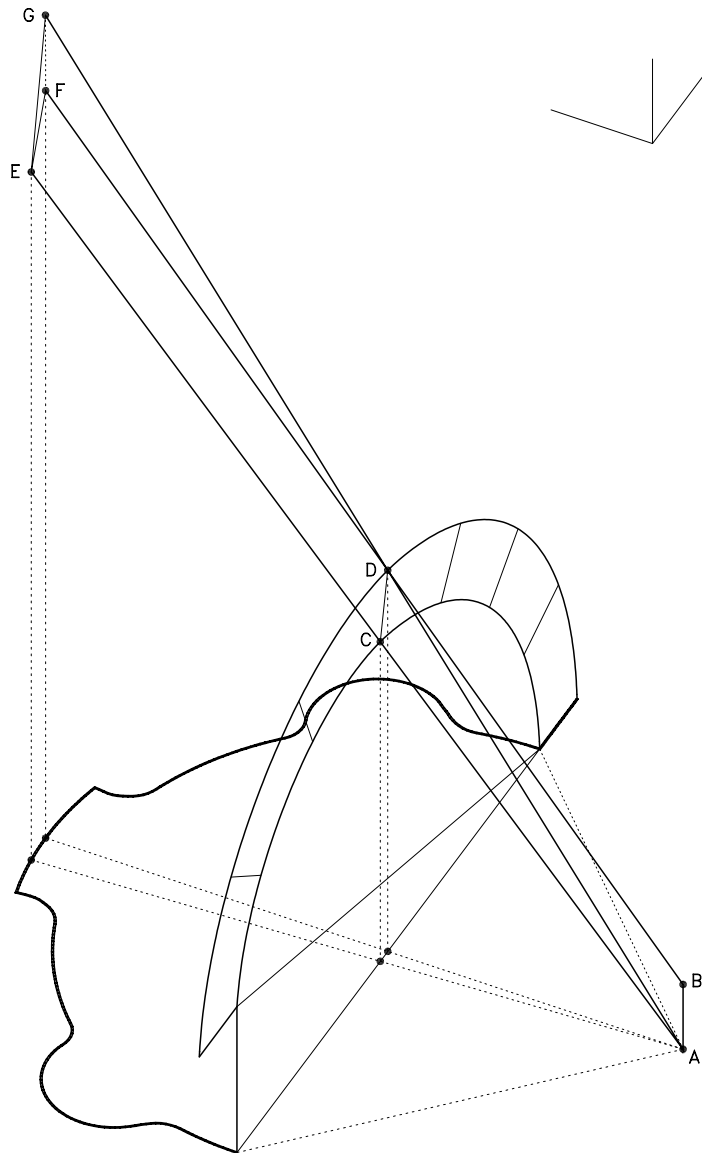
Evidentemente, con quei tratti, Delorme intende sottolineare che lo spessore dei conci è uguale per tutta la loro lunghezza, dal bordo sin verso il vertice *A* (anche se, va sottolineato, le larghezze dei cartoni di giunzione, e dunque le altezze dei conci, sono una diversa dall'altra). D'altro canto, tutta la descrizione del metodo è basata sul presupposto che i giunti siano piani.

Ma se queste due assunzioni sono vere, e tutto concorre a dimostrarlo, allora i cartoni di giunzione si disporranno nelle tre dimensioni come è mostrato nella figura B-1; vale a dire tutti con un punto inferiore in comune, il punto *A*, e nessun punto superiore in comune, dato il loro dispiegarsi a raggiera e il loro inclinarsi per seguire le convergenze dei piani che li contengono verso i due poli descritti nella figura B-2.

Dunque, se il metodo per trovare lo sviluppo della superficie inferiore della volta prevede l'uso di un unico polo di sviluppo (il punto *A*), è evidente che lo stesso metodo non può essere applicato per trovare lo sviluppo della superficie superiore (l'estradosso), dato che in quel caso non esiste un unico polo di sviluppo.

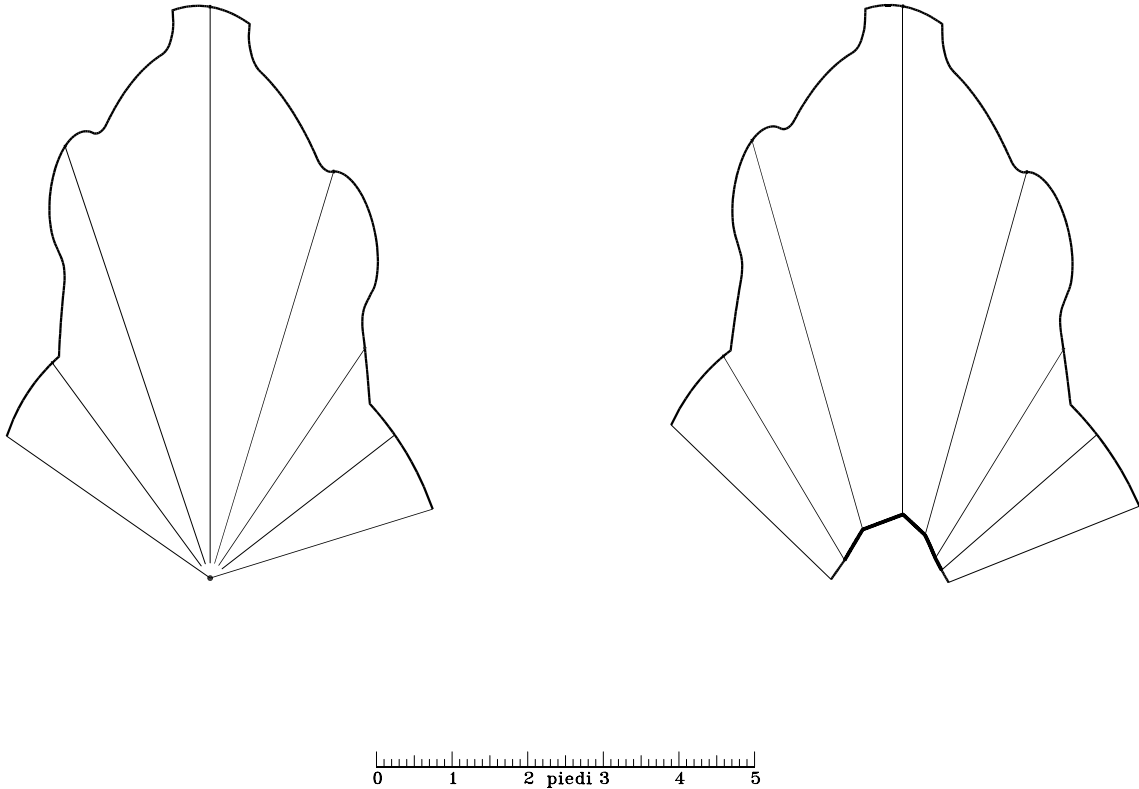
Né è possibile definire poli superiori di sviluppo diversi per ogni concio: infat-

Figura B-3. Dimostrazione dei diversi spessori dei conci ottenuti usando due distinti poli di proiezione e sviluppo, A e B. L'immagine illustra le modalità di reperimento delle proiezioni dei punti C e D sul bordo della volta (da notare che le verticali per E, F e G cadono sulla pianta della trompe). Il segmento AE rappresenta il bordo inferiore del cartone, trovato con il metodo illustrato da Delorme nel suo trattato. Il bordo superiore può essere reperito almeno in due modi. Il primo prevede di usare ancora una volta il punto A come polo di sviluppo: in questo caso il segmento AG rappresenta il bordo superiore del concio, oppure, fissato il punto G, si traccia una parallela ad EA per G, ottenendo così un giunto con bordi paralleli. Il secondo metodo prevede invece di usare un altro polo di proiezione, ad esempio B, posto a quota superiore rispetto ad A, ottenendo in tal caso il punto F. La retta BF risulta molto meno inclinata di GA rispetto alla retta EA. Da notare però che, se B è posto sulla verticale di A, il giunto non sarà piano: perché questo avvenga è dunque necessario che il punto B si trovi sul piano per i punti A, C e D.



ti ogni faccia di un giunto di unione deve trovare una sua identica faccia nel concio adiacente e dunque l'uso di poli diversi e non coordinati tra loro renderebbe impossibile definire cartoni di giunzione uguali per le due facce adiacenti di due conci vicini.

La mancanza di un unico polo di sviluppo rende quindi difficoltosa anche la definizione degli andamenti dei cartoni di giunzione sopra il punto A: se infatti essi sono perfettamente determinati sull'intradosso, sulla testa e se, per costruzione, i due bordi longitudinali sono paralleli tra loro, non è invece chiaro l'andamento del loro quarto lato, quello appunto che congiunge il punto A con il bordo dell'estradosso. Probabilmente non per caso Delorme, pur se di norma prodigo di disegni (in più occasioni presentati addirittura due volte), non illustra né quella parte dei cartoni di giunzione (lasciati incompleti nella figura A-3) e nemmeno lo sviluppo dell'estradosso, dedicandovi solo alcune parole per dire che si produce nella stessa maniera del cartone di sviluppo dell'intradosso. La spiegazione di questa mancanza può essere valutata in vari modi: il mantenimento di un piccolo segreto di lavorazione, la scarsa importanza di questo punto che non meritava una particolare attenzione (vista anche la probabile presenza di un *trompillon* sul vertice della volta), infine la possibile difficoltà di



spiegare e risolvere il problema per mezzo di quei grafici e quei metodi: è infatti necessario trovare le rette di intersezione di piani genericamente disposti nello spazio.

L'unica soluzione plausibile a questo piccolo dilemma è probabilmente quella adottata dallo stesso Delorme, anche se egli non ne parla esplicitamente:

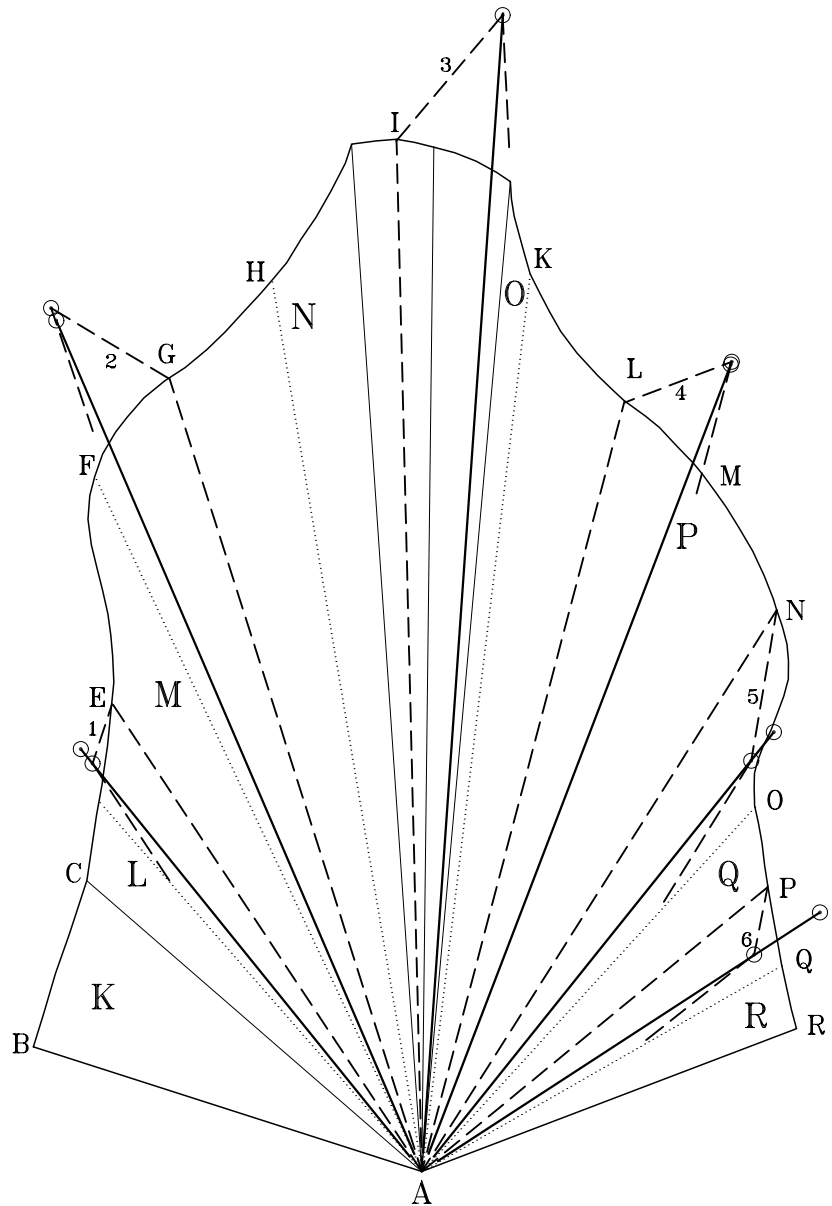
1) Usare, anche per il cartone dell'estradosso, il punto *A* come polo di sviluppo per trovare il contorno esterno del cartone. Questo evidentemente comporta che tanto più distante da *A* è il punto di giunzione sul bordo della volta, tanto più spesso sarà il concio: è questo il motivo per il quale gli spessori dei conci sono tutti molto diversi tra loro, mentre nel caso di un unico polo di sviluppo per l'estradosso essi sarebbero stati molto più uniformi, anche se non necessariamente uguali (vedi figure B-3..5). D'altra parte è logico supporre che conci di lunghezza maggiore debbano essere caratterizzati da maggior spessore: pertanto questo espediente ben si presta alle necessità statiche della volta.

2) Adoperare, per il taglio dei conci, solo i cartoni dell'intradosso, di giunzione e di testa; questi ultimi ottenuti, per quanto riguarda il loro bordo superiore, con la costruzione del punto precedente. Usare dunque il punto *A* come polo per trovare compiutamente i cartoni di testa e non quelli dell'estradosso. In realtà i cartoni dell'estradosso non sono necessari per il taglio, a patto però di conoscere la giacitura, rispetto all'intradosso, dei cartoni di giunzione e di testa.

In ogni caso, dai dati appena visti è infatti sempre possibile ricavare i cartoni dell'estradosso, anche senza l'appoggio di un polo di sviluppo: una volta armati e composti tra loro i cartoni dell'intradosso, di giunzione e di testa, si potrà senz'altro sia trovare il quarto lato dei cartoni di giunzione oppure i cartoni per il *trompillon* (decidendo a piacere l'inclinazione da dare alle teste interne dei conci, verso il vertice o lo stesso *trompillon*), sia sovrapporre al tutto un cartone, da ritagliare sui bordi già definiti, per usarlo poi nel taglio dell'estradosso. Poiché, però, l'estradosso non risulta visibile nella costruzione definitiva, il taglio di quella superficie non è in nessun caso esiziale.

*Figura B-4. Confronto tra i pannelli di sviluppo dell'estradosso, ottenuti entrambi per mezzo del programma Trompe. Il pannello di sinistra è ottenuto usando il punto *A* come polo di sviluppo anche per il cartone dell'estradosso. Quello di destra è invece ottenuto con l'uso di poli superiori coordinati per lo sviluppo dell'estradosso e prevede che gli spessori dei conci siano costanti (anche se non necessariamente uguali tra loro).*

Figura B-5. Confronto tra cartone di sviluppo dell'estradosso ottenuto dal programma Trompe (usando il vertice A come polo di sviluppo, immagine a sinistra della figura precedente) e grafico originale del trattato. Sul disegno originale sono stati riportati i segmenti calcolati dal programma (in linea continua). Si può notare che, per i conci 1 e soprattutto 5 e 6, le differenze non sono affatto trascurabili. D'altra parte le quasi perfette corrispondenze dei valori relativi ai conci 3 e 4 garantiscono che Delorme ha veramente utilizzato il vertice A come polo di sviluppo anche per l'estradosso.

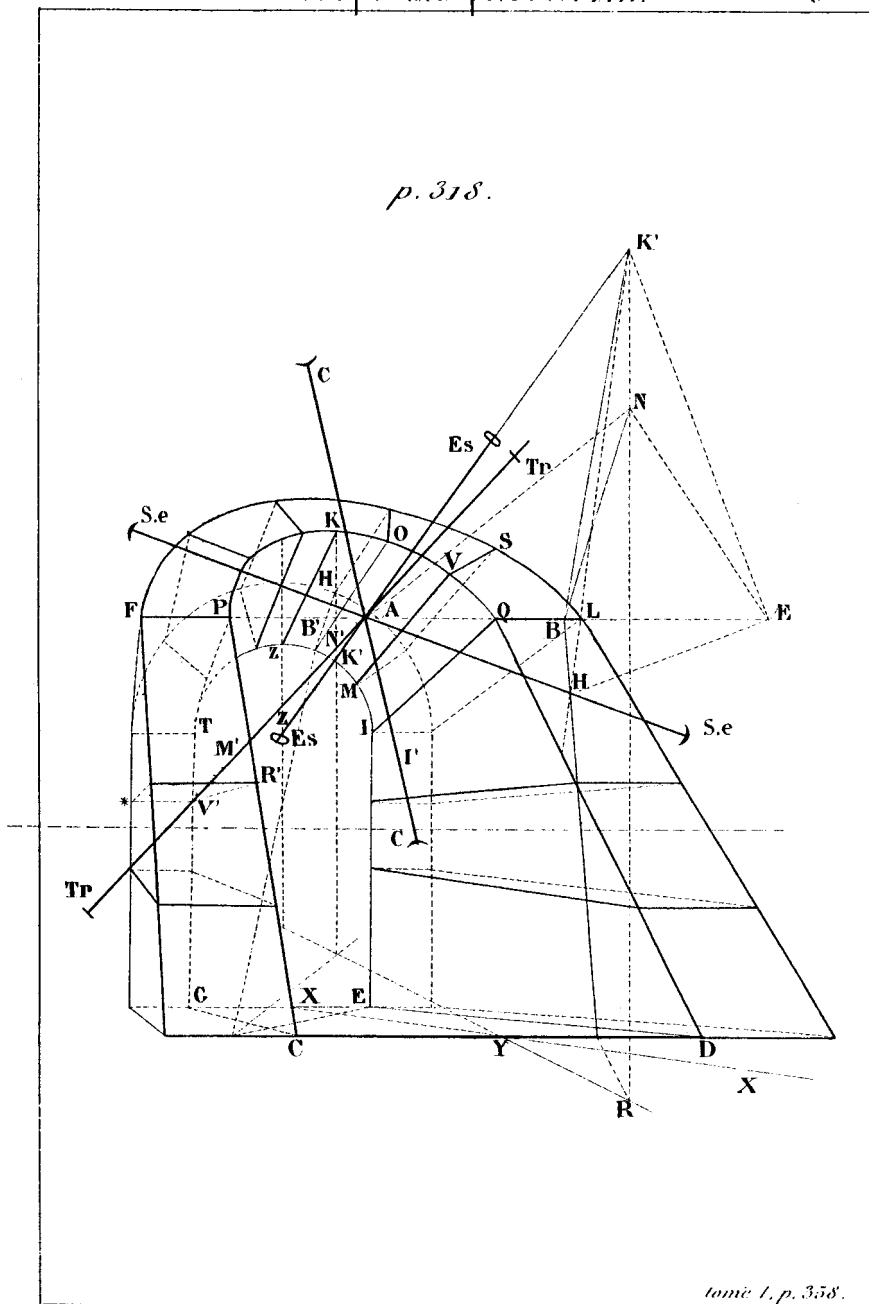


Questi due ultimi grafici (sviluppo frontale e dell'intradosso della volta rampante) si rivelano necessari anche per l'eventuale costruzione di un modello della *trompe*, sia questo in legno flessibile o cartone. Infatti, mentre il cartone dell'intradosso non sarebbe da solo sufficiente, potendo assumere le più varie curvature, unito invece al primo, che definisce le altezze in ogni punto e l'andamento dei tagli dei conci, fissa definitivamente la curvatura della volta e la sua inclinazione rispetto al piano orizzontale. Le linee *de pente* (i lati inclinati dei trapezi posti a destra della figura A-1) possono così essere usate per creare dei setti verticali, disposti a raggiera e con un vertice comune in A, a sostenere in modo corretto il cartone dell'intradosso. Infine, il grafico relativo allo sviluppo frontale rende anche conto del disporsi nelle tre dimensioni dei pannelli di giunzione tra i conci: probabilmente è questo l'aspetto più delicato, poiché ogni concio, tagliato separatamente dagli altri, doveva poi combaciare perfettamente con i conci vicini. L'intero metodo, apparentemente così oscuro e complesso, è dunque facilmente spiegabile ed ingegnosamente racchiuso in un solo grafico; il quale genera poi gli altri due, necessari per il taglio dei conci e per la costruzione del modello.

Coupe des pierres. Pl. I.

9

Figura C-1. Poudra, Ouvres de Desargues, tavola I, p. 358. Ricostruzione della figura 4-2, tratta dal Brouillon project... di Desargues.

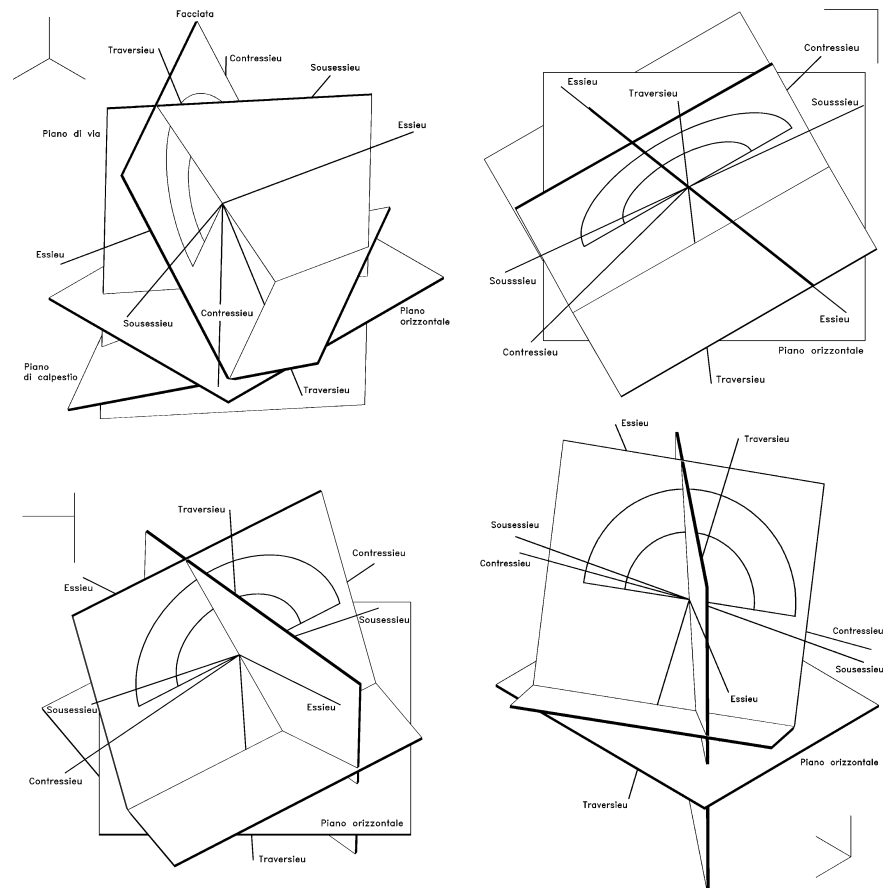


Appendice C. Ricostruzione del metodo proposto da Girard Desargues

Nella figura C-1, tratta dal commento del Pudra all'opera di Desargues,⁴⁶ si possono individuare cinque piani principali:

- 1) Il piano orizzontale o *de niveau CDR*.
- 2) Il piano di facciata, che taglia il primo in CD , *l'alignement nivelée*.
- 3) Il piano di calpestio $CDGE$, o *plan de chemin*.
- 4) Il *plan de route*, o piano di via: un piano verticale, passante per $KZXYR$, parallelo ai piedritti e contenente l'asse della volta. La traccia YR sul piano orizzontale è la *route nivelée* e XY , traccia sul piano di calpestio, è la *route au chemin* o *chemin*.
- 5) Infine, un piano ausiliario anch'esso perpendicolare al piano orizzontale ed a quello di facciata: le intersezioni tra questo piano ed i primi tre servono per calcolare gli angoli che questi stessi piani for-

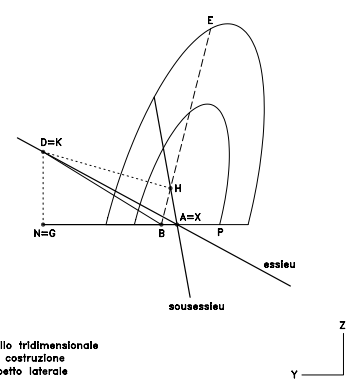
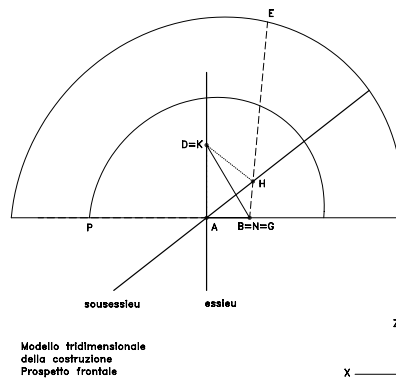
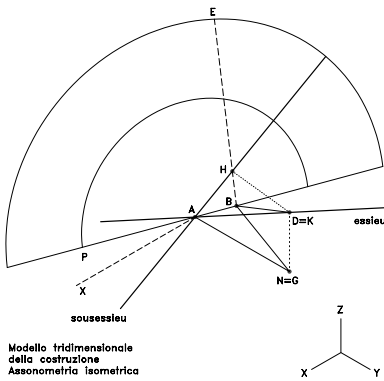
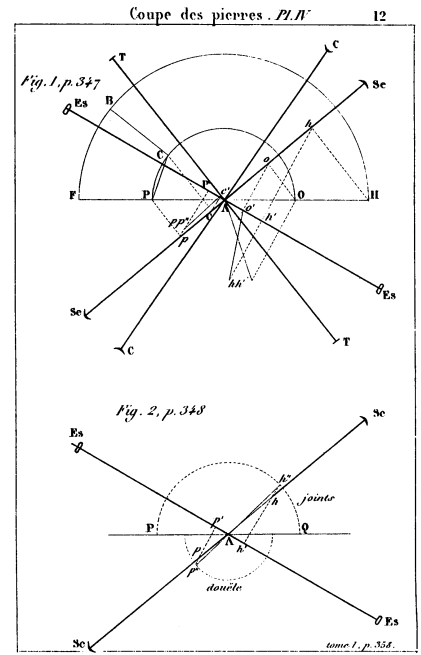
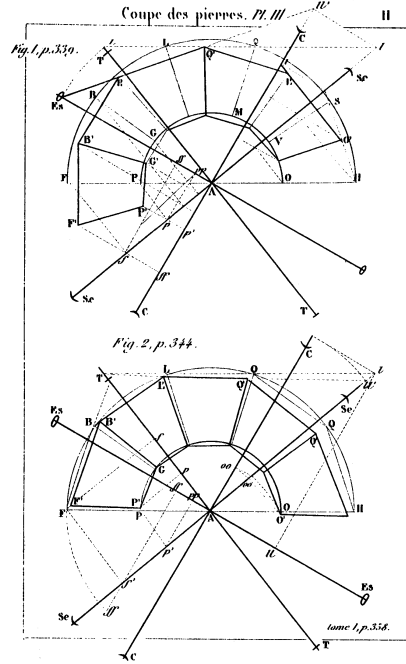
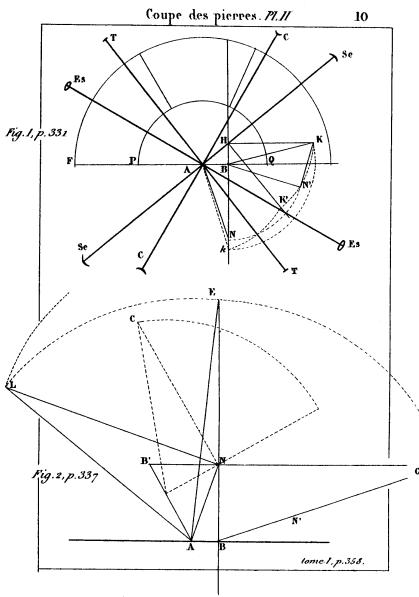
Figura C-2. Assonometrie e pianta dei piani indicati da Desargues, con l'indicazione della posizione dell'essieu (l'asse del berceau), del sousessieu (la proiezione dell'essieu sul piano di facciata, eseguita perpendicolarmente al piano stesso), del traversieu (posto sul piano di facciata e perpendicolare al sousessieu) e del contressieu (posto su di un piano che contiene l'essieu ed il sousessieu e perpendicolare all'essieu), l'unica retta che non appartiene a nessuno dei piani mostrati in figura.



mano tra loro. Le loro intersezioni si trovano sulla verticale $K'NR$. La retta AK' è l'asse della volta, l'*essieu* Es . Se da un qualsiasi punto K' di questo asse si abbassa in H una perpendicolare al piano di facciata, la retta AH sarà il *sousessieu* Se : la proiezione dell'asse sul piano di facciata, eseguita ortogonalmente al piano stesso, con $K'AH$ che misura l'angolo tra questo e l'*essieu*. Il piano verticale e perpendicolare anche alla facciata, passante per $K'N$, taglia il diametro della volta in B : BH è dunque la traccia dell'intersezione di questo piano con quello di facciata. Infine, il *traversieu* Tr è una retta, posta sul piano di facciata, perpendicolare al *sousessieu*; mentre il *contressieu* C , posto sullo stesso piano che contiene l'*essieu* ed il *sousessieu*, è perpendicolare all'*essieu* (vedi figura C-2).

I cinque piani possono traslare liberamente nello spazio: in tal senso sia la retta PQ , sia la CD , possono rappresentare l'intersezione dei primi tre piani: l'orizzontale, di facciata e di calpestio.

Desargues propone di nominare *essier* il piano che contiene l'*essieu*, il *sousessieu* ed il *contressieu* (il piano XY della figura 28) e *traversier* il piano sul quale giacciono l'*essieu* ed il *traversieu* (il piano YZ della stessa figura). Inoltre il piano che contiene il *traversieu* ed il *contressieu* e che è anche perpendicolare all'*essieu* è detto *plan droit a l'essieu* (il piano XZ) e contiene l'*arc droit*, la sezione del *berceau* compiuta con un piano perpendicolare all'asse. Il taglio segue una curva, detta appunto *arc droit* o *cintre*, sulla quale tutti i pannelli di giunzione sono ad angolo retto poiché il piano che la contiene è perpendicolare all'asse. Lo stesso Desargues dice: "lo scopo di questo metodo consiste, nel saper trovare, per mezzo degli angoli dati, l'inclinazione dell'*essieu* rispetto al piano di facciata e la sua giacitura



rispetto all'alignement nivelée".⁴⁷

Se la prima tavola è in prospettiva, le altre (vedi figure C-3..5) sono tutte in proiezione ortogonale e contengono numerosi ribaltamenti di piani. Per meglio comprendere le costruzioni di quelle tavole è forse utile riferirsi alle figure C-6..13, che mostrano le stesse costruzioni proiettate su altri piani o in assonometria. Nelle figure C-6..13, il piano per i punti X, A, N è orizzontale. I punti P, B e G appartengono al piano XAN. Il punto G coincide, nello modello tridimensionale, con il punto N. Il piano EBG è verticale e perpendicolare all'asse PAB. I punti D, H e K appartengono al piano per EBG. Il punto K coincide con il punto D. I punti P, A, B, H, E appartengono al piano della faccia. Gli angoli PAX e ANB sono uguali tra loro e indicano l'entità della rotazione, rispetto all'asse X, dell'asse PAB attorno al polo A e rispetto all'asse verticale Z.

Le figure C-3..5 si riferiscono a specifici problemi posti in sequenza. Il primo (figura C-3, grafico in alto) "trovare l'angolo di inclinazione dell'essieu rispetto al piano di facciata e la sua giacitura". In quel grafico, in proiezione ortogonale alla facciata, l'essieu è ribaltato sul piano di facciata adottando il sousessieu come cerniera. L'angolo BAN definisce l'inclinazione - misurata sul piano orizzon-

Figura C-3, in alto a sinistra. Poudra, Ouvres de Desargues, tavola II, p. 358. Vedi anche figure C-6..16.

Figura C-4, in alto al centro. Poudra, Ouvres de Desargues, tavola III, p. 358. Vedi anche figure C-6..16.

Figura C-5, in alto a destra. Poudra, Ouvres de Desargues, tavola IV, p. 358. Vedi anche figure C-6..16.

Figura C-6, in basso a sinistra. Assonometria ortogonale isometrica del modello tridimensionale relativo alla costruzione del trait della tavola 25 di Bosse (vedi figure C-3..5, C-7..10, 4-7).

Figura C-7, in basso al centro. Prospetto frontale del modello tridimensionale relativo alla figura C-6.

Figura C-8, in basso a destra. Prospetto laterale del modello tridimensionale relativo alla alla figura C-6.

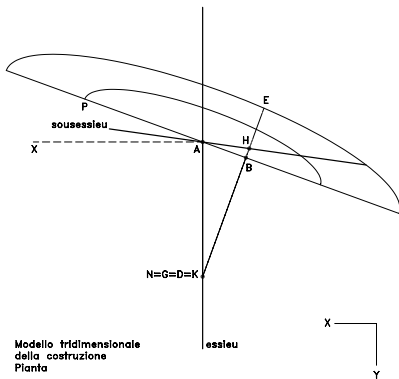


Figura C-9, in alto. Pianta del modello tridimensionale relativo alla figura C-6.

Figura C-10, pagina successiva. Vista in proiezione ortogonale, su un piano parallelo alla faccia della volta, del modello tridimensionale relativo alla figura C-6. L'essieu ed il sousessieu sono sovrapposti nella proiezione.

Figura C-11. Asonometria ortogonale isometrica della costruzione delle figure C-12 e C-13 (vedi figura C-3). L'essieu AK' è dunque ribaltato sul piano della faccia attorno al sousessieu AH, che appartiene al piano della faccia.

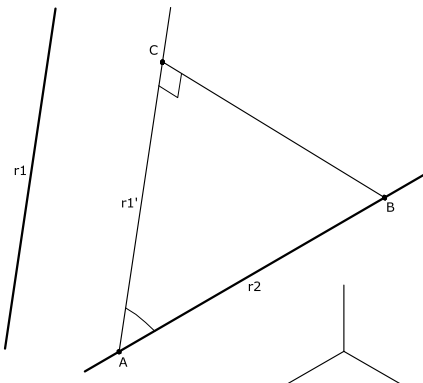
Figura C-12. Il segmento AN (proiezione dell'asse sul piano XY), ruotato attorno a PA fino a portarlo sul piano della faccia, è qui rappresentato come AN' (proiezione come in C-10).

Figura C-13. I segmenti BG e BD vanno ruotati attorno a BE (il punto E appartiene al piano verticale per B e per G), anch'essi fino a portarli sul piano della faccia (proiezione come in C-10).

Figura C-14. Asonometria ortogonale isometrica che illustra il grafico posto in alto nell'immagine C-4. In linea tratteggiata le rette non appartenenti al piano di facciata. I ribaltamenti sono stati effettuati usando il sousessieu come cerniera. I punti F reale e P reale giacciono su di un piano ortogonale all'asse reale e passante per A e rappresentano le proiezioni ortogonali di F e P su quel piano.

Figura C-15. Asonometria ortogonale isometrica che illustra il grafico posto in basso nell'immagine C-4. In linea tratteggiata le rette non appartenenti al piano di facciata. I ribaltamenti sono stati effettuati usando il sousessieu come cerniera. I punti F reale e P reale giacciono su di un piano ortogonale all'asse reale e passante per A e rappresentano le proiezioni ortogonali di F e P su quel piano. Nello spazio la distanza p'pp è pari a quella tra p e P reale.

Figura C-16, in basso. Metodo per reperire l'angolo tra due rette generiche r1 ed r2. L'angolo ACB è retto, r1' è parallela a r1, i punti A, B, C individuano un piano sul quale giace il triangolo rettangolo ABC, dove AB è l'ipotenusa. BAC è l'angolo tra le rette su quel piano.



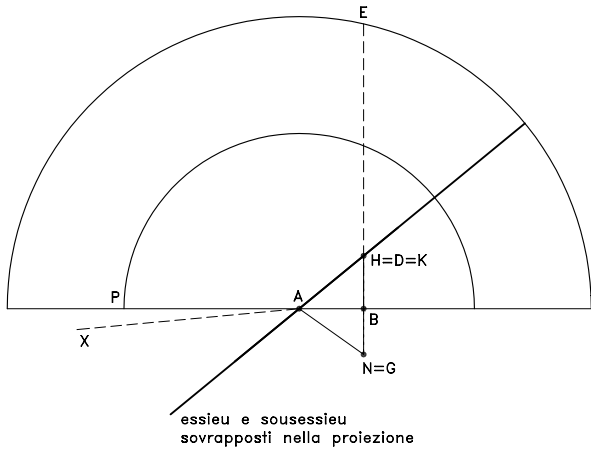
tale - del piano di facciata rispetto al piano verticale che contiene l'asse della volta, mentre la retta AH rappresenta la proiezione dell'asse sul piano di facciata e, pertanto, il sousessieu (vedi anche figure C-6, C-9, C-11). Dunque, l'angolo HAK rappresenta l'inclinazione dell'asse rispetto alla facciata, misurata sul piano che contiene l'asse stesso e ortogonale alla facciata.

Il secondo problema (figura C-3, grafico in basso) intende "trovare gli angoli dei giunti e l'arête dei piedritti". In questo grafico il piano orizzontale è ribaltato su quello di facciata attorno ad AB. Il segmento AE rappresenta pertanto l'arête ribaltato e dunque EAB è l'angolo tra l'arête e l'orizzontale AB, l'alignment nivelée: l'angolo cercato è LAN.

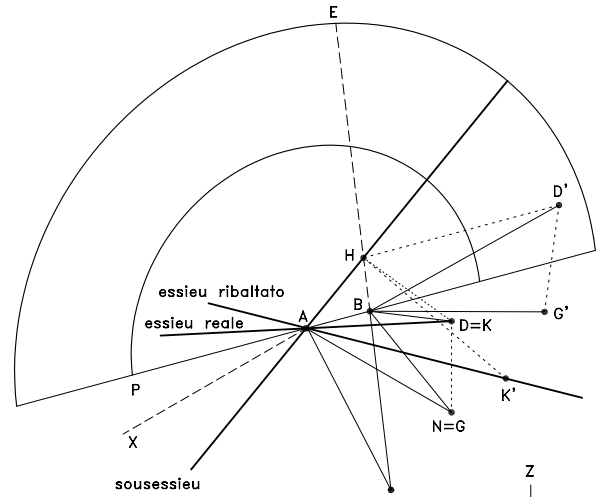
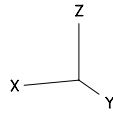
Il terzo (figura C-4) mostra come "trovare l'arc droit in due modi diversi". Fissati gli assi principali, il problema consiste nel definire l'intersezione tra un cilindro, avente per asse l'essieu, ed un piano perpendicolare all'essieu, che pertanto contiene oppure è parallelo al traversieu ed al contressieu (vedi anche figura C-2). Se P è un generico punto appartenente alla facciata, si tratta dunque di trovare l'intersezione tra quel piano ed una parallela all'essieu condotta per P. Il cartone F'P'C'B' (figura C-4, grafico in alto) è in tal senso trovato abbassando delle perpendicolari al sousessieu rispettivamente da F, P, G, B e facendo passare delle ortogonali al contressieu (ribaltato anch'esso sul piano di facciata) per i punti così trovati (ad esempio f e p). Su queste rette, ad esempio da ff e p', si riportano lunghezze pari alle distanze dei punti originari rispetto al sousessieu: dunque, ffF'=Ff, p'P'=Pp e così via. Infatti, nello spazio, la distanza PP' tra il punto P ed il piano perpendicolare all'asse e passante per A è esattamente pari a pp' (figura C-14). Nel grafico in basso della figura C-4 costruzioni analoghe definiscono lo stesso arc droit. In questo caso, ad esempio per il punto P, si abbassa una perpendicolare sul sousessieu (ribaltato) in p' ed una sul traversieu in p. Dal punto p' si abbassa poi in pp la perpendicolare all'asse ribaltato e si riporta la distanza p'pp da p su P'. Infatti, nello spazio, il triangolo PP' reale p (rettangolo in P' reale, vedi figura C-15) ha l'ipotenusa Pp giacente sul piano di facciata, il cateto PP' reale ortogonale al piano a sua volta ortogonale all'asse ed infine il cateto pP' reale pari alla distanza p'pp.

Nel primo caso, dunque, il ribaltamento avviene usando come cerniera il contressieu, a sua volta ribaltato, nel secondo è invece usato il traversieu come cerniera di ribaltamento.

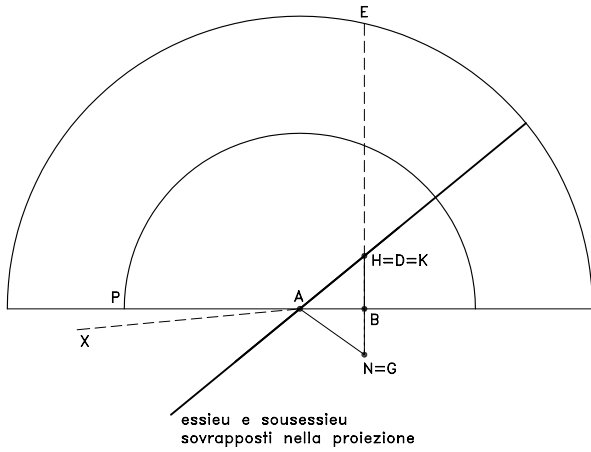
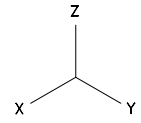
Infine, il quarto problema (figura C-5) indica come "trovare gli angoli dei cartoni de coussinet de doüele et de joint". Anche in questo caso è calcolata la doüele plate, sostituendo le corde agli archi: l'intento è dunque di calcolare l'angolo tra le corde e i segmenti di giunzione tra i conci. Nel grafico in alto P'c' è la proiezione di PC sull'asse Es. Volendo trovare l'angolo tra due rette generiche, si conduce per un punto dell'una la parallela all'altra e per un altro punto della stessa retta una perpendicolare a questa parallela (figura C-16). Dunque, se P'c' è la proiezione di PC - se si forma il triangolo rettangolo pp'P'c', nel quale l'ipotenusa c'pp' è uguale a PC - allora P'c'pp' sarà l'angolo tra PC ed una parallela all'asse.



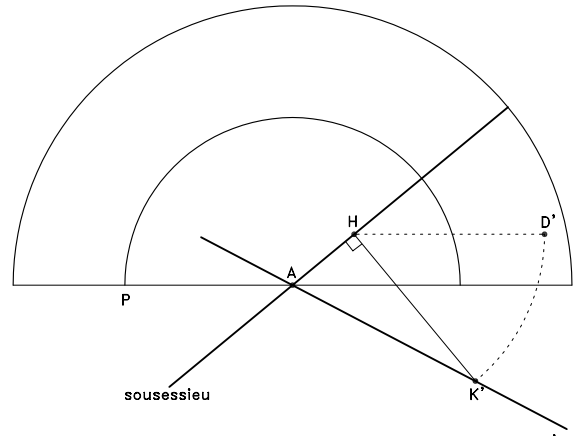
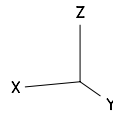
Modello tridimensionale della costruzione
Proiezione parallela
su di un piano
parallelo al piano della faccia



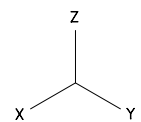
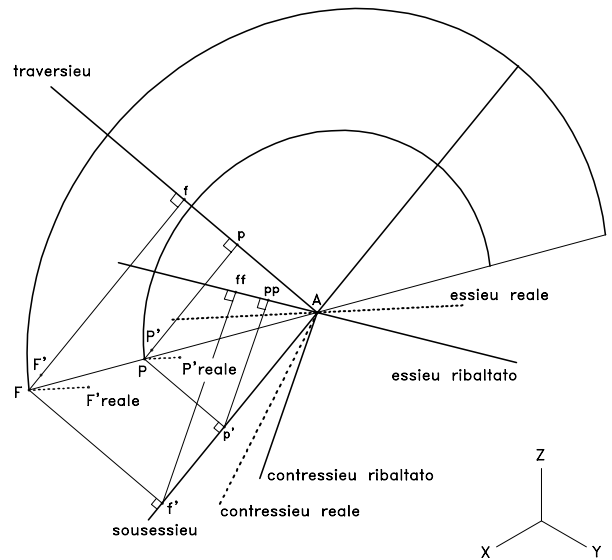
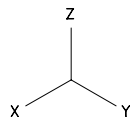
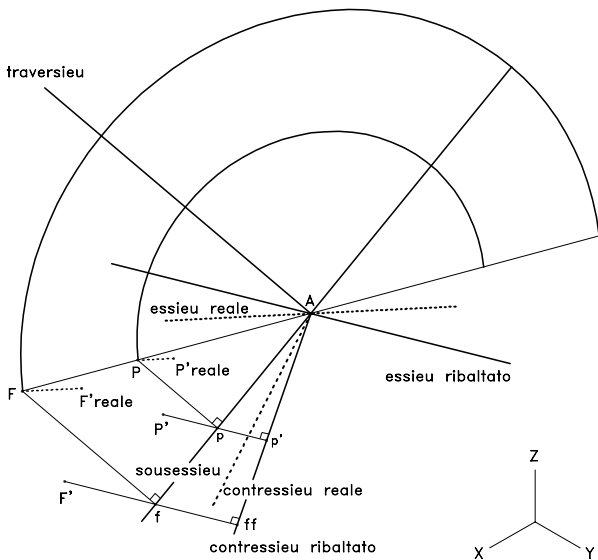
Modello tridimensionale della costruzione
Assonometria isometrica



Modello tridimensionale della costruzione
Proiezione parallela
su di un piano
parallelo al piano della faccia



Costruzione bidimensionale di A. Bosse, fase 2



Note

1. L'*épure* è un grafico in scala naturale, eseguito di norma su di una superficie orizzontale o verticale, con funzione di riferimento per il taglio e la dislocazione dei conci di pietra di un arco, una volta o una colonna. In molti casi il grafico era eseguito direttamente sulla superficie da scolpire oppure sullo stilobate o sulle pareti di un tempio, per definire forma, posizione ed entasi delle colonne: quasi sempre l'*épure* veniva pertanto cancellato o ricoperto dalle successive lavorazioni. Si veda l'esempio del tempio di Apollo a Didime - in Asia Minore, databile attorno al III secolo a.C. - il quale presenta vaste aree ancora ricoperte di fitti tracciati costruttivi, sia in scala 1:16 sia in scala naturale. In essi, in particolare, si possono riconoscere i profili della base ed una serie di sezioni del fusto di due colonne, comprendenti anche le scanalature. Altri tracciati riguardano, con ogni probabilità, la progettazione del frontone e sezioni semplificate della trabeazione. Vedi: Lothar Haselberger, *The Construction Plans for the Temple of Apollo at Didyma* in «Scientific American» vol. 253, n. 6, dicembre 1985, pp. 114-122 (traduzione italiana: *I progetti di costruzione per il tempio di Apollo a Didime*, in «Le Scienze» n. 210, febbraio 1986); Lothar Haselberger, *Werkzeichnungen am Jüngerem Didymeion. Vorbericht*, in «Istanbuler Mitteilungen» 30 (1980), pp. 191-215; Lothar Haselberger, *Bericht über die Arbeit am Jüngerem Apollontempel von Didyma*, in «Istanbuler Mitteilungen» 33 (1983), pp. 90-123. Lo stesso autore ha anche recentemente studiato dei disegni incisi sul selciato antistante il Mausoleo di Augusto, a Roma. Secondo l'autore quei disegni erano in realtà degli *épure*, usati per la costruzione della facciata del Pantheon. Vedi Lothar Haselberger, *Un progetto architettonico di 2000 anni fa*, in «Le Scienze» n. 324 (agosto 1995) e Lothar Haselberger, *Ein Giebelriss der Vorhalle des Pantheon die Werkrisse vor dem Augustusmausoleum*, in «Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung» 101 (1994), pp. 279-308. Per quanto riguarda i capitelli hatoriani di Abou-Fedah, si veda *Description de l'Égypte*, Paris 1809-1822, vol. IV, tav. 62.
2. Vi sono molti altri esempi di questo tipo. Il papiro n. 11775, conservato al Museo di Berlino, mostra il prospetto frontale e la pianta di una sfinge, entrambi quadrettati. Evidentemente il disegno doveva poi essere riportato sulla pietra per il taglio. Infatti, nello stesso Museo (cat. 975) e nel Museo di Amsterdam (cat. 101), vi sono esempi di sfingi con superfici incompiute e ancora quadrettate. Vedi Elke Roik, *Das Längenmaßsystem im alten Ägypten*, Christian-Rosenkrenz-Verlag, Hamburg 1993, pp. 176-82.
3. Forse la migliore spiegazione - non tanto del termine *trait* (in sé è semplicemente un grafico), quanto di ciò che il *trait* sottende; quella che giunge immediatamente al punto e ne fa comprendere la geometrica potenza, ed anche la più semplice - la fornisce Philippe de La Hire: "Gli operai chiamano la scienza del *trait*, nel taglio della pietra, quella che insegna a tagliare e costruire separatamente più conci di pietra, in modo tale che, quando siano composti assieme nel modo opportuno, questi costituiscono un manufatto che può considerarsi come un tutt'uno". Philippe de La Hire, *Traité de la coupe des pierres*, f. 1.
4. Il papiro matematico Rhind (risalente al 1650 a.C. circa e conservato in due parti presso il British Museum, inv. BM 10057-8, e in alcuni frammenti presso il Brooklyn Museum, inv. 37.1784E), prende il nome dal suo primo proprietario moderno, Alexander Henry Rhind che lo acquistò a Luxor negli anni tra il 1855 e il 1857. Tra i molti problemi geometrici contenuti nel papiro, quattro (dal numero 56 al 59) si riferiscono chiaramente alla ricerca dell'inclinazione di una piramide. L'inclinazione era determinata come un numero puro, ottenuto dallo spostamento orizzontale di n palmi per ogni innalzamento di un cubito (1 cubito reale egizio = 7 palmi). Un *seked* pari a 7 equivale pertanto ad una inclinazione di 45 gradi. Vedi Gay Robins; Charles Shute, *The Rhind Mathematical Papyrus*, British Museum Publications, London 1987 (succ. 1990).
5. L'*ostrakon* (risalente al 3000-2700 a.C.), ritrovato nel 1925 presso la piramide a gradoni di Saqqara, misura circa 15 x 17.5 x 5 cm ed è conservato presso il Museo Egizio del Cairo. In corrispondenza delle ordinate verticali sono riportati dei valori numerici che con ogni probabilità si riferiscono alle altezze della volta in quel punto. Vedi Max Hoberman, *Two Architects' Sketches*, in «Journal of the Society of Architectural Historians» vol. XLIV, n. 4 (1985), pp. 380-3 ed inoltre, per una disamina complessiva delle rappresentazioni architettoniche egizie e dei metodi di taglio della pietra in quel periodo, Dieter Arnold, *Building in Egypt*, Oxford University Press, New York e Oxford 1991, pp. 7-56.
6. "On dit couper du *trait* pour exprimer l'étude que l'on fait avec de la craie, du plâtre ou autre matière facile à couper, qu'on taille en petits voussoirs de la même manière que si on exécutoit une voûte en grand, pour apprendre à joindre la théorie à la pratique, & concevoir plus facilement l'effet des Traits dont on s'est servi, soit aussi pour sentir le plus ou le moins de commodité des différentes manières qu'on a inventé en se servant des panneaux ou en taillant par équarrissement". Frézier, *La Théorie*, Volume 1, Glossario, voce *Trait*, pp. 408-9. Per ulteriori precisazioni sui metodi di taglio *par panneaux* - o meglio *par biveaux* - e *par équarrissement* si vedano le sezioni successive.
7. Nei testi proposti in bibliografia compaiono, per il cognome, almeno sei versioni: Delorme, De L'Orme, De l'Orme, de l'Orme, De Lorme ed infine anche de Lorme. Qui si userà la più semplice: Delorme. Per quanto riguarda i termini riportati, di norma, si userà invece la stessa forma dell'originale.
8. Delorme stesso torna più volte sulla necessità di usare il modello d'architettura (si veda, ad esempio, Delorme, *Premier tome de l'architecture*, I Libro, Capitoli VIII-XII, ff. 19v.-24v.). Al riguardo si veda anche il saggio di Massimo Scolari "L'idea del modello" in «Eidos» n. 2 (1988), Asolo Arti, pp. 16-39.
9. Nelle *trompe* simili a quella di Anet, un altro importante parametro di variazione è dato dalla posizione del vertice della *trompe* stessa. Si veda la sezione 4 per un confronto tra alcuni esempi di diverse *trompe*, tutte ottenute con piccole variazioni della posizione del vertice rispetto alle sezioni.
10. "Quand il y a quelque difformité, communément les Maçons, pour n'entendre l'artifice des dicts traicts, ils font les voûtes de brique ou de moilon, & de pierres menues, plustost que de pierre de taille, pour n'avoir point l'industrie de les y accommoder, & sans y espargner le plus souvent de grandes barres de fer, pour soutenir leurs Maçonneries, de peur quelles ne tombent; qui est une tres-mauvaise coutume & façon, pour les raisons que nous avons dictes ailleurs". Delorme, *Premier tome de l'architecture*, f. 68r.
11. Villard de Honnencourt, *Disegni*, manoscritto, Bibliothèque Nationale Paris (ed. it. a cura di AA.VV., Jaca Book, Milano 1988). Il quaderno risale alla prima metà del Duecento, ma vi furono poi molte aggiunte nella seconda metà del secolo. Al riguardo si veda anche: Lalbat, Margueritte, Martin, *De la stéréotomie médiévale: la coupe des pierres chez Villard de Honnencourt*, pp. 387-406.
12. Matthäus Roritzer, *Das Büchlein von der Fialen Gerechtigkeit*, Regensburg, 1486 (nuova ed. a cura di F. Geldner, 1965; ed. it. in F. Borsi, *Per una storia della teoria delle proporzioni*, Firenze 1967).

13. La stereotomia (dal greco στερεός, solido e τομή, taglio) è la scienza del taglio dei solidi; ed usa le proiezioni geometriche per la determinazione della forma e delle dimensioni dei conci di pietra che costituiscono archi, volte o cupole. Dunque non la semplice preparazione di conci in pietra, di origine assai più lontana nel tempo, ma l'insieme di procedure geometriche codificate, coerenti e ripetibili, atte a progettare ed a rappresentare interi edifici, o parti di essi, costruiti in pietra. È Jacques Curabelle ad usare per la prima volta il termine *stereotomia*, nel suo libello del 1644 contro Desargues: *Examen des oeuvres du Sieur Désargues*. La stereometria (da μέτρον, misura) è invece quella parte della geometria che ha per oggetto la misurazione delle figure solide, mentre la stereografia (da γραφή, disegno) è la tecnica che consente di rappresentare i solidi su un piano.

Per Frézier (*La théorie et la pratique...*, Libro I, *Second discours preliminaire*, pp. VIII-IX), la scienza della *coupe des pierres* si può ricondurre a:

- Conoscere le curve date dalla sezione di solidi concavi e convessi tagliati da superfici piane o curve (*Tomographie*);
- Descrivere e rappresentare queste linee su superfici piane o curve (*Tomographie*);
- Rappresentare i solidi e le loro suddivisioni sia per mezzo di proiezioni ortogonali in pianta (*Ichnographie*) o in alzato (*Ortographie*); sia sviluppandone le superfici (*Epipedographie*); sia, infine, misurando gli angoli tra le superfici stesse (*Goniographie*).

14. Si veda, ad esempio, Jean Pélerin Viator, *De artificiali perspectiva*, Toul 1505 e, soprattutto, Jean Cousin il Vecchio, *Livre de perspective*, Paris 1560.

15. «*Quand il se trouve une muraille qui va obliquement ou de travers, quasi comme la diagonale d'un carré [...] on y pourroit faire une infinité d'autres traicts, ie ne diray de la forte du biais par teste, mais encores de plus ingenieux, & beaucoup plus difficiles: comme ceux qui sont biais par les dolles, & par les jointcs, & d'autres fortes, lesquelles ie descrirois volontiers n'estoit que la matiere seroit trop longue, & le discours fort envieux qu les voudroit toutes proposer & expliquer, pour l'infinie diversité d'inventions que i'en pourrois donner. Il suffit à ce qu'il me semble, d'en monstrent seulement les principes & methode: pour autant que ceux qui en apres voudront prendre peine, en trouveront à tous propos, selon les oeuvres qu'ils auront à faire. De forte qu'il ne se presentera choses tant estrange, ny tant difficile, qu'ils ne trouvent incontinent le moyens d'en venir à bout par l'ayde de ces traicts estans accompagnes de Geometrie, qui est si riche que celuy qui la cognoist peut faire choses admirables. Qui fait que ie m'esmerveille grandement, & suis fort desplaisant que nous ne trouverons quelques livres qui accomodent la theorique de la dicte Geometrie à la pratique & usage, tant de notre Architecture que des autres arts*». Delorme, *Premier tome de l'architecture*, f. 71r.

16. Albrecht Dürer usa una tecnica del tutto simile a quella del *trait* (intesa come utilizzo contemporaneo di due proiezioni) per i suoi studi sul corpo umano (*Hierinn sind begriffen vier Bucher von menschlicher Proportion*, Nuremberg 1528) e sulle sezioni coniche (*Ueberweysung der Messung mit dem Zirckel und Richtscheit, in Linien ebenen gantzen Corporen*, Nuremberg 1525).

17. Nella breve introduzione al testo, Mathurin Jousse - riferendosi a personaggi ed epoche che spaziano da Vitruvio a Leon Battista Alberti e da Vincenzo Scamozzi a Palladio, a Sebastiano Serlio sino ad Androuet du Cerceau - scrive: «*Vous verrez que tous ces grands Hommes ne nous on dict mot de la façon de tirer les traicts Géométriques nécessaires à la coupe des pierres: bref ie vous diray que ie n'ay pas veu un seul Auteur qui en ayt aucunement parlé, excepté Maistre Philebert de Lorme, qui en laissé en son 3. & 4. Livre quelque demonstrations, lesquelles ie n'accuseray point de fausseté: mais seulement d'être enveloppées souz tant de ligne & de paroles, que quoy qu'elles fussent bonnes puor le Doctes: elles ne peuvent se comprendre aisément par beaucop de ceux qui sont profession de tailler & couper la pierre: tellement que ceux qui ne sont pas assez habiles en Géometrie, tâchans de suivre ces préceptes en la coupe des pierres, trouveront souvent qu'il y aura de grandes fautes. Ne pensez pourtant pas que ie veille blâmer, ou celui-cy d'obscurité, ou tous les autres excellents personnages d'ignorance; l'excuse ceux-là d'avoir obmis de dire ce qu'ils ont pensé, ce que l'Architecture devoit avoir aprins dans la Géometrie, à la quelle appartient de nous reigler la maniere de tirer ses traits*». Jousse, *Le Secret d'Architecture...*, pp. 2-3.

18. Il trattato di Mathurin Jousse, *Le Secret d'Architecture*, al contrario degli altri, presenta delle immagini non molto precise: questo inevitabilmente contribuisce a mantenere quel *segreto* che, nel titolo, si vorrebbe dissipare.

19. Lo stesso Desargues, nella prima pagina del suo *Brouillon project*, scrive: «*on trouvera [...] que dans celui de la perspective, il n'y a rien qui tende à se faire passer pour une perspective nouvelle ou autre que celle qui est partout imprimée, non plus que celui-ci du trait ne tend pas à passer pour une nouvelle coupe des pierres, et que tous deux ne tendent à passer que pour exemple d'une manière de pratiquer chacun de ces Arts, nouvelle au moins en quelque circonstance, et surtout aisée et en main au commun des ouvriers, auxquels ce n'est pas le meilleur de proposer une tant sublime Géometrie*».

20. Si veda, ad esempio, Jean-Baptiste Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, oppure Joseph-Alphonse Adhémar, *Traité de la coupe des pierres*.

21. «*Il est constant, comme je l'ai fait voir dans tout le Chapitre, que les differences des voutes en Berceau ne sont que des changements de position, ou de section d'un corps cylindrique, qui n'alterent en rien la nature du cylindre, ni celle de ses sections. Desargues ayant senti cette vérité a réduit tous les Traits de la formation des Berceaux, Droits, Biais, en Talud, & en Descente, à un seul Probleme, qui est de chercher l'angle que fait l'axe du cylindre avec un diametre de sa base, lequel est dans la section d'un plan passant par l'axe, perpendiculairement à celui de la base, c'est -à - dire, à chercher l'angle de la plus grande obliquité de l'aissieu du Berceau avec le plan de la face...*». Frézier, *La théorie...*, tomo II, libro IV, p. 192.

22. Con il termine *lit* si intende il piano di appoggio di un concio rispetto ad un altro.

23. Per *döele* si intende l'intradosso della volta. Questa potrà essere *plate* o sviluppata: nel primo caso si riferisce alla faccia piana dell'intradosso, prima dello scavo definitivo; se la *döele* è sviluppata il cartone si adatta invece alla superficie curva finale.

24. Frézier, *La théorie...*, tomo II, libro IV, p. 13

25. *Ivi*, tomo II, libro IV, problema X, pp. 108-116.

26. «*Si vous voulez vous pouvez faire telles voûtes de porte par équarissement, en observant les longueurs que vous devez trouver sur le plan et prenant les avancements d'une chacune pièce, sans vous y aider des panneaux... Mais en cela il y a grande perte de pierres qui fait que les bons Maîtres se servent du panneau, lequel ils mettent tout autour des pierres pour les trasser quand ils veulent bien faire selon le trait et oeuvre qu'ils ont à suivre: et font équarrir leurs pierres avec le buveau qui est fait après la voûte et les lignes qui monstrent les commissures*». Delorme, *Premier tome de l'architecture*, f. 73v.

27. Delorme, scrivendo sulla *vis Saint-Gilles* (*Ivi*, ff. 123v.-124r.), a proposito degli operai, dice: «*On en rencontroit quelques uns qui la*

faisoient par équarrissement, mais en cela n'y a gueres d'esprit ni d'industrie, et y faut prendre beaucoup de pierre. Auiourd huy i'en voy plusieurs qui entendent non seulement la façon de ladicte vis saint Gilles, mais aussi plusieurs autres bons traicts". Ma immediatamente dopo aggiunge anche: «Si ie l'avois à conduire ie ne me soucierois gueres de la faire par panneaux, ny moins par equarrissement, vous advisant qu'il n'y a point tant de peine, ny tant de difficulté que les ouvriers le pensoient pour lors, et que plusieurs encores le pensent, pur ne le sçavoir. Il est aussi fort aisé et facile de la faire avec des buveaux et sauterelles: car en ayant les cherches r'alongées qu'il y faut, et leurs equierres, il est facile d'en trasser justement toutes les pierres". Con questa annotazione Delorme si propone dunque come precursore *ante-litteram* del metodo detto di *demi-équarrissement*.

28. In alcuni trattati queste *trompe* sono definite come *sur le coin* (sull'angolo). Per evitare possibili confusioni, come ad esempio nel caso di *trompe sur le coin et sous le coin* (sopra un angolo rientrante e sotto un angolo sporgente), si ricorre alla denominazione *dans l'angle* (nell'esempio appena fatto: *dans l'angle et sous le coin*). Un esempio di questo tipo di *trompe*, ed anche il più antico, è dato dalla *trompe* dell'*hôtel* Pincé d'Angers (Maine-et-Loire), concepita dall'architetto Jean de L'Espine tra il 1533 e il 1535 (Pérouse de Montclos, *L'architecture à la française*, p. 126, figura 74).

29. Un esempio di *trompe plate cylindrique sur le pan et en tour-ronde* è dato dalle *trompe* gemelle dell'*hôtel de Jaucourt* a Parigi; architetti Pierre Desmaisons e Sébastien Charpentier, 1733 (*Ivi*, p. 131, figura 83).

30. Ad esempio la *trompe* della chiesa di Saint-Sulpice a Parigi; architetto Charles de Wailly, 1774 (*Ivi*, p. 221, figura 141).

31. La *trompe dans l'angle* dell'*hôtel* Sarret a Montpellier (secondo quarto del Seicento), è conica con l'intradosso per una metà piano e per l'altra metà, contenente anche una finestra ovale, convesso (*Ivi*, p. 128, figura 76)..

32. Ad esempio la *trompe* dell'*hôtel du Fief* a Nantes; architetti Jagueneau, 1654 (*Ivi*, p. 130, figura 82).

33. Vedi nota 29.

34. Ad esempio la *trompe* dell'abbazia di Notre-Dame des Ardilliers di Saumur e quella in una casa a Villefranche-de-Rouergue (*Ivi*, p. 128, figure 78, 79). A Notre-Dame de Bordeaux esiste invece una *trompe* sferica del tipo *dans l'angle et en tour-ronde*.

35. Vi sono numerosi esempi di *trompe de Montpellier*, anche se poche sono tuttora esistenti. La *trompe* dell'*hôtel* Bernuy a Tolosa (probabilmente dovuta all'architetto Merigo Cayala, 1502-3); una delle due *trompe* dell'*hôtel* Bullioud a Lione (Philibert Delorme, 1536); quella sulla torre delle scale della *maison* Dardennes a Villefranche-de-Rouergue (Guillaume Lissorgues, metà del Cinquecento); le due *trompe* laterali della tribuna dell'organo del collegio dei Gesuiti a La Flèche (secondo Pérouse de Montclos attribuibili allo stesso Mathurin Jousse, *Ivi*, p. 133, figura 84); le *trompe* dell'*hôtel* Nayrac a Castres (Tarn), della seconda metà del Cinquecento (*Ivi*, p. 126, figura 72).

36. Ad esempio le volte della chiesa di Fontaines-en-Sologne.

37. Viollet-le-Duc, *Dictionnaire*, vol. IX, voce *trompe*, figura 3, 4.

38. Pérouse de Montclos, *L'architecture à la française*, p. 122.

39. Pérouse de Montclos, *L'architecture à la française*, p. 198.

40. Il *trompillon* è il concio, a testa sferica o cilindrica, posto sul vertice della *trompe* per evitare che gli altri conci terminino con spigoli troppo acuti.

41. "Il suffit donc à l'Architecte de savoir bien faire ses lignes pour dresser proprement un plan, & une montée faite nettement avec toutes ses proportions & mesures, afin que le Seigneur l'intende. Puis dresser ses modèles qui seront de bois ou papier, ou de charte, ou d'autre manière, ainsi qu'elle luy viendra à propos". Delorme, *Premier tome de l'architecture*, f. 22v.

42. "Mais ie veux bien advertir le Lecteur que les pierres de toutes fortes de trompes, sont plus difficiles à tailler que de beaucoup d'autres fortes de traicts, pour autant qu'après avoir fait un parement à la pierre pour la doile de dessus, vous pouvez bien trasser son panneau justement; mais pour les autres, comme pour le panneaux de joints, panneaux de teste, & aussi panneaux de doile par le dessus, gardez-vous bien de le trasser pour couper la pierre du premier coup, car vous la gasteriez, & ne pourroit plus servir. Il faut doncques oster un peu d'un des joints, & puis un peu du costé de la teste, semblablement du costé de la doile de dessus, & ainsi consequemment un petit de l'un & petit de l'autre, & non point tout à un coup, mais coupant si dextrement le tout, que vous puissiez armer votre pierre de panneaux tout autour qui se rapportent justement, & se touchent l'un l'autre par toutes leurs extrémités, tant par les joints que par les doiles & par le devant, où est le panneau de teste; car si vous n'y preniez garde, votre pierre seroit incontinent gastée, & ne pourroit servir". *Ivi*, f. 99r.

43. "Il me semble voir certains esprits qui font les délicats en l'Art des Traits & coupe des voûtes, rebuter cette pratique, & toutes les autres qui s'exécutent par équarrissement. Mais sans examiner si on doit en cela avoir égard à leur sentiment, ou non; ie dis que cette methode, & les semblables, qui se servent des traits & des coupes par équarrissement, ont ordinairement plus de seureté, & de promptitude en l'exécution, que celles qui se font par panneaux, & par telles autres inventions plus speculative: & partant ie me persuade, que ce que i'en ay dit icy, & ailleurs, & que ce que i'en pourray dire à l'advenir, sera receu de bon œil par les ouvriers, qui seront bien aisés d'avoir appris dans ce traité quelques pratiques entre autres, lesquelles, lors qu'il s'agira, non de faire paroistre leur esprit & sçavoir; mais bien d'expedier les ouvrages, leur seront plus avantageuses, que celles qui sont tirée d'une doctrine plus profonde, & iointes à des plus grandes recherches & subtilitez". Derand, *L'Architecture des voûtes*, p. 241.

44. "On en conclura facilement les cas particuliers; de plus la méthode exposée pour ce genre de voûte, conduira à celle nécessaire dans tout autre genre de construction". Desargues, *Brouillon project*, f. 2r.

45. Derand e Boye costruiscono invece cartoni di giunzione triangolari, usando pertanto un solo vertice. Guarini, al contrario, userà due vertici distinti.

46. Poudra, *Ouvres de Desargues*, pp. 363-82. Le indicazioni che seguono sono tratte anche dal commento del Poudra, il quale, tuttavia, in alcuni casi indica punti diversi da quelli posti nelle figure, o viceversa. Infatti, egli non disponeva del testo originale, ritrovato verso il 1940, ma solamente di una copia manoscritta di de La Hire, senza tavole. Da notare, ad esempio, che Poudra non considera l'arco rampante di facciata (vedi figura 4-2), pur senza intaccare l'applicazione del metodo: un'ulteriore conferma dell'universalità della costruzione proposta da Desargues. Al riguardo, si veda anche: Ivins, *Two First Editions of Desargues*, pp. 33-45 ed anche, dello stesso autore, *A note on Girard Desargues*, pp. 33-48; Dhombres e Sakarovitch, *Desargues en son temps*, pp. 347-62; *Le traité de coupe des pierres de Girard Desargues*, in Le Goff, Bessot, Hellegouarc'h, *Destin de l'art. Deseins de la science*, pp. 129-140 ed infine Schneider, *Girard Desargues*, pp. 59-104.

47. "Toute la façon de celle manière de trait consiste à savoir, au moyen des angles donnés, trouver l'angle d'inclinaison de l'essieu au plan de face, et sa position à l'égard de l'aligement nivelé en face". Desargues, *Brouillon project*, f. 3r.

Bibliografia

- Adhémar, Joseph-Alphonse, *Traité de la coupe des pierres*, II ed., Colin, Paris 1840.
- Androuet Du Cerceau, Jacques, *Le premier volume des plus excellents bastiments de France*, Paris 1576-79.
- Blanchard, Edme, *Traité de la Coupe des Bois pour le revêtement des Voutes, Arrières-Voussures, Trompes ...*, Josse et Jombert, Paris 1729.
- Blunt, Anthony, *Philibert Delorme*, London 1958 (trad. francese, Paris 1963).
- Bonet Correa, Antonio, *Los tratados de cortes de piedra espartes en los siglos XVI, XVII e XVIII*, in "Academia Madrid", n. 69 (1989), pp. 29-62.
- Bosse, Abraham, *La Pratique du Trait a preuves de Mr. Desargues Lyonnois, pour la Coupe des Pierres en l'Architecture*, Paris 1643.
- Boye, Blaise, *L'Architecture des voutes*, ms inv. Ms. 619 Bibliothèque Municipale Bordeaux, 1741.
- Camerota, Filippo, *Prospectiva aedificandi. Ottica, stereotomia e architettura obliqua*, tesi del dottorato di ricerca, Firenze 1994.
- Chaix, J., *Traité de la coupe des pierres. La stéréotomie*, H. Chairgrasse fils, Paris 1890 (reprint Seld J.C. Godefroy, Paris 1997).
- Chales Milliet, Claude François de, *De Lapidum Sectione in Cursus seu mundus mathematicus*, Lugduni, ex officina Anissoniana, 1674.
- Chappuis, René, *Géométrie et structure des coupoles sur pendentifs dans les églises romanes entre Loire et Pyrénées*, in "Bulletin monumental" (1962), pp. 7-39.
- Chasles, Michel, *Aperçu Historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, Paris 1837, pp. 331-4.
- Chéreau, Jean, *Livre d'architecture*, ms n. 2280 biblioteca municipale Gdansk (Danzica), 1567-74.
- Deforge, Yves, *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*, Editions du Champ Vallon, 1981, pp. 48-55.
- Delorme, Philibert, *Le premier tome de l'architecture...*, Paris 1567 (succ. 1568, 1576, Rouen 1648, 1894, Bruxelles 1981, Paris 1988).
- Derand, François, *L'Architecture des voûtes Ou l'Art Des Traits, Et coupe Des Voutes...*, Paris 1643 (succ. 1743, 1755).
- Desargues, Girard, *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle du sieur G.D.L., touchant la pratique du trait à preuve pour la coupe des pierres en architecture...*, Paris 1640.
- Deshoulières, François, *Les trompes des coupoles romanes en France*, in "Bulletin archéologique" (1927), pp. 367-78.
- Dhombres, Jean; Sakarovitch, Joël, *Desargues en son temps*, Blanchard, Paris, 1994.
- Dobson, Edward, *Masonry and Stonecutting*, 12^a ed., London 1903.
- Douliot, J.-P., *Traité spécial de coupe des pierres*, Dunod, Paris 1825.
- Evans, Robin, *La trompe di Anet*, in "Eidos" n. 2 (1988), Asolo Arti, pp. 50-7.
- Evans, Robin, *The Projective Cast*, MIT Press, Cambridge Mass. 1995, pp. 179-239.
- Field, Judit V., *Linear perspective and the projective geometry of Girard Desargues*, in "Nuncius" II (1987), pp. 3-40.
- Field, Judit V.; Gray, J.J., *The geometrical work of Girard Desargues*, New York 1987.
- Frézier, Amédée-François, *Eléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*, Paris 1760 (succ. 1830).
- Frézier, Amédée-François, *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, 1737-39 (succ. 1754, 1769, 1980).
- Fourrey, Emile, *Notions de stéréotomie*, 1955.
- Guarini, Guarino, *Architettura civile*, postuma, 2 vol., Torino 1737 (succ. London 1964, Milano 1968).
- Guerrino, T., *Opera di Geometria, Stereometria, Geodesia*, Milano 1773.
- Guillaume, Jean, *Philibert Delorme: un traité différent*, in "Les Traités d'Architecture de la Renaissance", Picard, pp. 347-54.
- Hachette, Jean Nicolas Pierre, *Traité de géométrie descriptive avec les applications aux ombres, a la perspective et a la stereotomie*, Paris 1822.
- Hamilton, John, *Stereography or a compleat body of perspective*, London 1738 (succ. 1740, 1748).
- Hauteceur, Louis, *De la trompe aux moukarnas*, in "Gazette des Beaux-Arts" (1931), pp. 27-59.
- Hoffmann, Volker, *Philibert Delorme und das Schloss Anet*, in "Architectura" (1973), pp. 131-52.
- Ivins, William, *Two First Editions of Desargues*, in "Bulletin of the Metropolitan Museum of Art", 2nd Series, vol. 1 1942, pp. 33-45.

- Ivins, William, *A note on Girard Desargues*, in “Scripta Mathematica”, vol. 9 1943, pp. 33-48.
- Jousse, Mathurin, *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidelement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, La Flèche 1642 (privilège del 1635).
- Kemp, Martin, *The Science of Art*, Yale University Press, New Haven e London 1990 (ed. it. *La scienza dell'arte*, Giunti, Firenze 1994).
- La Gournerie, Jules de, *Discours prononcé au Conservatoire Impérial des Arts et Métiers, le 14 novembre 1854 a l'ouverture du Cours de Géométrie descriptive par M. de La Gournerie, professeur*, Mallet-Bachelier, Paris 1855.
- La Hire, Philippe de, *Traité de la coupe des pierres*, ms n. 1596 Bibliothèque de l'Institut de France, Paris.
- Lalbat, Claude; Margueritte, Gilbert; Martin, Jean, *De la stéréotomie médiévale: la coupe des pierres chez Villard de Honnecourt*, in “Bulletin Monumental”, n. 145 IV (1987), pp. 387-406.
- La Ruë, Jean Baptiste De, *Traité de la coupe des pierres*, Imprimerie Royale, Paris 1728 (succ. 1764, 1858).
- Launoy, Jules, *Cours pratique de coupe des pierres*, Aug. Fonteyn, Louvain 1899.
- Le Goff, Jean-Pierre; Bessot, Didier; Hellegouarc'h, Yves, *Destin de l'art; Dessains de la science*, Aderhem, Caen 1991.
- Lejeune, Emile, *Traité pratique de la coupe des pierres précédé de toute la partie de la géométrie descriptive qui trouve son application...*, Baudry, Paris 1872.
- Leroy, Charles-Félix-Augustin, *Traité de stéréotomie...*, Bachelier, Paris 1844.
- Monduit, Louis; Denis, Alexandre, *Stéréotomie au point de vue de la coupe des pierres*, C.H. Juliot, Paris 1889.
- Monge, Gaspard, *Géométrie Descriptive*, Paris 1795.
- Mueller, Werner, *The autenticity of Guarini's Stereotomy in his Architettura Civile*, in “Journal of Society of Architectural Historians”, n. XXVII (1968), pp. 202-8.
- Mueller, Werner, *Guarini e la stereotomia*, in “Guarino Guarini e l'internazionalità del barocco”, Torino 1970, vol.1 pp. 531-56.
- Perez-Gomez, Alberto, *Architecture and the Crisis of Modern Science*, MIT Press, Cambridge 1990.
- Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *L'architecture à la française, XVIe, XVIIe, XVIIIe siècles*, Picard, Paris 1982.
- Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *Les éditions des traités de Philibert Delorme au XVII^e siècle*, in “Les Traités d'Architecture de la Renaissance”, Picard, pp. 355-65.
- Pfnor, Rodolphe, *Monographie du château d'Anet, construit par Philibert de l'Orme en MDXLVIII*, Paris 1867.
- Pillet, Jules-Jean, *Traité de stéréotomie, charpente et coupe des pierres : texte et dessins*, Delagrave, Paris 1887.
- Poitié, Philippe, *Philibert Delorme: figures de la pensée constructive*, Parenthèses, Paris 1996.
- Poudra, Noël Germain, *Ouvres de Desargues*, 2 vol., Leiber, Paris 1864.
- Rondelet, Jean-Baptiste, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Paris 1802-17 (succ. 1827-29, 1838).
- Rouché, Eugène; Brisse, Charles, *Coupe des pierres*, Baudry, Paris 1893.
- Roy, Maurice, *Anet*, in “Bulletin de la Société de l'histoire de l'art français” (1924), pp. 122-80.
- Sakarovitch, Joel, *Théorisation d'une pratique, pratique d'une théorie. Des traitées de coupe des pierres à la géométrie descriptive*, tesi di dottorato, École d'Architecture de Paris La Villette, Paris 1989.
- Sakarovitch, Joël, *Epures d'architecture: de la coupe des pierres à la géométrie descriptive XVIe - XIXe siècles*, Basel, Birkhäuser, 1998.
- Scolari, Massimo, *L'idea di modello*, in “Eidos” n. 2 (1988), pp. 22-3.
- Schneider, Mark, *Girard Desargues. The architectural and perspective geometry : a study in the rationalization of figure*, tesi di dottorato, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg 1983.
- Siguret, Philippe, *Les voûtes plates*, in “Gypsum” (1963), pp. 94-8.
- Simonin, W., *Traité élémentaire de la coupe des pierres, ou art du trait*, Paris 1792.
- Sinaud, Henry, *Coupe des pierres limitée aux épures usuelles avec l'indication sommaire des sujet qui ne sont plus en usage*, 1890.
- Tachon, E., *Traité pratique de la coupe des pierres*, Librairie de la construction moderne, Paris 1914.
- Taton, René, *Les grandes étapes de la mathématisation des techniques graphiques: des origines à Dürer, à Desargues et à Monge*, in “XY, Dimensioni del Disegno”, n. 1 (1986), pp. 75-88.
- Taton, René, *L'Oeuvre mathématique de G. Desargues*, Paris 1951 (succ. 1981).
- Taton, René, *L'Histoire de la Géométrie Descriptive*, Paris 1954.
- Taton, René, *L'Oeuvre Scientifique de Monge*, Paris 1951.
- Villard de Honnencourt, *Disegni*, manoscritto Biblioteque Nationale Paris (ed. it. a cura di AA.VV., Jaca Book, Milano 1988).