

Indice generale

Indice Volume I

Testo critico

pag. 2

Indice Volume II

Elaborazioni grafiche originali

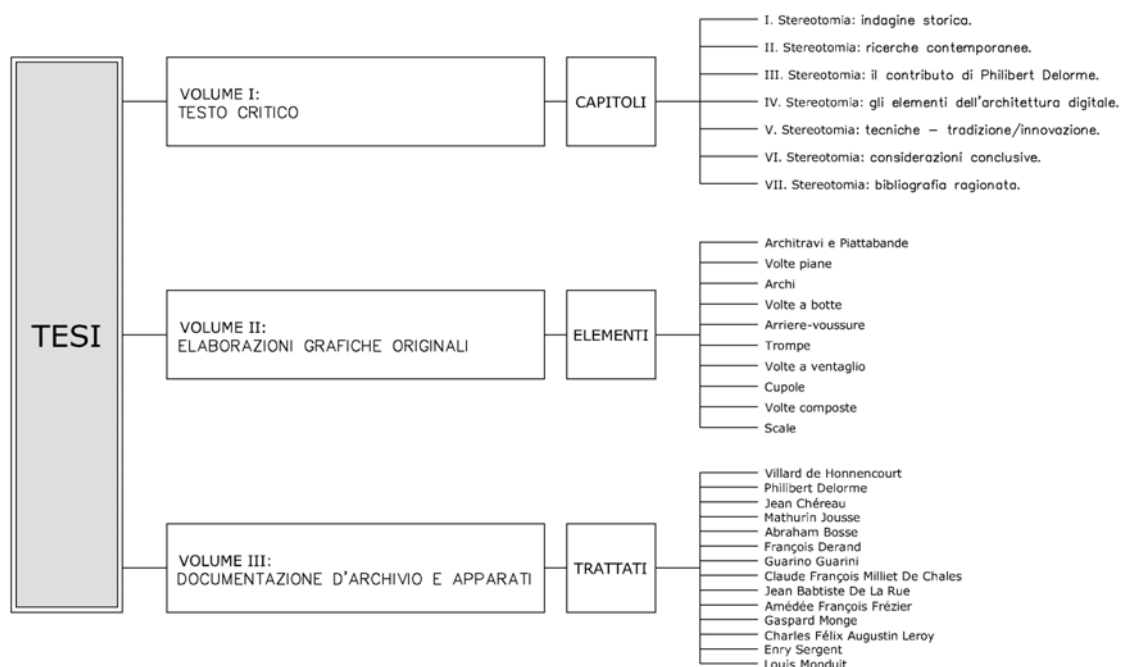
pag. 5

Indice Volume III

Documentazione d'archivio e apparati

pag. 19

Organigramma della tesi



Indice Volume I

Testo critico

0. Introduzione	21
0.1. Premessa	21
0.2. Strutturazione della tesi	22
0.3. Finalità e campo di indagine della ricerca	23
0.4. Presupposti teorici della ricerca	27
0.5. Articolazione della tesi	33
0.6. Ringraziamenti	38
1. Il paradigma stereotomico nell'arte del costruire: indagine storica	41
1.1. Sulle origini della stereotomia moderna	41
1.1.1. Sul concetto di stereotomia	42
1.1.2. La stereotomia in epoca Antica	44
1.1.3. La stereotomia in epoca Medioevale	50
1.1.4. La stereotomia in epoca Rinascimentale	56
1.2. Stereotomia e Architettura	60
1.2.1. Da P. de l'Orme alla razionalizzazione della disciplina	60
1.2.2. Il trattato di Architettura e la stereotomia	63
1.2.3. La formazione dell'architetto e la stereotomia	66
1.2.4. La Prospettiva e la stereotomia	68
1.3. Analisi diacronica dei trattati di stereotomia: tra tecnica costruttiva e forma architettonica	73
1.3.1. I trattati di stereotomia	73
1.3.2. L'impostazione matematica della disciplina stereotomica	80
1.4. Il "modo stereotomico" nell'Architettura di Guarino Guarini e Bernardo Vittone	85
1.4.1. Guarino Guarini	85
1.4.2. Bernardo Vittone	95
1.5. La crisi evolutiva della teoria stereotomica post-Frézier	99
2. Il paradigma stereotomico nella Progettazione Architettonica contemporanea	103
2.1. Stato dell'arte della ricerca contemporanea sulla stereotomia	103
2.2. Prospettive di ricerca e campi operativi	106
2.3. Ipotesi di strutturazione della ricerca sulla "Progettazione Stereotomica"	107
2.3.1. Concettualizzazione della Progettazione Stereotomica	108
2.3.2. Aggiornamento delle Tecniche Stereotomiche	115
2.3.3. I materiali e tecniche della odierna costruzione stereotomica	119
2.3.4. Aggiornamento dei metodi di calcolo strutturale delle architetture stereotomiche	122
2.4. Due approcci <i>speciali</i> alla speculazione stereotomica contemporanea: Bernard Cache e Preston Scott Cohen	126

2.4.1. Bernard Cache	126
2.4.2. Preston Scott Cohen	134
3. Philibert de l'Orme e la codifica rinascimentale dell'art du trait géométrique	139
3.1. La concezione geometrica dell'architettura	139
3.2. Stereotomia quale arte della regolarizzazione: <i>trait géométrique</i> e progettazione architettonica	148
3.3. Il ruolo del tradizionale <i>trait géométrique</i> per la progettazione/costruzione delle <i>trompe</i>	152
3.3.1. Caso studio: l'invenzione del <i>trait géométrique</i> nel cantiere de la <i>galerie de l'hôtel Bullioud</i> a Lione	152
3.3.2. Dal rilievo al modello teorico: il modello numerico e il modello matematico/geometrico	161
3.3.3. Il metodo <i>delormiano</i> : <i>trait géométrique</i> della <i>trompe d'Anet</i> codificato ne <i>Le Premiere Tome de l'Architecture</i>	163
3.3.4. Relazione biunivoca tra il metodo del <i>trait géométrique</i> e rappresentazione prospettica della <i>trompe d'Anet</i>	169
3.3.5. Deduzione del <i>trait géométrique</i> "ideale" delle <i>trompe de l'hôtel Bullioud</i> a Lione	174
3.3.6. Studio sui rapporti di scala metrica delle <i>trompe d'Anet</i> e di Lione	175
4. Gli elementi della "Stereotomia Digitale"	179
4.1. La modellazione <i>infografica</i> tridimensionale	179
4.1.1. Modelli <i>infografici</i> e modellatori geometrici	179
4.1.2. Modelli <i>infografici tridimensionali</i> : poligonali e NURBS	183
4.1.3. Modellazione parametrico/variazionale	185
4.1.4. Modellazione parametrica con i <i>modificatori</i>	186
4.2. La modellazione <i>infografica</i> tridimensionale applicata agli elementi della "stereotomia digitale" (cfr. Volume II)	187
4.2.1. La classificazione e organizzazione degli elementi dell'architettura stereotomica	187
4.2.2. Specifiche peculiarità geometrico/morfologiche degli elementi dell'architettura stereotomica	191
4.2.3. Processi e tecniche di modellazione <i>infografica</i> tridimensionale: dal trattato al modello	194
5. Tecniche costruttive stereotomiche a confronto: tradizione/innovazione, tre casi-studio	199
5.1. Progettazione/Costruzione di una <i>trompe</i> di pietra con tecniche tradizionali: stage presso la <i>Fondation de Coubertin</i> , Parigi, febbraio 2003	199
5.1.1. Presupposti dello <i>stage-trompe</i>	199
5.1.2. La <i>Fondation de Coubertin</i> , Saint-Rémy-lès-Chevreuse, Parigi	201

5.1.3.	Articolazione e sviluppo dello stage: il progetto esecutivo della <i>trompe</i>	202
5.1.4.	Articolazione e sviluppo dello stage: la costruzione e il montaggio della <i>trompe</i>	209
5.2.	Ri-progettazione <i>infografica</i> e prototipazione CAD/CAM con macchina a CNC della <i>trompe</i> sud de l' <i>hôtel Bullioud</i> a Lione: risultati delle elaborazioni svolte presso il laboratorio CAD/CAM del Politecnico di Bari	213
5.2.1.	Processo di modellazione CAD/CAM e prototipazione della <i>trompe</i>	213
5.2.2.	Analisi tensionale della <i>trompe</i> : approccio continuo FEM	218
5.3.	Progetto di un belvedere temporaneo "locus finis terrae" in località Punta Ristola a S. Maria di Leuca – Comune di Castrignano del Capo (Le)	223
5.3.1.	Descrizione dell'intervento	223
5.3.2.	Progettazione e programmazione delle fasi di costruzione/montaggio della <i>volta sospesa nell'aria</i>	226
5.4.	Punti critici a confronto	236
6.	Considerazioni conclusive	239
6.1.	Metodologia "dimostrativa" dell'analisi	239
6.2.	Nodi critici dei singoli capitoli della tesi	241
7.	Bibliografia ragionata	245
7.1.	Stereotomia: fonti primarie	245
7.1.1.	Manoscritti	245
7.1.2.	Trattati	245
7.2.	Stereotomia: fonti secondarie	246
7.2.1.	Studi dei trattati	246
7.2.2.	Biografie e monografie	247
7.2.3.	Studi tematici	247
7.2.4.	Sul rinascimento francese	249
7.2.5.	Altri Trattati	249
7.3.	Modellazione <i>infografica</i>	250
7.3.1.	Contributi teorici	250
7.3.2.	Modellazione parametrica	250

Indice Volume II

Elaborazioni grafiche originali

0. Indice

1. Indice generale degli argomenti
2. Indice analitico delle Tavole
3. Bibliografia
4. Premessa alle Tavole

1. Indice generale degli argomenti

1. Architravi e Piattabande:
 - Piattabande piane;
 - Piattabande spaziali.
2. Volte piane:
 - A pianta circolare;
 - A pianta quadrata;
 - Trasformazioni geometriche: piano-cilindro-sfera.
3. Archi:
 - Archi piani;
 - Archi obliqui;
 - Archi spaziali.
4. Volte a botte:
 - Botte retta;
 - Botte obliqua;
 - Botte anulare.
5. Arriere-voussure (Volta dietro un vano):
 - Arriere-voussure de Montpellier;
 - Arriere-voussure de Marseille;
 - Arriere-voussure de St. Antoine.
6. Volte in aggetto:
 - Trompe coniche;
 - Trompe sferiche;
 - Trompe cilindriche;
 - Trompe sup. di rotazione;
 - Trompe sup. rigata.
7. Volte a ventaglio:
 - Con intradosso decorato;
 - Con intradosso liscio.
8. Cupole:
 - Sferiche;
 - Ellittiche.
9. Volte Composte:
 - A sviluppo verticale;
 - A sviluppo orizzontale.
10. Scale:
 - Elicoidali;
 - Spaziali.
11. Stereotomia e modellazione parametrica:
 - introduzione metodologica

1. Indice analitico delle tavole

TAV. n°:

1. "Unità formale classica";
2. "Unità formale anticlassica" (disegno di invenzione);
3. Architrave-piattabanda: ammorsatura - esploso;
4. Architrave-piattabanda: vista;
5. Architrave-piattabanda: dettagli;
6. Architrave-piattabanda: portico d'ingresso della Cappella di Anet (P. Delorme), Francia;
7. Architrave-piattabanda: ricostruzione - esploso - del portico d'ingresso della Cappella di Anet (P. Delorme), Francia;
8. Piattabanda con giunti verticali all'esterno e convergenti all'interno;
9. Piattabanda con giunti verticali all'esterno e convergenti all'interno, esploso;
10. Piattabanda in un muro a scarpa;
11. Piattabanda in una torre rotonda a scarpa;
12. Piattabanda in una torre rotonda;
13. Piattabanda in una torre rotonda: elicoidale e orizzontale;
14. Volta piana circolare con quattro appoggi;
15. Volta piana circolare con quattro appoggi, esploso;
16. Volta piana con apparecchiatura a quadrati concentrici;
17. Volta piana con apparecchiatura a quadrati concentrici, esploso;
18. Tecnica di deformazione cilindrica della volta piana, secondo il sistema di apparecchiatura di Abeille;
19. Tecnica di deformazione cilindrica della volta piana, rapporto deformazione/angolo;
20. Tecnica di deformazione cilindrica della volta piana, rappresentazione grafica delle funzioni e dei parametri;
21. Tecnica di deformazione cilindrica della volta piana, modello solido della volta indeformata;
22. Tecnica di deformazione cilindrica della volta piana, secondo il sistema di apparecchiatura di Abeille, modello volta deformata: elemento;
23. Tecnica di deformazione cilindrica della volta piana, secondo il sistema di apparecchiatura di Abeille, modello volta deformata: proiezioni;
24. Tecnica di deformazione sferica della volta piana, secondo il sistema di apparecchiatura di Abeille, modello volta deformata: generalizzazione;
25. Tecnica di deformazione sferica della volta piana, secondo il sistema di apparecchiatura di Abeille, modello volta deformata: viste;
26. Volta piana, secondo il sistema di apparecchiatura di Abeille: prototipo realizzato presso i laboratori dell'Ille d'Abeau, Lione - Francia;
27. Finta bifora;
28. Finta bifora: tecnica del tracciato geometrico dell'apparecchiatura;
29. Finta bifora: tecnica del tracciato geometrico, Foto: esempio in una corte del centro antico di Lione - Francia;
30. Arco con intradosso conico o corno di vacca;
31. Arco con intradosso conico o corno di vacca con decorazione a cassettone;

32. Doppio arco conico a tutto sesto;
33. Arco obliquo, *biais passé*: trattati;
34. Arco obliquo, *biais passé*: modello esplicativo;
35. Arco obliquo, *biais passé*: intradosso e ipografia;
36. Arco obliquo, *biais passé*: disegno d'invenzione;
37. Arco obliquo, *biais passé* all'interno di un arco;
38. Arco obliquo, *biais passé* con direttrice ellittica;
39. Arco obliquo, *biais passé* con direttrice ellittica: ipografia, vista dell'intradosso, apparecchiatura;
40. Ponte obliquo, con direttrice a curva policentrica;
41. Ponte obliquo, con direttrice a curva policentrica: immagini del fronte e d'intradosso;
42. Arco obliquo rampante, con direttrice a curva policentrica: disegno d'invenzione;
43. Arco obliquo rampante, con direttrice a curva policentrica: disegno d'invenzione - scala;
44. Archi spaziali ad intradosso cilindrico: G. Guarini, J.B. Rondelet;
45. Archi spaziali ad intradosso cilindrico: processo generativo;
46. Archi spaziali ad intradosso cilindrico: archi e sviluppo dei conci;
47. Archi spaziali ad intradosso cilindrico: archi e sviluppo dei conci - volumi;
48. Archi spaziali ad intradosso conoidale: Torino, San Lorenzo, navata;
49. Cono/conoide guariniano e genesi dell'arco spaziale: Torino, San Lorenzo, navata;
50. Composizione virtuale della sequenza degli archi spaziali: Torino, San Lorenzo, navata;
51. Composizione virtuale della sequenza degli archi spaziali - sezione prospettica e vista dall'alto: Torino, San Lorenzo, navata;
52. Arco a tutto sesto in una torre rotonda a scarpa (in una sup. conica);
53. Arco a tutto sesto in una torre rotonda a scarpa (in una sup. conica): genesi formale;
54. Arco sull'angolo in un muro a piombo;
55. Arco sull'angolo in un muro a piombo: modello;
56. Carpenteria lignea cilindrica dalle nuove invenzioni per costruire a piccoli pezzi;
57. Carpenteria lignea cilindrica dalle nuove invenzioni per costruire a piccoli pezzi: prototipo;
58. Carpenteria lignea cilindrica dalle nuove invenzioni per costruire a piccoli pezzi: sequenza del montaggio;
59. Carpenteria lignea cilindrica dalle nuove invenzioni per costruire a piccoli pezzi: prototipo - dettaglio del nodo;
60. Volta a botte con motivo intradossale ad intreccio (P. Delorme): ingresso del Castello di Anet, Francia;
61. Volta a botte con motivo intradossale ad intreccio (P. Delorme): vista prospettica e ipografia;
62. Volta a botte con motivo intradossale ad intreccio (P. Delorme): proiezioni;
63. Volta a botte con motivo intradossale ad intreccio (P. Delorme): vista assonometrica e sezione longitudinale;
64. Volta a botte con motivo intradossale ad intreccio (P. Delorme): modello reale e virtuale;
65. Volta a botte con motivo intradossale ad intreccio (P. Delorme): modello reale;

66. Volta a botte con motivo intradossale a cassettone (J. Chéreau): modello reale e virtuale;
67. Volta a botte con motivo intradossale a cassettone (J. Chéreau): analisi fol. 102 v, m.s.;
68. Volta a botte con motivo intradossale a cassettone (J. Chéreau): apparecchiatura;
69. Volta a botte con motivo intradossale a cassettone (J. Chéreau): modello globale, w.f.;
70. Volta a botte con motivo intradossale a cassettone (J. Chéreau): modello globale;
71. Volta a botte con motivo intradossale a cassettone (J. Chéreau): prototipo di gesso (p.r.);
72. Volte a botte (Desargues-A. Bosse): anulari, oblique e elicoidali;
73. Volta a botte per una discesa obliqua (Desargues-A. Bosse): piani di lavoro;
74. Volta a botte per una discesa obliqua (Desargues-A. Bosse): piani di lavoro e panneaux;
75. Volta a botte per una discesa obliqua (Desargues-A. Bosse): i conci;
76. Volta a botte anulare con direttrice parabolica diella Halle au Blé (N. Le Camus de Mézières), Parigi: analisi della sezione verticale radiale;
77. Volta a botte anulare con direttrice parabolica della Halle au Blé (N. Le Camus de Mézières), Parigi: superficie della volta e modello solido;
78. Volta a botte anulare con direttrice parabolica della Halle au Blé (N. Le Camus de Mézières), Parigi: modello di insieme e della parte;
79. Volta a botte anulare con direttrice parabolica della Halle au Blé (N. Le Camus de Mézières), Parigi: ricostruzione superficiale dello spazio;
80. Volta a botte anulare con direttrice parabolica della Halle au Blé (N. Le Camus de Mézières), Parigi: ricostruzione materica dello spazio;
81. Volta a botte anulare con direttrice parabolica della Halle au Blé (N. Le Camus de Mézières), Parigi: ricostruzione materica dello spazio - h.;
82. Volta a botte anulare con direttrice parabolica della Halle au Blé (N. Le Camus de Mézières), Parigi: dettaglio;
83. Arrière-vuossure de St. Antoine: modello di pietra (Compagnon du Devoir, Atelier S. Jaques, Parigi);
84. Arrière-vuossure de St. Antoine: analisi della geometria della volta e dell'apparecchiatura (punto convergenza appartenente alla volta);
85. Arrière-vuossure de Marseille: modello di pietra (Compagnon du Devoir, Atelier S. Jaques, Parigi);
86. Arrière-vuossure de Marseille: analisi della geometria della volta e dell'apparecchiatura;
87. Arrière-vuossure de Montpellier: analisi della geometria della volta e dell'apparecchiatura;
88. Arrière-vuossure con veletta cilindrica: disegno di invenzione;
89. Arrière-vuossure con veletta cilindrica lignea: disegno di invenzione - vista 1;
90. Arrière-vuossure con veletta cilindrica lignea: disegno di invenzione - vista 2;
91. Veletta cilindrica lignea: modello;
92. Arrière-vuossure con veletta cilindrica lignea: disegno di invenzione - proiezioni ortogonali;
93. Arrière-vuossure con veletta cilindrica lignea: disegno di invenzione - viste assonometriche;

94. Lunetta di penetrazione in una volta a botte;
95. Lunetta di penetrazione in una volta a botte: proiezioni ortogonali e esploso;
96. La trompe e la derivazione formale dallo strumento musicale: il *pavillon* della trombetta;
97. Apertura strombata dicroma, disegno di invenzione: apparecchiatura d'insieme;
98. Apertura strombata dicroma, disegno di invenzione: le parti e la composizione cromatica;
99. Apertura strombata dicroma, disegno di invenzione: dettaglio e esploso;
100. Antecedenti formali della *trompe*: finestre stombate medievali in Italia meridionale;
101. Antecedenti formali della *trompe*: finestre stombate e superfici coniche;
102. Trompe d'Anet (P. Delorme, 1552): geometrie del *trait géométrique*;
103. Trompe d'Anet (P. Delorme, 1552): geometrie del *trait géométrique* e ricostruzione ideale;
104. Trompe d'Anet (P. Delorme, 1552): sviluppo della superficie intradossale della volta;
105. Trompe d'Anet (P. Delorme, 1552): modello della trompe con convergenza in un punto delle superfici intra/estradosale della volta;
106. Trompe d'Anet (P. Delorme, 1552): modello della trompe con convergenza in un punto delle superfici intra/estradosale della volta - render;
107. Trompe d'Anet (P. Delorme, 1552): modello della trompe con convergenza in due punti delle superfici intra/estradosale della volta;
108. Trompe d'Anet (P. Delorme, 1552): modello della trompe con convergenza in due punti delle superfici intra/estradosale della volta - render;
109. Trompe d'Anet (P. Delorme, 1552): modello della trompe con convergenza in due punti delle superfici intra/estradosale della volta - render;
110. Baldacchino del pozzo (P. Delorme, 1536) nella prima corte de hotel Bullioud, Lione Francia : antecedente formale della trompe d'Anet;
111. Baldacchino del pozzo (P. Delorme, 1536) nella prima corte de hotel Bullioud, Lione Francia : antecedente formale della trompe d'Anet - sovrapposizione delle forme;
112. Trompe d'Anet e Cabinet du roi (P. Delorme,1552): gli elementi per una ipotesi ricostruttiva;
113. Trompe d'Anet e Cabinet du roi (P. Delorme,1552): modello d'insieme e delle parti;
114. Trompe d'Anet e Cabinet du roi (P. Delorme,1552): modello d'insieme e proporzionamento in scala;
115. Trompe d'Anet e Cabinet du roi (P. Delorme,1552): ipotesi sulla natura geometrica della curva tra la trompe e il muro destro;
116. Trompe d'Anet e Cabinet du roi (P. Delorme,1552): restituzione grafica;
117. Trompe d'Anet e Cabinet du roi (P. Delorme,1552): restituzione prospettica;
118. Trompe d'Anet e Cabinet du roi (P. Delorme,1552): analisi dei parametri geometrici della trompe e ipotesi di variazione;
119. Trompe d'Anet e Cabinet du roi (P. Delorme,1552): modello parametrico-variazionale;

120. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: immagini storiche;
121. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: la corte e la galleria;
122. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: rilievo della trompe di sinistra;
123. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: traits géométriques delle due trompe di sinistra (in alto), e di destra (in basso);
124. *Trait géométrique della pechina tore ridonda enbiaje*: similitudine formale con la trompe sin. di Lione;
125. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: dal trait géométrique al modello tridimensionale ideale;
126. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: sovrapposizione reale/ideale;
127. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: ipotesi del progetto originario (cfr. D. Bonnet Saint Georges);
128. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: modello di insieme;
129. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: modello di insieme, sovrapposizione virtuale-reale;
130. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: analisi CAD/CAM della trompe di sinistra;
131. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: analisi CAD/CAM e CNC della trompe di sinistra;
132. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: lavorazione a CNC del prototipo della trompe di sinistra;
133. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: montaggio dei conci del prototipo in polistirolo della trompe di sinistra;
134. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: il prototipo in polistirolo della trompe di sinistra;
135. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: analisi agli elementi finiti della superficie globale della trompe di sinistra;
136. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: raffronto proporzionale tra la trompe di sinistra e quella d'Anet;
137. Le trompe della *galerie de l'hôtel Bullioud* (P. Delorme, 1536) a Lione, Francia: raffronto formale tra la trompe di sinistra e quella d'Anet;
138. La maison Saint-Oyen sur trompe (G. Désargues, 1650-1655) a Lione, Francia: viste panoramiche;
139. La maison Saint-Oyen sur trompe (G. Désargues, 1650-1655) a Lione, Francia: viste panoramiche;

140. La maison Saint-Oyen sur trompe (G. Désargues, 1650-1655) a Lione, Francia: prospetto;
141. La maison Saint-Oyen sur trompe (G. Désargues, 1650-1655) a Lione, Francia: trait géométrique della trompe;
142. La maison Saint-Oyen sur trompe (G. Désargues, 1650-1655) a Lione, Francia: modello globale;
143. La maison Saint-Oyen sur trompe (G. Désargues, 1650-1655) a Lione, Francia: prospettiva aerea;
144. Trompe conica sotto l'angolo: modello;
145. Trompe conica sotto una torre rotonda (de Montpellier): modello;
146. Trompe conica nell'angolo sotto la pensilina del ponte a Avignon, Francia: fotografie;
147. Trompe conica nell'angolo sotto l'angolo della cattedrale di Santiago di Compostela: fotografia;
148. Trompe conica nell'angolo sotto l'angolo nel centro storico di Arles (9 rue du Séminaire): foto;
149. Trompe conica nell'angolo sotto l'angolo nel centro storico di Montpellier (hotel Sarret, 1636): fotografie;
150. Trompe conica nell'angolo sotto l'angolo nel centro storico di Montpellier (hotel Sarret, 1636): Dettaglio;
151. Trompe conica con profilo mistilineo (retto/curvo) nel centro storico di Montpellier (corte dell'hotel Sarret, 1636): fotografie;
152. Trompe conica con profilo mistilineo (retto/curvo) nel centro storico di Montpellier (corte dell'hotel Sarret, 1636): dettaglio;
153. Trompe conica con profilo mistilineo (retto/curvo) : riferimento teorico (P. Delorme);
154. Trompe conica con profilo mistilineo (retto/curvo) nel centro storico di Montpellier (corte dell'hotel Sarret, 1636): la trompe;
155. Trompe conica con profilo mistilineo (retto/curvo) nel centro storico di Montpellier (corte dell'hotel Sarret, 1636): il modello;
156. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: proiezioni ortogonali del modello;
157. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: determinazione dei panneaux;
158. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: determinazione degli angoli perpendicolari agli spigoli dei conci;
159. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: sviluppo della sup. di intradosso e anamorfosi dell'altorilievo della conchiglia di S. Jacques;
160. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: realizzazione dell'épure- tecnica tradizionale;
161. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: taglio dei blocchi grezzi per la lavorazione;
162. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: tecnica di taglio a falso squadro dei conci;
163. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: controllo della geometria del concio per mezzo dei panneaux;
164. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: realizzazione del trompillon;
165. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: realizzazione dell'anamorfosi in altorilievo;
166. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: realizzazione dell'incisione sulla base del prototipo;

167. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: montaggio dei conci del prototipo;
168. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: prototipo, viste;
169. Stage Trompe, Fondation Cubertin, Parigi: prototipo;
170. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): restituzione prospettica del belvedere - fronte scala;
171. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): restituzione prospettica del belvedere - fronte trompe;
172. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): razionalizzazione della struttura lapidea;
173. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): razionalizzazione della struttura lapidea - conci fronte scala;
174. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): proiezioni ortogonali del belvedere;
175. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): apparecchiatura della trompe - trait géométrique;
176. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): verifica globale dell'equilibrio meccanico delle masse;
177. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): calcolo degli angoli perpendicolari agli spigoli dei conci della volta e dei panneaux;
178. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): calcolo degli ingombri dei blocchi parallelepipedi circoscritti ai conci della volta;
179. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): costruzione del modello ligneo della volta;
180. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): costruzione del modello ligneo della volta - apparecchiatura;
181. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): costruzione del modello ligneo della volta - proiezioni ortog.;
182. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): progetto della centina per il montaggio della volta;
183. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): fasi di montaggio della volta;
184. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): fasi di montaggio dell'intero belvedere;
185. Locus Finis Terrae, progetto in località Punta Ristola, S. Maria di Leuca (Lecce): progetto della balaustra - finitura;
186. Trompe (cilindrica) sotto una torre rotonda eretta su di un muro rettilineo: trattato e disegno di invenzione;
187. Trompe (cilindrica) nell'abside della chiesa del Saint-Sulpice (Charles de Wailly, 1774), Parigi: vista d'insieme;

188. Trompe (cilindrica) nell'abside della chiesa del Saint-Sulpice (Charles de Wailly, 1774), Parigi: geometrie della trompe;
189. Trompe (cilindrica) nell'abside della chiesa del Saint-Sulpice (Charles de Wailly, 1774), Parigi: prospettiva centrale dal basso e modello;
190. Trompe (cilindrica) nell'abside della chiesa del Saint-Sulpice (Charles de Wailly, 1774), Parigi: dettaglio;
191. Trompe (cilindrica) nell'abside della chiesa del Saint-Sulpice (Charles de Wailly, 1774), Parigi: modello di insieme e apparecchiatura - esploso;
192. Trompe (cilindrica) nell'abside della chiesa del Saint-Sulpice (Charles de Wailly, 1774), Parigi: proiezioni ortogonali;
193. Trompe (cilindrica), hotel de Jaucourt (P. Desmaisons e S. Charpentier, 1733), Parigi: vista d'insieme;
194. Trompe (cilindrica), hotel de Jaucourt (P. Desmaisons e S. Charpentier, 1733), Parigi: dettaglio;
195. Trompe (cilindrica), centro storico di Murcia, Spagna: dettaglio;
196. Trompe (sferica)(J. Chéreau): analisi fol. 104 v;
197. Trompe (sferica)(J. Chéreau): analisi fol. 104 v, e sviluppo conico del quarto di sfera;
198. Trompe (sferica)(J. Chéreau): viste del modello solido;
199. Trompe (sferica)(J. Chéreau): la geometria globale dell'apparecchiatura e ricostituzione della sfera;
200. Trompe (sferica)(J. Chéreau): volta sferica apparecchiata con quattro trompe;
201. Trompe (sferica) apparecchiata a pendentif: M. Jousse (sviluppo della volta) e H. Ruiz (intradosso decorato);
202. Trompe (sferica) apparecchiata a pendentif: modello sferico di H. Ruiz (intradosso decorato);
203. Trompe (sferica) apparecchiata a pendentif: modello sferico di H. Ruiz (intradosso decorato)-suddivisione in quattro trompe;
204. Trompe (sferica) a nicchia sotto l'angolo: disegno in prospettiva;
205. Trompe (sferica) sotto l'angolo: geometria e modello lapideo (Atelier S. Jacques, Parigi);
206. Trompe (sferica) sotto l'angolo: modello infografico - viste e proiezioni;
207. Trompe (sferica) della tribuna della chiesa di S. Trophime (J.-B. A. de Monteil, 1695) a Arles, Francia: analisi dell'apparecchiatura;
208. Trompe (solido di rotazione) nell'angolo sotto l'angolo: analisi dell'apparecchiatura;
209. Trompe (solido di rotazione) nell'angolo sotto l'angolo: viste;
210. Trompe (solido di rotazione) nell'angolo sotto l'angolo: vista dal basso - imposta;
211. Trompe (solido di rotazione) nell'angolo sotto l'angolo: serie polare dell'elemento - capitello stereotomico di invenzione;
212. Trompe rigata (superficie rigata) nell'angolo: vista d'insieme e della parte;
213. Trompe rigata (superficie rigata) nell'angolo: profilo del paraboloide-iperbolico;

214. Trompe rigata (superficie rigata) nell'angolo: viste del paraboloide-iperbolico;
215. Trompe rigata (superficie rigata) nell'angolo: arco del paraboloide-iperbolico;
216. Composizione di trompe coniche: viste del cabinet e modello lapideo delle trompe (Compagnon du Devoir, Parigi);
217. Composizione di trompe coniche: viste delle trompe (4) e modello delle trompe ribaltate;
218. Composizione di trompe coniche: viste laterale del modello delle trompe (Compagnon du Devoir, Parigi);
219. Composizione di trompe coniche: due trompe su mensola;
220. Composizione di trompe coniche: disegno di invenzione - copertura di un tempietto;
221. Composizione di trompe coniche: disegno di invenzione - un tempietto;
222. Composizione di trompe coniche: tribuna - modello;
223. Composizione di trompe coniche: tribuna - proiezioni ortogonali del modello;
224. Trompe con apparecchiatura cilindrica: battistero della cattedrale di Anagni (Roma);
225. Trompe con apparecchiatura cilindrica: battistero della cattedrale di Anagni (Roma)- geometrie;
226. Trompe con apparecchiatura cilindrica: battistero della cattedrale di Anagni (Roma)- modello;
227. Volta a ventaglio decorata: geometrie e modello;
228. Volta a ventaglio decorata: modello solido;
229. Volta a ventaglio decorata: apparecchiatura della volta e genesi geometrica del "concio";
230. Volta a ventaglio decorata: la mesh della decorazione;
231. Volta a ventaglio decorata: prospettiva dal basso;
232. Volta a ventaglio decorata: viste prospettiche;
233. Volta a ventaglio liscia: geometrie;
234. Volta a ventaglio decorata: elementi terminali di imposta della volta;
235. Volta a ventaglio decorata: elementi terminali di imposta della volta - geometrie;
236. Volta a ventaglio decorata: spazio di invenzione;
237. Volta a ventaglio liscia: trait géométrique;
238. Cupola cassettonata (Anet) : antecedenti formali;
239. Cupola cassettonata (Anet): geometrie;
240. Cupola cassettonata (Anet): geometrie del pavimento/intradosso della volta;
241. Cupola cassettonata (Anet): proiezioni cilindriche tra pavimento/intradosso della volta;
242. Cupola cassettonata (Anet): apparecchiatura della volta;
243. Cupola cassettonata (Anet): modello della volta, foto del pavimento;
244. Cupola cassettonata (Anet): modello della volta, dell'intradosso;
245. Cupola cassettonata (Anet): sezione/prospetto;
246. Cupola a costoloni elicoidali e tamponamento vitreo: modello dell'estradosso;
247. Cupola a costoloni elicoidali e tamponamento vitreo: geometria solida del costolone-tipo;

- 248. Cupola a costoloni elicoidali e tamponamento vitreo: genesi geometrica del costolone-tipo;
- 249. Cupola a costoloni elicoidali e tamponamento vitreo: proiezioni di costoloni;
- 250. Cupola a costoloni elicoidali e tamponamento vitreo: costoloni e superficie sferica;
- 251. Cupola a costoloni elicoidali e tamponamento vitreo: costoloni e superficie sferica - viste;
- 252. Cupola sferica con apparecchiatura a forma di triangolo equilatero - trattati;
- 253. Cupola sferica con costolonature a forma di triangolo equilatero: vestiboli S.Sindone, To;
- 254. Cupola sferica con costolonature a forma di triangolo equilatero: vestiboli S.Sindone, To - modello;
- 255. Cupola sferica con costolonature a forma di triangolo equilatero: vestiboli S.Sindone, To - modello, viste;
- 256. Cupola ellittica: apparecchiatura romanica;
- 257. Cupola ellittica: apparecchiatura moderna;
- 258. Cupola ellittica: apparecchiatura moderna - sezione assonometrica e proiezioni;
- 259. Cupola ellittica: apparecchiatura moderna - letti di contatto dei conci;
- 260. Cupola ellittica: apparecchiatura moderna - filari orizzontali;
- 261. Volta composta a sviluppo verticale: stereotomia degli archi intrecciati;
- 262. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati di S. Lorenzo a Torino - trattato;
- 263. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati di S. Lorenzo a Torino - modello 1 ;
- 264. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati di S. Lorenzo a Torino - modello 2;
- 265. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati di S. Lorenzo a Torino - modello 3;
- 266. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati di S. Lorenzo a Torino - modello 4;
- 267. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi sovrapposti de S.Sindone a Torino - geometrie;
- 268. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi sovrapposti de S.Sindone a Torino -intradosso;
- 269. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi sovrapposti de S.Sindone a Torino - modello 1;
- 270. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi sovrapposti de S.Sindone a Torino - modello 2;
- 271. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi sovrapposti de S.Sindone a Torino - modello 3;
- 272. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi sovrapposti de S.Sindone a Torino - modello 4;
- 273. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - trattato e modello;
- 274. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - trattato e modello, ipografia;
- 275. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - modello della prototipazione rapida-1;
- 276. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - modello della prototipazione rapida-2;
- 277. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - modello della prototipazione rapida-3;
- 278. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - modello della prototipazione rapida-4;

279. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - modello della prototipazione rapida-5;
280. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - modello della prototipazione rapida-6;
281. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati - modello della prototipazione rapida-7;
282. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati e le cupole sferoidali - trattato;
283. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati e le cupole sferoidali - ipografia;
284. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati e le cupole sferoidali - modello solido;
285. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati e le cupole sferoidali - modello/rete 1;
286. Volta composta a sviluppo verticale: gli archi intrecciati e le cupole sferoidali - modello/rete 2;
287. Volta composta a sviluppo orizzontale: spazio voltato dell'hotel de ville d'Arles - interno 1;
288. Volta composta a sviluppo orizzontale: spazio voltato dell'hotel de ville d'Arles - interno 2;
289. Volta composta a sviluppo orizzontale: spazio voltato dell'hotel de ville d'Arles - dettaglio;
290. Volta composta a sviluppo orizzontale: spazio voltato dell'hotel de ville d'Arles - ipografia;
291. Volta composta a sviluppo orizzontale: spazio voltato dell'hotel de ville d'Arles - geometrie;
292. Volta composta a sviluppo orizzontale: spazio voltato dell'ingresso della sacrestia della certosa di Valbonne - modello;
293. Volta composta a sviluppo orizzontale: spazio voltato dell'ingresso del seminario Saint- Charles (J. B. Franque, Avignon, 1749-1757) - ipografia;
294. La vite elicoidale: la geometria della filettatura triangolare e il modello;
295. La vite elicoidale: la geometria della filettatura triangolare e il modello - vista;
296. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello 1;
297. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello 2;
298. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello - proiezioni;
299. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello - dettagli;
300. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello - secondo De La Rue;
301. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello dell'intradosso - secondo De La Rue;
302. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello del nucleo centrale - secondo De La Rue;
303. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello del nucleo centrale (tangenza) - secondo De La Rue;
304. Scala elicoidale a nucleo centrale e perimetrale continuo: la "vis de Saint-Gilles" - modello del nucleo centrale (viste) - secondo De La Rue;

305. Scala elicoidale a nucleo centrale puntiforme e perimetrale continuo: opere attribuite a P. Delorme;
306. Scala elicoidale a nucleo centrale puntiforme e perimetrale continuo: geometrie degli elementi - 1;
307. Scala elicoidale a nucleo centrale puntiforme e perimetrale continuo: geometrie degli elementi - 2;
308. Scala elicoidale a nucleo centrale puntiforme e perimetrale continuo: geometrie degli elementi - 3;
309. Scala elicoidale a nucleo centrale puntiforme e perimetrale continuo: geometrie degli elementi - 4;
310. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: fonti dell'elaborazione;
311. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: modello geometrico spaziale;
312. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: modello geometrico spaziale - ipotesi statica;
313. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: modello geometrico spaziale - l'insieme;
314. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: modello geometrico spaziale - la trompe sferica;
315. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: schizzo di Marcel Chaboud - ri-elaborazione;
316. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: immagine fotografica;
317. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: tipo a "caracolle de Majorca";
318. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: tipo a "caracolle de Majorca" - modello, viste;
319. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: tipo a "caracolle de Majorca" - modello;
320. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: doppia elica modanata, modello parametrico;
321. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: doppia elica modanata - superfici del modello parametrico;
322. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: doppia elica modanata - prototipazione rapida 1;
323. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo: doppia elica modanata - prototipazione rapida 2;
324. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo inscritta in due superfici coniche: rampa doppia e singola - le fonti;
325. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo inscritta in due superfici coniche: rampa singola, modello;
326. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo inscritta in due superfici coniche: rampa singola, modello - sezione e proiezioni;
327. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo inscritta in due superfici coniche: rampa singola, modello - l'ingombro;
328. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo inscritta in due superfici coniche: rampa doppia, modello e proiezioni;
329. Scala elicoidale a nucleo perimetrale continuo inscritta in due superfici coniche: rampa doppia, modello e ipografia;
330. Scala elicoidale a nucleo perimetrale puntiforme: architrave (cosciale) elicoidale, modello;
331. Scala elicoidale a nucleo perimetrale puntiforme a doppia rampa: architrave e cosciale elicoidali, modello lapideo;

- 332. Scala elicoidale a nucleo perimetrale puntiforme a doppia rampa: architrave e cosciale elicoidali, modello lapideo - dettaglio cosciali interni;
- 333. Scala elicoidale a nucleo perimetrale puntiforme a doppia rampa: architrave e cosciale elicoidali, modello lapideo - dettaglio sup. intradossale;
- 334. Scala elicoidale a nucleo perimetrale puntiforme a doppia rampa: architrave e cosciale elicoidali, modello lapideo - dettaglio cosciali e gradini;
- 335. Scala elicoidale a nucleo perimetrale puntiforme su colonna a rampa singola: modello lapideo e infografico;
- 336. Scala elicoidale: geometria del cosciale elicoidale;
- 337. Scala con gradini ad incastro: modello;
- 338. Scala aerea con gradini ad incastro: pulpito a Saint-Sulpice, Parigi. Reale/virtuale;
- 339. Scala aerea con gradini ad incastro: pulpito a Saint-Sulpice, Parigi - foto d'insieme e di dettaglio;
- 340. Scala aerea con gradini ad incastro: pulpito a Saint-Sulpice, Parigi - foto di dettaglio;
- 341. Scala aerea con gradini ad incastro: pulpito a Saint-Sulpice, Parigi. Modello infografico 1;
- 342. Scala aerea con gradini ad incastro: pulpito a Saint-Sulpice, Parigi. Modello infografico 2;
- 343. Scala aerea con gradini ad incastro: pulpito a Saint-Sulpice, Parigi. Modello infografico 3;
- 344. Scale aeree: tipi composti;
- 345. Operazioni Booleane parametriche: due cilindri;
- 346. Operazioni Booleane parametriche: due cilindri, variazioni;
- 347. Operazioni Booleane parametriche: cono e sfera, variazioni;

Indice Volume III

Documentazione d'archivio e apparati

Indice:

1. Premessa
2. Indice dei trattatisti
3. Indice dei trattati - *excerpta*
4. Piano dell'opera di Amédée-François Frézier
(traduzione degli indici dei volumi I e II)
 - 4.1. Volume I
 - 4.2. Volume II

2. Indice dei trattatisti

1. Villard de Honnencourt
2. Philibert Delorme
3. Jean Chéreau
4. Mathurin Jousse
5. Abraham Bosse
6. François Derand
7. Guarino Guarini
8. Claude François Milliet De Chales
9. Jean Baptiste De La Ruë
10. Amédée-François Frézier
11. Gaspard Monge
12. Charles-Félix-Augustin Leroy
13. Enry Sergent
14. Louis Monduit, Alexandre Denis

4. Indice dei trattati – *excerpta*

1. Villard de Honnencourt, *Disegni*, manoscritto Biblioteca Nationale Paris (Estratto: ff. vari, album del manoscritto pubblicato in fac-simile, Imprimerie Imperiale, Paris, 1858.).
2. Delorme, Philibert, *Le premier tome de l'architecture*, Rouen 1648 (Estratto: Libri IV e X contenente il trattato Delorme, Philibert, *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Paris, 1561.).
3. Chéreau, Jean, *Livre d'architecture*, ms n. 2280 biblioteca municipale Gdansk (Danzica), 1567-74 (Estratto: ff. vari).
4. Jousse, Mathurin, *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidèlement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, La Flèche 1642 (Estratto: ff. 78-121).
5. Bosse, Abraham, *La Pratique du Trait a preuves de Mr. Desargues Lyonnais, pour la Coupe des Pierres en l'Architecture*, Paris 1643 (Estratto: ff. 1-114).

6. Bosse, Abraham, *Maniere universelle de Mr Desargues, pour pratiquer la perspective...*, Imprimerie de Pierre Des-Hayes, Paris 1648 (Estratto: ff. vari).
7. Derand, François, *L'Architecture des voûtes Ou l'Art Des Traits, Et coupe Des Voutes...*, Paris 1643 (Estratto: ff. tutti *trait géométrique des trompes*).
8. Guarini, Guarino, *Euclides Adauctus et Methodicus...*, Torino, 1671 (Estratto: ff. vari).
9. Guarini, Guarino, *Caelestis Mathematicae...*, Milano, 1683 (Estratto: ff. vari).
10. Guarini, Guarino, *Architettura civile*, postuma, 2 vol., Torino 1737 (Estratto: ff. vari).
11. De Chales Milliet, Claude François de, *De Lapidum Sectione in Cursus seu mundus mathematicus*, Lugduni, ex officina Anissoniana, 1674 (Estratto: ff. vari).
12. De La Ruë, Jean Baptiste De, *Traité de la coupe des pierres*, Imprimerie Royale, Paris 1764 (Estratto: ff. tutti *trait géométrique des trompes*).
13. 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, 1754 (Estratto: frontespizi e ff. vari).
14. Monge, Gaspard, *Géométrie Descriptive*, Paris 1795, l'an III de la R.F. (Estratto: ff. vari).
15. Monge, Gaspard, *Traité élémentaire de Statique a l'usage des écoles de la marine*, Paris 1795, l'an III de la R.F. (Estratto: ff. vari).
16. Leroy, Charles-Félix-Augustin, *Traité de stéréotomie...*, Bachelier, Paris 1866 (Estratto: ff. vari).
17. Sergent, E., *Traité pratique et complet de tous les Mesurages, Metrages, Jaugeages de tous les corps*, Morel, Paris, 1873 (Estratto: ff. vari).
18. Monduit, Louis; Denis, Alexandre, *Stéréotomie au point de vue de la coupe des pierres*, C.H. Juliot, Paris 1889 (Estratto: ff. vari).

0. Introduzione

*Dunque voglio ben chiarire che quello che scriverò non tende
ad altro fine che ad istruire e ad insegnare agli uomini di
buona volontà, e specialmente gli ignoranti, ai quali io
desidero di buon cuore comunicare i talenti che Dio mi ha
donato liberamente per questa piccola conoscenza che ho
sull'arte dell'Architettura.
Philibert de l'Orme¹*

0.1. Premessa

Il Dottorato di Ricerca in Progettazione Architettonica per i Paesi del Mediterraneo è caratterizzato da due *curricula* specialistici: Architettura e città di pietra in cui converge la ricerca sulla stereotomia, e Habitat e paesaggio mediterraneo. La presente tesi², è rappresentativa del primo curriculum specialistico che distingue il DR (Dottorato di Ricerca).

La sua natura rispecchia quella che è l'architettura didattica complessiva degli studi di architettura promossi dalla Facoltà e dal Dipartimento ICAR a Bari, in quanto costituisce una possibile conclusione del percorso didattico del corso di laurea che vede nel DR in Progettazione Architettonica il luogo privilegiato per l'approfondimento dei problemi e delle tematiche di ricerca condotte all'interno del Dipartimento.

La durata di ogni ciclo del DR è di tre anni, di cui il primo è significativo per l'attività di studio delle più ampie tematiche di ricerca affrontate nel Dipartimento, e degli "indirizzi" scientifici delle personali propensioni; nel secondo anno si entra nel pieno dello sviluppo della ricerca specifica che nel terzo anno si concretizza nell'operazione di "scrittura" della tesi.

In particolare la tesi sulla stereotomia, nel rapporto tra tradizione e innovazione del binomio progettazione/costruzione, rientra in un ampio campo di

¹ P. de l'Orme, *Le Premier Tome de l'Architecture*, Paris, 1567, L. IV, c.I, f.88r.

²La tesi (XVI ciclo), sarà discussa il 27 febbraio 2004 (il XVI ciclo conclude le sue attività a novembre 2003).

ricerca su cui il Dipartimento lavora dai primi anni novanta e si inquadra all'interno dei rapporti di collaborazione con l'Associazione dei *Compagnos du Devoir du tour de France* con cui si condividono, in sinergia dialettica, principi e modalità operative. Tale ricerca, condotta sotto la direzione del prof. Claudio D'Amato Guerrieri, è tesa allo studio dell'architettura in pietra da taglio come massima espressione dell'arte del costruire in ambito plastico murario (strutture e organismi edilizi a muratura portante continua), nell'ipotesi di riformulare i principi che sottendono la creazione della forma per una *nuova architettura di pietra*, che si ponga in continuità con le architetture tradizionali mediterranee a vocazione costruttiva lapidea.

0.2. Strutturazione della tesi

La tesi, alla pari di tutte le altre già discusse, corrisponde allo standard stabilito dal Collegio dei docenti, che ha fissato in tre parti lo sviluppo canonico della dissertazione:

1. *testo critico* (volume I). Propone una lettura critica dello stato dell'arte; presenta i nodi disciplinari da sciogliere e le ipotesi di lavoro; argomenta le conclusioni cui è pervenuta la ricerca e le eventuali successive aperture;
2. *elaborazioni grafiche originali* (volume II). Costituiscono la cifra distintiva del DR in Progettazione architettonica (sono raccolte in un volume di "tavole"); e viaggiano su un piano parallelo a quello del testo critico, di cui rappresentano la specifica (e autonoma) *facies* nel campo disciplinare proprio del Dottorato. In genere propongono la lettura analitica dell'oggetto di studio, con gli strumenti appropriati alla scala dimensionale di indagine: nella fattispecie, quella architettonica, attraverso operazioni di scomposizione e ri-montaggio (al fine di decifrarne le logiche costitutive del manufatto edilizio), di modellazione *infografica* tridimensionale, di analisi tipologiche,

morfologiche e strutturali, ecc.; Sono proprio queste elaborazioni grafiche a consentire l'eventuale riutilizzo sul piano progettuale delle acquisizioni originali della ricerca.

3. *documentazione d'archivio e apparati* (volume III).
Danno conto delle "scoperte" effettuate nel corso della ricerca, sia di materiali di archivio che di altra provenienza; forniscono gli strumenti di consultazione della ricerca stessa; propongono la bibliografia ragionata.

0.3. Finalità e campo di indagine della ricerca

La ricerca della presente tesi, inserendosi in un ampio filone di studi, condotti dal Dipartimento ICAR (Ingegneria Civile e Architettura), indirizzati al rapporto *idea-progetto-costruzione* alla scala dell'architettura, si occupa delle tecniche tradizionali del costruire in pietra da taglio rivisitate alla luce delle moderne tecnologie informatiche. Essa è finalizzata, nello specifico, all'analisi delle problematiche teorico/pratiche connesse ai sistemi informatici integrati di PR (Prototipazione Rapida) e di CAD/CAM (progettazione/costruzione assistita – *Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Manufacturing*), riferiti alle architetture di natura stereotomica.

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

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

natura costruttiva dell'architettura. Il lavoro, quindi, esplicita l'unità e la congruenza tra aspetti costruttivi e geometrico/formali come condizione essenziale delle architetture stereotomiche e, come in tale assunto risieda sia il valore dell'insegnamento delle architetture del passato, sia il valore positivo per la progettazione contemporanea.

Tutto questo per mezzo di un lungo lavoro di raccolta, selezione, traduzione e analisi dei più rappresentativi esempi architettonici, estrapolati dai principali trattati di stereotomia francese (con parziali riferimenti comparati alla situazione italiana), nella evoluzione storica che va dal manoscritto di Villard de Honnecourt alle espressioni più notevoli del XIX° secolo.

Il metodo adottato, per l'organizzazione tassonomica degli elementi della "stereotomia-digitale", consiste nell'accorpamento in classi/tipo, definite da pari soluzione *infografica*, delle tradizionali tematiche architettoniche a carattere morfologico/costruttivo. A tale scopo sono state individuate dieci classi/tipo, organizzate in sequenza gerarchica, dal più basso al più alto grado di complessità, in:

1. Architravi e Piattabande;
2. Volte piane;
3. Archi;
4. Volte a botte;
5. Arriere-voussure;
6. Volte a sbalzo – trompe
7. Volte a ventaglio;
8. Cupole;
9. Volte composte;
10. Scale.

Queste sono state ulteriormente suddivise in sottoclassi in luogo della specificità geometrica di appartenenza (*ad es.* 6. trompe – trompe, o *volte aeree*: coniche, sferiche, cilindriche, rigate. etc).

L'intento dell'esposizione è finalizzato a costituire le premesse per un ragionamento organico sull'argomento, piuttosto che

creare soluzioni di continuità nella relazione processuale fra tipi.

Nell'evoluzione tipologica, come avremo modo di vedere, al concetto di piattabanda per estensione seguirà quello di volta piana che, specializzandosi, passerà dal piano alla superficie cilindrica per rifluire al concetto di *porzione seriale minima* dell'arco che, ancora per estensione monodirezionale, si trasformerà in volta a botte (berceau) che abbracciando le varie declinazioni geometriche confluirà, tramite le *penetrazioni*, nel concetto di *Arriere-vousure* quindi, teorizzando sulle superfici intradossali, nel concetto della *trompe* per passare agli spazi voltati e cupolati e così via, al fine di elidere l'idea di fissità connessa alla nozione di tipo.

Nello sviluppo dell'analisi, particolare attenzione e profondità di indagine sono state rivolte allo studio delle *trompe*, nella fattispecie alle fatiche di Philibert de l'Orme, comparando l'opera giovanile di Lione con la più ardita opera della stereotomia francese edificata nel castello di Anet.

I risultati dell'analisi sono stati presentati e pubblicati³ al *First International Congress on Construction History*, tenutosi a Madrid nel Gennaio 23-24 2003. I principali argomenti della esposizione sono stati motivo di incontro con la studiosa Dominique Bonnet Saint-Georges (*Philibert de l'Orme lyonnais*, Lione, 1993) di Lione che ha risposto con interesse ai risultati della ricerca, finalizzata alla formulazione e alla prorotipazione del modello *ideale* delle due *trompe* lionesi de *l'hôtel Bullioud* costruite sulla base dei *trait géométrique* ideali (cfr, nota 3, e cap. 3 della presente tesi).

Dalla speculazione sul tema della *trompe* sono scaturite due importanti esperienze formative: in primo luogo, lo stage-*trompe* organizzato dalla *Fondation de Coubertin* (presso l'Atelier Saint-Jacques) nel quadro della formazione e perfezionamento professionale di giovani *tailleur de pierre*

³ Giuseppe Fallacara, *The formal unity of aerial vault's texture: the "trompes". The role of traditional "trait géométrique" for trompes' design in the perspective of the employ of modern CAD/CAM project/execution processes*. In *First International Congress on Construction History*, Madrid, 20-24 January 2003.

(cfr. cap. 5); in secondo luogo, il progetto contemporaneo per un belvedere, sorretto da una grande *trompe* conica, che verrà realizzato in località di Santa Maria di Leuca – Lecce (cfr. cap. 5). Di quest'ultimo sono stati studiati in dettaglio i nodi teorico/costruttivi che conformeranno la monumentale opera *Locus finis terrae* in pietra locale (leccese).

Un'altra nota distintiva della ricerca riguarda lo sviluppo, presso il Politecnico di Bari, del modello *infografico* della volta piana teorizzata da *Abeille*, finalizzato alla realizzazione del prototipo lapideo in scala 1:1 (cfr. Vol. II, tav. 26), presso i Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau (4-8 febbraio, Isère, France) nei pressi di Lione, con la coordinazione dei proff. Joel Sakarovitch e Philippe Poitié.

Un ulteriore approfondimento è stato rivolto alle spazialità di genesi stereotomica di Guarino Guarini e Bernardo Vittone, sul particolare tema degli archi intrecciati. Di questi se ne è fatta esperienza diretta per mezzo dei processi di prototipazione rapida che hanno consentito di realizzare fisicamente un modello, a base di gesso, della cupola della chiesa di Santa Chiara in Alessandria del Vittone (cfr. Vol. II, tavv. 273-281). Il modello fisico ha permesso la comprensione immediata delle specifiche qualità geometriche, celate nei *folia* del trattato, difficilmente apprezzabili in quanto sono disegni bidimensionali. Con la stessa metodologia è stato affrontato infine, il tema della scala a vite, dalla paradigmatica "vis de Saint-Gilles" alla riflessione sulle scale ad elica, tentando di unificare l'algoritmo matematico costruttore della forma estendibile a tutti i casi.

L'insieme delle *esperienze* di studio/analisi degli *argomenti stereotomici*, sono state organizzate nel secondo volume della tesi costituendo più di trecento "tavole" illustrative che esplicitano i processi geometrico/modellativi adoperati. Queste rappresentano, per chi scrive, il dato di originalità e orgoglio della ricerca, il cui metodo, con continui miglioramenti continua a servire alla fruttuosa investigazione sulla stereotomia.

0.4. Presupposti teorici della ricerca⁴

La ricognizione dello stato attuale delle ricerche condotte sulla Stereotomia, permette di comprenderne le evoluzioni e le potenziali ricadute operative in essa implicitamente contenute. Permette, inoltre, di tentare una possibile ricollocazione speculativa della disciplina che ha ormai perso l'originario primato didattico in ambito formativo.

Allo stato attuale le ricerche in ambito internazionale, secondo la nostra conoscenza sono portare avanti, a diverse scale di approfondimento, in tre ambiti disciplinari: primo fra tutti quello storico, a cui segue la Rappresentazione dell'architettura, per terminare a grande distanza nella Progettazione Architettonica.

Gli interessi di ricerca, oggi, a nostro modo di vedere, non esauriscono i possibili ambiti speculativi, propri di una disciplina nata e evoluta per supportare le ambizioni connesse ad una progettazione con una forte componente teorica seguita da una esecuzione dall'altissimo grado di precisione. La ragione di interesse per questa disciplina, in apparenza così lontana dai metodi odierni di progettazione e costruzione dell'architettura, consta al contrario nella sua assoluta attualità a causa della forte affinità concettuale con lo sviluppo degli attuali sistemi integrati CAD/CAM.

La ricerca, fondamentalmente sperimentale, in cui progettazione e realizzazione diventano i principali attori dell'atto speculativo, si può costituire come potente mezzo innovatore della stagione architettonica contemporanea per cui l'aggiornamento delle ragioni stereotomiche ne rappresentano l'assunto ontologico. Tra le ricadute possibili, in ambito accademico, quella didattica è sicuramente la più fertile nel rinvigorismento di una dottrina che pensa e si costruisce nello spazio. Nell'allargamento agli ambiti industriali/produttivi, può rappresentare un'opportunità concreta di rinnovamento, sia metodologico che stilistico-

⁴ In questo paragrafo sono sintetizzati i concetti analizzati nel secondo capitolo della tesi.

formale delle tecniche lavorative connesse tanto all'utilizzo dei materiali naturali, propri della tradizione, quanto a quelli artificiali.

Una potente risorsa, quindi, che richiede una strutturazione organica e disciplinare che da sempre ha rappresentato la vera spinta propulsiva nelle grandi stagioni della stereotomia.

Nell'analisi degli *principi invarianti*⁵ della speculazione stereotomica, oltre all'apparecchiatura e il controllo geometrico della forma, la costruzione/*montaggio a secco* e, il conseguente equilibrio meccanico, rappresenta uno dei nodi teorici di maggior interesse.

Il principio della *costruzione a secco* materializza la sequenza "idea-progetto-costruzione", e colloca la riflessione sull'organismo architettonico sull'idea di un approccio *multiscalare* della *parte* connessa al *tutto* (e viceversa), presupponendo una *progettazione esecutiva* di grande esattezza.

I processi informatici di modellazione geometrica tridimensionale assicurano questo assunto fondante dell'aggiornamento teorico della disciplina stereotomica, ovvero il concetto dell'*esattezza progettuale e la precisione esecutiva*.

La "rivoluzione informatica", all'interno dei rapporti tra architettura e cultura digitale, è sicuramente uno dei temi più interessanti e controversi della ricerca contemporanea. Un fenomeno pervasivo e trasversale, senza dubbio fra gli aspetti

⁵ La disciplina si fonda su tre principi/invarianti, che qualora non presenti implicano il venir meno del concetto di architettura stereotomica:

1. invariante prefigurativo: capacità di suddivisione di un continuo architettonico in opportune parti (apparecchiatura);
2. invariante tecnico/geometrico: capacità di definizione geometrica puntuale dell'elemento concio (tecnica proiettiva);
3. invariante statico: capacità di assicurare l'equilibrio meccanico del sistema architettonico giuntato a secco (statica dei corpi rigidi).

In base all'esistenza di questi tre parametri (combinabili in ordine casuale) è possibile definire un filtro selettivo atto a discernere le generiche architetture in pietra da quelle di natura stereotomica che qui consideriamo quale speculazione estrema dell'architettura in pietra.

caratterizzanti del nostro tempo. L'uscita dalle limitazioni dello specialismo disciplinare rappresenta una delle caratteristiche positive riscontrabili nell'era digitale, per cui la frammentazione delle funzioni, tipica del moderno, è sostituita dalla "sincronizzazione simultanea", da sistemi integrati di informazioni che ci consentono elaborazioni unificate (geometrico/morfologiche e statico/realizzative)

In questo contesto i modelli di grafica computerizzata assumono un significato peculiare. Essi apportano qualcosa d'inedito nella storia della modellazione, qualcosa che li distingue da altri modelli precedenti. E cioè: la loro natura *sincretica*. Essi sono infatti il risultato di una convergenza di tre tecniche di modellazione che fino a ieri erano state utilizzate separatamente: la replicazione (o emulazione), la simulazione e la formalizzazione matematica.

La natura *sincretica* dei processi informatici è data dal fenomeno per cui confluiscono in un'unica forma di modellazione più forme analitico/conoscitive diverse tra loro che ci conducono verso la strada dell'unificazione dei saperi (geometrici, formali, matematici, statici, meccanici, costruttivi,...) tipica dell'architetto antico.

Nello specifico caso della stereotomia, lo sviluppo degli algoritmi matematici applicati alle tecnologie di modellazione *infografica*, ha consentito la *descrizione-costruzione*, geometricamente esatta, di qualsiasi superficie complessa. I limiti connessi all'elaborazione discreta (modellazione poligonale) di una forma sono stati rimossi definitivamente. La ricaduta immediata, in una logica di aggiornamento disciplinare, è la possibilità di progettare con l'esattezza teorica i *luoghi geometrici* delle complesse architetture stereotomiche e costruirli con altrettanto rigore.

L'aggiornamento delle tecniche stereotomiche risulta oggi più che mai foriero d'innovazione. Il passo sostanziale che si tenta di compiere è la totale informatizzazione della fase esecutiva di produzione del "pezzo/concio". L'argomentazione è ovviamente rivolta agli attuali sistemi integrati CAD/CAM che consentono, al progettista contemporaneo di essere

autore anche della fase esecutiva dell'opera. Quindi l'aggiornamento delle tecniche stereotomiche non possono non subire l'attuale fenomeno della *smaterializzazione* (informatico/virtuale) al fine di riconquistare nuova e maggiore perfezione *materica*. Risulta, quindi, importante investigare il ruolo del *modello* nella progettazione architettonica stereotomica nel passaggio da realtà materica a realtà virtuale e viceversa. Da *modello fisico* quale poteva essere in maniera allargata il risultato della regola del *trait géométrique* (tracciato geometrico), a quello virtuale della modellazione tridimensionale *infografica* CAD, per poi rifluire nella materializzazione CAM di quest'ultimo.

La stereotomia contemporanea si scontra, sin dall'immediato, con le diverse tipologie di materiali, naturali o artificiali, presenti sul mercato e con le diverse tecniche di lavorazione. Da questo ne deriva immediatamente un diverso approccio al concetto di *taglio* alla base della stereotomia classica. Se per questa, dal greco στερεος solido e τομή taglio, l'etimo di *taglio* vuol dire principalmente asportazione di materiale, per le tecniche contemporanee, quest'ultimo può anche voler dire addizione di materiale. In entrambi i casi, il tema del *taglio*, in *sottrazione* o *addizione*, resta alla base della conoscenza disciplinare. Inoltre vedremo subito che, l'evoluzione del concetto di *taglio*, in *sottrazione* o *addizione* di materia, presuppone un ulteriore concetto di lavoro: in *positivo* o *negativo*.

Schematizzando, con ovvie approssimazioni, la gamma offerta dalle contemporanee tecniche stereotomiche di taglio otteniamo la seguente tabella:

TECNICA DI TAGLIO Contemporanea	ASPORTAZIONE DI MATERIALE	LAVORAZIONE IN POSITIVO "oggetto"	MATERIALI NATURALI	1
	ADDIZIONE DI MATERIALE	LAVORAZIONE IN NEGATIVO "calco"	MATERIALI ARTIFICIALI	2
		LAVORAZIONE IN POSITIVO "oggetto"	MATERIALI ARTIFICIALI	3
		LAVORAZIONE IN NEGATIVO "calco"	MATERIALI ARTIFICIALI	4

La tecnica moderna di *taglio* CAD/CAM, finalizzata alla realizzazione di elementi architettonici, può essere suddivisa in due grandi categorie: per asportazione di materiale e per addizione di materiale. La prima può riguardare principalmente materiali naturali, di composizione compatta ed omogenea che vengono modellati, per il raggiungimento della forma finale, attraverso processi di *fresatura* o *taglio con disco*. La seconda, riguarda principalmente materiali artificiali che vengono modellati, per il raggiungimento della forma finale, con processi di solidificazione di materiale incoerente (si riferisce a processi di *prototipazione rapida*). Entrambe le modalità di realizzazione, continuando nell'analisi della tabella, prevedono una lavorazione *in positivo* ed una *in negativo*. Per lavorazione *in positivo* intendiamo la lavorazione che interviene direttamente sul manufatto, mentre per lavorazione *in negativo* intendiamo la lavorazione che interviene direttamente sul calco del manufatto.

Fatta questa distinzione, si potrà ottenere un manufatto da un calco realizzato per asportazione di materiale ed un manufatto da un calco per addizione di materiale. Ciò che risulta evidente dalla schematizzazione, è che un manufatto realizzato in materiali naturali, quale è il caso della stereotomia tradizionale, non ricopre che $\frac{1}{4}$ delle attuali possibilità della stereotomia contemporanea che presuppone l'utilizzo di materiali artificiali.

Ecco quindi il bisogno di riflettere sui principi alla base dell'attuale fenomeno di "allargamento tecnologico" della disciplina.

La principale differenza connessa alle due tecniche di *taglio* (per asportazione o per addizione di materiale), che interessa il nostro approccio operativo, è la specifica capacità di entrambe di realizzare un manufatto. Sommariamente: la tecnica di *taglio* in positivo per asportazione di materiale può realizzare manufatti in materiali naturali "concavi", ossia che non presentano forti sottosquadri, o cicli di lavorazioni interne al volume dell'oggetto, che presentino almeno una superficie piana idonea al fissaggio sul piano di lavoro, ecc.; di contro, la tecnica di *taglio* per solidificazione di materiale sciolto può soddisfare qualsiasi tipo di realizzazione, a fronte dell'utilizzo di un materiale artificiale, esteticamente opinabile. Ovviamente, a ritroso, la specifica tipologia di materiale scelto per la produzione di un qualsivoglia manufatto architettonico condiziona fortemente il processo modellativo alla base dei sistemi di produzione assistita. Ad esempio non si potrà modellare e realizzare, con tecniche di asportazione di materiale, un elemento architettonico che presenti forti *sottosquadri* o lavorazioni *interne al volume* se la scelta del materiale è stata la pietra naturale.

Riducendo il nostro ragionamento all'utilizzo della pietra, in qualità di materiale con specifiche qualità estetiche/prestazionali, bisogna fare i conti, oltre con l'ovvia pietra naturale, con una serie di prodotti artificiali presenti sul mercato che possono in alcuni casi soddisfare in maniera intelligente specifiche richieste di sostenibilità ambientale. Il riferimento è ovviamente rivolto alla *pietra ricomposta* e alla sua specifica tecnologia di lavorazione che consente, partendo dal disaggregato di qualunque pietra, di ricomporne i materiali, conservando l'aspetto e la consistenza delle rocce da cui, quei materiali, provengono. La mescola, definita in fase progettuale, può essere utilizzata da macchine a CNC per la Prototipazione rapida, oppure può essere colata a temperatura ambiente negli opportuni stampi di progetto.

Nello sviluppo della tesi, tali argomenti sono stati sviluppati in qualità di *esempi-prototipo* (a cui si fa rimando) al fine di consentire una valutazione oggettiva delle reali potenzialità metodologiche.

0.5. Articolazione della tesi

In conformità con la strutturazione metodologica standard stabilita dal Collegio dei Docenti, la presente tesi, entrando nello specifico, si articola in tre volumi che costituiscono i tre momenti cardine del lavoro di ricerca. Essi riflettono, in sequenza, l'ordine utilizzato nell'indagine conoscitiva della disciplina.

Primo fra tutti il reperimento dei trattati di stereotomia classica, editi tra il XVI e XIX secolo, nella maggior parte dei casi non più ristampati e comunque scarsamente distribuiti, già appartenenti alla fascia dei testi rari della letteratura storica.

Le difficoltà connesse a tale rinvenimento sono state numerose, presupponendo l'ovvia ricerca in biblioteche e archivi specializzati soprattutto francesi. A tale inconveniente logistico ne è seguita una complessa operazione metodologica, infatti per lo sviluppo della tesi si è necessitato di un gran numero di *folia* della trattatistica finalizzata all'analisi *infografica* comparata degli elementi architettonici. Si è quindi operato con gran pazienza alla riproduzione fotografica in digitale diretta (negli archivi ove è stato possibile) di quasi mille pagine dei trattati. Di tutte le immagini digitali, opportunamente corrette ed organizzate, è stata fatta una sintesi critica raccolta nel terzo volume degli apparati, selezionati cronologicamente come segue:

1. Villard de Honnencourt, *Disegni*, manoscritto Biblioteque Nationale Paris (Estratto: ff. vari, album del manoscritto pubblicato in fac-simile, Imprimerie Imperiale, Paris, 1858.).
2. Delorme, Philibert, *Le premier tome de l'architecture*, Rouen 1648 (Estratto: Libri IV e X contenente il trattato Delorme,

Philibert, *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Paris, 1561.).

3. Chéreau, Jean, *Livre d'architecture*, ms n. 2280 biblioteca municipale Gdansk (Danzica), 1567-74 (Estratto: ff. vari).
4. Jousse, Mathurin, *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidèlement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, La Flèche 1642 (Estratto: ff. 78-121).
5. Bosse, Abraham, *La Pratique du Trait a preuves de Mr. Desargues Lyonnois, pour la Coupe des Pierres en l'Architecture*, Paris 1643 (Estratto: ff. 1-114).
6. Bosse, Abraham, *Maniere universelle de Mr Desargues, puor pratiquer la perspective...*, Imprimerie de Pierre Des-Hayes, Paris 1648 (Estratto: ff. vari).
7. Derand, François, *L'Architecture des voûtes Ou l'Art Des Traits, Et coupe Des Voutes...*, Paris 1643 (Estratto: ff. tutti trait géométrique des trompes).
8. Guarini, Guarino, *Euclides Adauctus et Methodicus...*, Torino, 1671 (Estratto: ff. vari).
9. Guarini, Guarino, *Caelestis Mathematicae...*, Milano, 1683 (Estratto: ff. vari).
10. Guarini, Guarino, *Architettura civile*, postuma, 2 vol., Torino 1737 (Estratto: ff. vari).
11. De Chales Milliet, Claude François de, *De Lapidum Sectione in Cursus seu mundus mathematicus*, Lugduni, ex officina Anissoniana, 1674 (Estratto: ff. vari).
12. De La Ruë, Jean Baptiste De, *Traité de la coupe des pierres*, Imprimerie Royale, Paris 1764 (Estratto: ff. tutti trait géométrique des trompes).
13. 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, 1754 (Estratto: frontespizi e ff. vari).
14. Monge, Gaspard, *Géométrie Descriptive*, Paris 1795, l'an III de la R.F. (Estratto: ff. vari).
15. Monge, Gaspard, *Traité élémentaire de Statique a l'usage des écoles de la marine*, Paris 1795, l'an III de la R.F. (Estratto: ff. vari).
16. Leroy, Charles-Félix-Augustin, *Traité de stéréotomie...*, Bachelier, Paris 1866 (Estratto: ff. vari).

17. Sergent, E., *Traité pratique et complet de tous les Mesurages, Metrages, Jaugeages de tous les corps*, Morel, Paris, 1873 (Estratto: ff. vari).
18. Monduit, Louis; Denis, Alexandre, *Stéréotomie au point de vue de la coupe des pierres*, C.H. Juliot, Paris 1889 (Estratto: ff. vari).

Il prodotto di tale operazione è contenuto completamente in un CD-ROM che in maniera organica permette di visualizzare l'evoluzione della disciplina in quasi cinquecento anni di attività, esso rappresenta inoltre un utile strumento, facilmente utilizzabile e disponibile per il prosieguo della ricerca.

Il secondo momento cardine della ricerca è rappresentato dall'analisi infografica degli elementi dell'architettura stereotomica contenuti nei folia di cui si è detto. La procedura di tale analisi consiste in diverse fasi:

1. Selezione critica degli elementi architettonici di studio;
2. Individuazione dei *folia* nei trattati;
3. Correzione delle deformazioni prospettiche del *folio* connesse alle tecniche di acquisizione dati;
4. *Vettorializzazione* bidimensionale delle sezioni principali (o del *trait géométrique*) dell'elemento architettonico;
5. Individuazione delle geometrie piane *ideali* alla base del tracciamento delle sezioni;
6. Modellazione solida tridimensionale dell'elemento architettonico;
7. Esplicazione delle geometrie solide che conformano l'elemento architettonico;
8. Individuazione di un *campo di variabilità* geometrico/formale, compatibile e generalizzabile, dell'elemento architettonico;
9. Impaginazione delle immagini di sintesi;
10. Predisposizione (creazione di file STL, o progettazione CAM) dei modelli alla *prototipazione* dell'elemento;

Tutto ciò è sinteticamente presentato nel Volume II delle "tavole", in cui gli elementi dell'organismo architettonico, codificati all'interno della trattatistica stereotomica, vengono analizzati per mezzo delle più avanzate tecniche di modellazione *infografica* tridimensionale. Di questi se ne descrive la natura geometrica e le principali caratteristiche di applicazione. Lo sforzo è quello di trarre un metodo che

permette di operare/progettare campi di possibili *variabilità formali compatibili* dell'elemento architettonico al fine di *perpetuare la scoperta* razionale della forma, propria del processo progettuale architettonico. Il virtuosismo tecnico-costruttivo delle più importanti "invenzioni" dell'architettura stereotomica, da *mito* passa a razionalizzazione processuale attraverso il vaglio delle contemporanee tecnologie informatiche di modellazione geometrica e di prototipazione a CNC. Lo slancio di questa analisi è direttamente indirizzato alla Progettazione contemporanea che arricchendosi della conoscenza storica crea con essa i presupposti per una dialettica dalla forte tensione innovativa.

Infine il terzo momento è dedicato alla stesura del "testo critico" dell'intera ricerca, articolato in cinque capitoli corredati di una bibliografia ragionata e strutturato nel primo volume della tesi.

Il primo capitolo è dedicato all'evoluzione storica del paradigma stereotomico nell'arte del costruire.

In quest'ultimo si delinea il ruolo che la stereotomia ha avuto nella storia dell'architettura, dalla sua originaria assenza all'interno della trattatistica italiana alla proficua dialettica osmotica italo/francese. L'analisi passa quindi alle grandi tappe del processo di codifica della disciplina nei trattati francesi sottolineandone i momenti cardine. Si analizza, quindi, l'unico contributo italiano alla disciplina da parte di Guarino Guarini riflettendo sulle sue aperture metodologico/speculative sulla forma architettonica. L'intento di questa trattazione è quello di tracciare una evoluzione storica della disciplina focalizzando l'attenzione sulle architetture/elementi architettonici di svolta, intendendo quest'ultimi come quei prodotti dell'arte e dell'ingegno umani capaci di indirizzare fortemente il pensiero la teoria e, non ultima, la pratica dell'arte del costruire. Tali prodotti dell'intelletto possono rappresentare opere realizzate o solamente progettate, e risultati generalizzabili di una speculazione teorico/applicata. In entrambi i casi è valido il

presupposto della capacità di raffigurare momenti bivio nell'evoluzione storica della materia.

Il secondo capitolo è dedicato alle odierne linee di ricerca sulla disciplina stereotomica in rapporto alla Progettazione Architettonica. Si traccia lo stato dell'arte della ricerca contemporanea e il valore paradigmatico della disciplina a causa della sua fortissima vicinanza teorico/pratica con le contemporanee tecniche di progettazione/esecuzione CAD/CAM. Di queste ultime se ne esalta la potenzialità speculativa grazie al legame storico di continuità concettuale che è a presupposto teorico della tesi.

Il terzo capitolo fa un passo indietro nell'analisi evolutiva della disciplina, tornando alle origini, attraverso una analisi più dettagliata di determinate opere di Philibert de l'Orme e della codifica rinascimentale dell'*art du trait géométrique*. L'intento è quello di "vedere da vicino" le problematiche di carattere teorico/pratico connesse al principio costruttivo dell'arte del tracciato geometrico.

Il quarto capitolo presenta una sintesi dei tipi di modellazione e di modelli *infografici*, ed è fondamentalmente descrittivo dell'operazione di classificazione degli elementi della "stereotomia digitale", presentati nel Volume II della tesi dedicato alle "Tavole".

Il quinto e ultimo capitolo, precede le conclusioni della tesi, e entra nel merito degli aspetti più propriamente tecnici della stereotomia attraverso il metodo comparato-*ieri/oggi*. Esso è intitolato *Tecniche costruttive stereotomiche a confronto: tradizione/innovazione, tre casi-studio*.

Nella fattispecie vengono analizzate puntualmente tre tecniche di progettazione/esecuzione stereotomica che tentano una sintesi del metodo. La prima relativa al progetto/realizzazione manuale, riferita allo Stage *trompe* presso la *Fondation de Coubertin* presso l'Atelier Saint-Jacques, Paris; la seconda relativa al progetto/realizzazione totalmente informatica, riferita all'esperienza di prototipazione CAD/CAM della *trompe* sinistra de *l'hôtel Bullioud* a Lione, eseguita presso il laboratorio CAD/CAM del Politecnico di Bari

– Facoltà di Architettura; la terza relativa al progetto/realizzazione con tecniche miste progettazione CAD e realizzazione semi-tradizionale, riferita all'esperienza in corso di attuazione del Belvedere *Locus finis terrae* a Santa Maria di Luca - Lecce.

Il confronto metodico e diretto delle tre tecniche ha consentito di giungere alle opportune conclusioni critiche con la massima evidenza oggettiva.

Le conclusioni riguardano l'intero corpus della tesi evidenziando i punti di forza della stessa tracciandone possibili prosecuzioni o aperture speculative .

0.6. Ringraziamenti

Molte sono le persone che hanno contribuito in diverso modo ad arricchire la presente tesi.

Rivolgo per questo i miei sentiti ringraziamenti a Camillo Trevisan per avermi fatto conoscere da vicino il suo interessante lavoro sulla *trompe d'Anet* di P. de l'Orme; José Calvo Lòpez per avermi ben indirizzato sulla "classificazione" degli *elementi stereotomici*; Dominique Bonnet Saint Georges per avermi condotto all'interno del "mondo lionese" di P. de l'Orme e per aver manifestato esplicitamente interesse nella tesi; Luc Tamborero e tutto il *Compagnonage* per le indimenticabili e piacevolissime ore trascorse a "parlare" di stereotomia; e i tecnici della CMS (Costruzione Macchine Speciali) di Zogno - Bergamo per essere stati capaci di trasferire i loro know-how mettendosi prontamente a disposizione delle specifiche richieste della tesi.

Sento infine il dovere di ringraziare profondamente il prof. Claudio D'Amato Guerrieri per più ragioni. In primo luogo perché è dalle sue ricerche che proviene l'interesse scientifico sulla disciplina stereotomica e sulle metodologie d'investigazione dell'architettura in pietra da taglio che hanno animato tutto il lavoro.

In secondo luogo perché ha permesso a questa giovane ricerca di essere sottoposta al giudizio del luminare della disciplina, quale il prof. Jean-Marie Pérouse de Montclos.

Grazie alle lunghe e assai fruttuose conversazioni sull'argomento e alla segnalazione delle giuste coordinate di lavoro è stato possibile giungere ad una strutturazione organica della ricerca.

Non essendo certo di aver disvelato tutto il lavoro in analisi penetranti e esplicative, in concetti espressi con nitidezza ed accuratezza, sottolineo che tutti gli errori, le imprecisioni o le mancanze sono da attribuirsi solo ed interamente a chi scrive.

Dott. Giuseppe Fallacara

VOLUME I. Testo critico

0. Introduzione

Il paradigma stereotomico nell'arte del costruire.

Dalla natura sincretica della modellazione digitale alla

progettazione/costruzione di elementi architettonici in pietra da taglio.

1. Il paradigma stereotomico nell'arte del costruire: indagine storica

*...Non è però questa (tecnica proiettiva dell'Ortografia gettata)
di quella meno utile, anzi ch'è assolutamente necessaria
all'Architetto, abbenchè poco conosciuta dalla italiana
architettura, solamente dalla francese in molte occasioni
egregiamente adoperata.*

Guarino Guarini⁶

1.1. Sulle origini della stereotomia in epoca moderna⁷

L'intento di questa trattazione è quello di tracciare l'evoluzione storico-critica della disciplina stereotomica focalizzando l'attenzione su architetture/elementi architettonici "di svolta", intesi come prodotti dell'arte e dell'ingegno umani capaci di indirizzare fortemente il pensiero, la teoria e, la pratica dell'arte del costruire.

Questi prodotti dell'intelletto possono essere opere realizzate o solamente progettate, i cui risultati sono comunque rappresentativi di una speculazione teorico/applicata di svolta nell'evoluzione storica della materia.

La lettura e l'analisi comparata della trattatistica e della manualistica sull'argomento, dalle opere più recenti a quelle più addietro nel tempo è risultato il metodo più opportuno per risalire ad una sintesi storico-concettuale dell'arte *del taglio delle pietre*. Dalle introduzioni ai trattati ottocenteschi e parte della manualistica novecentesca è possibile ricostruire il lungo filo cronologico delle origini della disciplina. In alcuni casi la ricostruzione risulta originale e apporta conoscenza all'indagine, in altri risulta una sterile ricopiatura dei trattati precedenti.

⁶ Guarini, Guarino, *Architettura civile*, postuma, 2 vol., Torino 1737 (succ. London 1964, Milano 1968), trattato IV, p. 228.

⁷ Per stereotomia in epoca moderna, argomento dell'indagine, intendiamo l'arte del taglio delle pietre codificato in Francia da Philibert Delorme a Frezier: dalla prima metà del XVI sec. alla prima metà del XVIII sc.

In ogni caso la letteratura francese sull'argomento è concorde nell'affermare la autorità indiscussa e l'originalità nazionale dell'arte della stereotomia⁸ nel panorama culturale europeo⁹.

Sulle ipotesi circa le origini della disciplina, come avremo modo di vedere, la teoria moderna francese sottolinea l'assoluta assenza di conoscenze stereotomiche da parte degli antichi riconducendo tale disciplina ad una forma di invenzione moderna di eredità medioevale.

1.1.1. Sul concetto di stereotomia

È necessario, qui, un primo chiarimento sul concetto di architettura stereotomica.

La stereotomia, dal greco στερεος solido e τομή taglio, è la scienza del taglio dei solidi che attraverso tecniche grafiche di tipo proiettivo è in grado di determinare le forme esatte delle superfici di involuppo di singoli conci costituenti l'elemento o il sistema architettonico di progetto e conseguentemente realizzarli. Essa assomma l'insieme di procedure geometriche codificate, coerenti e ripetibili, atte a progettare ed a rappresentare interi edifici, o parti di essi, costruiti in pietra o legno¹⁰. La stereometria è invece quella parte della geometria che ha per oggetto la misurazione delle figure solide.

A tale proposito, C. F. A. Leroy¹¹, nel 1844, sostiene che:

Quest'ultima parte (la Stereotomia) è l'arte di tagliare i materiali solidi, quali la pietra ed il legno, in maniera tale che le loro diverse porzioni, riunite in un determinato ordine, presentano un insieme che abbia la forma assegnata in precedenza, e che offra inoltre una grande stabilità alla funzione cui è preposto.

La stereotomia, per sua costituzione ontologica ingloba necessità statica e/o meccanica connesse all'idea di

⁸ E' Jacques Curabelle ad usare per la prima volta il termine *stereotomia*, nel suo libello del 1644 contro Desargues: *Examen des oeuvres du Sieur Desargues*.

⁹ Con qualche eccezione per la Spagna.

¹⁰ L'etimo del termine non contiene informazioni sul tipo di materiale finalizzato al taglio.

¹¹ Leroy, Charles-Félix-Augustin, *Traité de stéréotomie...*, Bachelier, Paris 1844, *Avertissement*.

costruzione di sistemi architettonici per elementi distinti e non vincolati se non per forma.

Ancora C. F. A. Leroy¹² è illuminante a tal proposito:

Tuttavia non bisogna credere che quest'arte si riduca al lavoro manuale del compagno che taglia la pietra o il legno, al fine di realizzare dei pezzi il cui unico scopo è quello di unirsi ad altri, perché in prima istanza, l'ingegnere o l'architetto devono esaminare i vantaggi e gli svantaggi di una predeterminata volta, le possibilità di raccordarsi con opere preesistenti o composizioni complesse, le modalità di suddivisione in conci più convenienti atte ad assicurare la stabilità della costruzione e ad evitare gli effetti di spinte multiple; si dovrà inoltre comporre i diversi elementi di una carpenteria in maniera da rendere gli assemblaggi invariabili, e soprattutto evitare che i carichi producano spinte nel vuoto. Non si intende, qui, il calcolo delle dimensioni degli elementi, e neanche dei piedritti o alle reni delle volte, considerando che quest'ultime condizioni rientrano nei corsi di costruzione e non nei problemi di stereotomia propriamente detta.

"Le modalità di suddivisione in conci più convenienti" rappresenta il presupposto di base del concetto di apparecchiatura della stereotomia che, in ragione delle istanze statiche e/o decorative, può o meno essere manifestatamene esplicitata.

La qualità dell'impegno geometrico sotteso alle tecniche di determinazione del blocco nel sistema murario, fa sì che nella maggior parte dei casi la "srcittura" dell'apparecchiatura sia un dato distintivo delle architetture stereotomiche.

La disciplina stereotomica si fonda su tre principi-cardine che qualora non presenti implicano il venir meno del concetto di architettura stereotomica:

1. *invariante prefigurativo*: capacità di suddivisione di un continuo architettonico in opportune parti (apparecchiatura);

¹² Ibidem

2. *invariante tecnico/geometrico*: capacità di definizione geometrica puntuale dell'elemento concio (tecnica proiettiva);
3. *invariante statico*: capacità di assicurare l'equilibrio meccanico del sistema architettonico giuntato a secco (meccanica dei corpi rigidi).

In base all'esistenza di questi tre parametri (combinabili in ordine casuale) è possibile definire un filtro selettivo, atto a discernere le generiche architetture in pietra da quelle di natura stereotomica, che qui consideriamo quale speculazione estrema dell'architettura in pietra.

1.1.2. La stereotomia in epoca Antica

I problemi posti dalla stereotomia moderna hanno poche relazioni con quelli posti dallo studio delle volte di antica origine. Resta l'esigenza di una panoramica storica che permetta di capire presso quali civiltà, sia stato compiuto l'uso delle nozioni stereotomiche, applicate alla pietra da taglio.

Si può ritenere che già nel II sec. a.C. la stereotomia, in quanto "*sezione dei solidi*" avesse raggiunto ampie conoscenze scientifiche¹³.

Platone estende allo spazio lo studio sistematico della geometria, fino ad allora riservato quasi esclusivamente al piano. A questi, assieme a Eudoxe di Cnido, a Menechme e ad Aristeo si devono anche i primi studi sulle sezioni coniche, di cui resta tuttavia una scarsa e indiretta documentazione¹⁴.

Dopo Euclide, a parte Archimede, il più grande matematico greco fu Apollonio di Perga, vissuto nella seconda metà del III

¹³ La necessità di risolvere problemi sempre più complessi, quali la duplicazione del cubo, la trisezione dell'angolo, la quadratura del cerchio, hanno portato alla ricerca e costruzioni di nuove linee, di nuove curve: Ippia di Elide (V sec. a.C.) inventa la quadratrice, una curva per mezzo della quale egli ottiene la quadratura del cerchio e la trisezione dell'angolo; Archita di Taranto o forse Menecmo di Proconneso, ambedue fioriti intorno al 400 a.C., per mezzo dell'intersezione di due parabole risolvono il problema della duplicazione del cubo. La stessa applicazione sarà risolta nel II sec. a.C. da Diocle tramite una nuova curva, la clissoide. C. Crescenzi, *Stereotomia, Scienza del taglio dei solidi*, Dossier, 2002.

¹⁴ A. Giordano, *Cupole volte e altre superfici*, Utet, Torino, 1999, p. 35.

secolo a.C. Di lui ci sono pervenute le *Sezioni coniche*, argomento cardine nelle speculazioni scientifiche dei matematici di epoca *moderna* che affiancavano tali studi al taglio delle pietre. Questo argomento non era del tutto nuovo, ma Apollonio ripensò a fondo l'impostazione della materia e la espose in maniera rigorosa e sistematica, introducendo anche la terminologia tecnica per designare i tre tipi di coniche e cioè "ellisse", "parabola" e "iperbole". Le *Sezioni coniche* sono considerate dagli storici della matematica un capolavoro di prima grandezza, dato che gli stessi moderni hanno potuto aggiungere poco in materia¹⁵.

Seguendo la logica dei tre principi-cardine della stereotomia, ad esempio nell'analisi della colonna dorica¹⁶, che presuppone un attento studio geometrico dell'*entasis*, possiamo ritenere che il concetto dell'apparecchiatura del sistema lapideo pur esistendo nel mondo greco, non interessa direttamente la statica del sistema architettonico ma piuttosto la congrua suddivisioni in parti lapidee che concorrono alla percezione monolitica dell'ordine architettonico (Vol. II, Tav. 1).

Ragionare quindi in termini di "il tutto e le sue parti" (ordine architettonico e blocchi monolitici che lo conformano) nel caso dell'architettura classica significa porre l'attenzione unicamente sulla definizione formale degli elementi architettonici atti, nella loro aggregazione, a costruire *l'ordine* che aspira all'unicum scultoreo alla stessa stregua di una volta stereotomica. Da qui l'apparecchiatura invisibile della colonna in rocchi e tutti gli escamotage tecnico/formali messi in atto, nella conformazione delle parti, al fine di rendere l'opera figurativamente di un solo blocco attraverso l'annullamento visivo delle soluzioni di continuità causate dalla presenza di giunti di collegamento fra i blocchi lapidei.

È presente qui, come per l'architetto moderno, l'aspirazione ad architetture grandiose, ottimizzando la disponibilità di

¹⁵ G. Reale, D. Antiseri, *La filosofia nel suo sviluppo storico*, Editrice La Scuola, Brescia, 1988, Vol. I, cfr. *Le conquiste delle scienze ellenistiche*.

¹⁶ Ricerche coordinate dal prof. Claudio D'Amato sul Tempio di Apollo Epicureo a Bassae a.a. 2000/2001. Cfr. C. D'Amato, *Archeologia e ricostruzione: la replica del capitello 9° del tempio di Apollo Epicurio A Bassae*.

materiale a disposizione (piccoli blocchi che diventano grandi opere), con l'idea di "fare economia" della costruzione, per necessità e con ingegno.

È interessante a tal proposito leggere quanto sostiene, in maniera un po' ingenua, Louis Monduit¹⁷ sull'origine del taglio delle pietre:

...in effetti gli antichi potevano disporre di blocchi enormi di pietra, immaginando di fare delle volte piane utilizzando queste immense pietre...nei nostri giorni è molto raro vedere le piattabande fatte di un unico blocco lapideo...oggi le pietre resistenti, di grandi dimensioni, mancano in gran parte e ricorriamo quindi alle diverse apparecchiature come avremo modo di studiare...

Proseguendo con la letteratura dei primi del novecento, quindi con i teorici contemporanei¹⁸ C. J. Toussaint¹⁹ sostiene che:

Esistono poche opere moderne sul taglio delle pietre; l'antichità non ne ha lasciate alcuna. I Greci ed i Romani hanno ignorato quest'arte; il medioevo, che ha prodotto delle bellissime opere gotiche, l'ha praticata, ma nessun autore di quei tempi ha avuto l'idea di riunire i dati messi in pratica dai suoi grandi artisti, inconsci della loro geniale fantasia, al fine di determinare in maniera precisa le regole della stereotomia. È al Rinascimento che siamo riconoscenti di aver posto i principi che, dal sedicesimo secolo in poi, hanno diretto gli sforzi dei nostri grandi architetti moderni in una via certa e fertile di grandi concetti...La stereotomia²⁰ o Taglio delle Pietre è la scienza del taglio e dello sviluppo dei corpi solidi, o, in una sola parola l'arte di tracciare gli epure (disegni in scala reale N.d.a.) e di eseguirli costruttivamente. Lo scopo di quest'arte è di formare volte, archi, piattabande e tutte le

¹⁷ Monduit, Louis; Denis, Alexandre, *Stéréotomie au point de vue de la coupe des pierres*, C.H. Juliot, Paris 1889.

¹⁸ La teoria contemporanea a cui si fa riferimento è la manualistica, in versione originale, databile al massimo sino ai primi del novecento.

¹⁹ C. J. Toussaint da Manuels Roret, *nouveau Manuel Complet de la Coupe des Pierres*, Paris chez Leonce Laget, 1981 (la prima edizione 1902 è introvabile), *Avant-Propos, Bibliografia*.

²⁰ In nota l'autore riporta- questo termine è formato da due parole: stereo=durabile, tomia=tagliare. Traduzione ovviamente errata ma che ci fa riflettere sull'idea che se ne può trarre dal tale disciplina, ossia un'arte finalizzata a rendere durabile quindi eterno un edificio.

altre parti della costruzione in pietra, per mezzo di conci tagliati che posizionati e affiancati gli uni agli altri possano sostenersi senza l'utilizzo di malte... Al fine di una lettura storico-cronologica, in effetti, gli Egiziani, che possiamo considerare, nella storia del mondo, come il primo popolo di cui la civilizzazione e le arti ci sono pervenute, ignoravano completamente l'arte delle volte. Essi costruivano con sistemi trilitici riconducibili alla piattabanda, nella fattispecie marmorea e granitica, di volume e peso enormi, in pezzi monolitici, onde da cui l'architettura greca trova le proprie origini.

I teorici contemporanei, assimilando e conformandosi alla teoria moderna circa l'origine della tecnica del taglio delle pietre, concordano con la tesi che sostiene la derivazione di tale tecnica dalla pratica costruttiva dell'arte del carpentiere. Tale impostazione è ben esplicitata dal titolo del trattato del Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*²¹ su cui torneremo più avanti.

Quindi, ancora C. J. Toussaint²², riporta:

Il taglio delle pietre, evidentemente ispirata alla carpenteria lignea della più antica tradizione, è un'arte che si può considerare moderna, perché i popoli civili dell'antichità l'ignoravano. I Greci primitivi si ingegnarono in vario modo costruendo con il legno i primi templi, per esempio, il Philippeum, costruito ad Olimpia per Filippo re di Macedonia, in cui la cupola (tholus – così come riporta l'autore - dal greco e significa cappello) arditamente costruita in legno può leggersi quale archetipo delle moderne cupole sferiche. I teatri, i ponti, le basiliche della prima era eroica, i primi templi della cristianità, erano concepiti e costruiti in legno; tutte le possibili soluzioni formali, archi, cupole, volte, pennacchi,..., preesistevano nelle tecniche costruttive lignee.

²¹ 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).

²² C. J. Toussaint, cit. (nota 19).

Il passaggio necessario a monumenti concepiti per resistere nel tempo ha consentito lo sviluppo di quest'arte del taglio delle pietre che si è andata codificando in maniera autonoma dalle tecniche costruttive lignee, restando in continuità con il principio dell'assemblaggio a secco. Quindi, la coupe des pierres non è che una applicazione dell'art du trait dei carpentieri, modificata alla natura della pietra in tutta la sua specificità morfologico-costitutiva.

J. Chaix²³, qualche anno avanti la prima edizione di C. J. Toussaint sostiene che:

La stereotomia è l'arte di tagliare i corpi solidi e, più specificamente, la pietra ed il legno. Essa si divide quindi molto semplicemente in due parti:

- 1. La stereotomia della pietra o taglio delle pietre;*
- 2. La stereotomia del legno o carpenteria.*

Essa si basa sui metodi generali della geometria descrittiva, ben che, in realtà, quest'ultima nasce dalla prima. Prima che Monge creasse la geometria descrittiva, i carpentieri e gli apparecchiatori utilizzavano, in effetti, il metodo proiettivo per determinare le forme e le dimensioni degli assemblaggi di pezzi di legno o i letti di contatto di conci di pietra.

Quest'ultimo brano riporta ciò che in maniera più diretta qualche anno prima riferiva C. F. A. Leroy²⁴, ossia:

È molto probabile che gli antichi costruttori, e soprattutto i carpentieri, a cui l'uso frequente del filo a piombo restituisce un'idea più esatta delle linee proiettanti, abbiano per primi utilizzato il metodo delle proiezioni per determinare la forma esatta degli assemblaggi lignei o delle facce dei conci lapidei...

Il fenomeno di litizzazione dell'architettura di matrice lignea e, il passaggio teorico-pratico della scomposizione del continuo in parti, sono ben esposti dal Frézier nei Preliminari del suo

²³ Chaix, J., *Traité de la coupe des pierres. La stéréotomie*, H. Chairgrasse fils, Paris 1890 (reprint Seld J.C. Godefroy, Paris 1997), *Avant- Propos*.

²⁴ Leroy, Charles-Félix-Augustin, cit. (cfr. Nota 11)

Trattato, Terzo discorso, *Sull'origine della Coupe des Pierres, e dell'utilizzo che se ne deve fare:*

Il legno è il materiale più naturale e più comodo per la costruzione degli edifici necessari alle abitazioni degli uomini; ma il desiderio comune a tutti coloro che fanno edifici degni di considerazione, stabilendone una lunga durata, a causa della caducità del legno, connessa anche al pericolo degli incendi, fa in modo che la pietra sia preferita al legno o a quest'ultimo sostituita. La necessità ha quindi spinto gli uomini in differenti contesti ad utilizzare le pietre in luogo del legno; perché la natura ha fornito loro più di cave che di foreste. Ciononostante la maniera di costruire con gli alberi è apparsa così naturale da considerarla ancora quale riferimento di bellezza ed imitazione. Da qui che ci perviene l'utilizzo delle colonne dell'architettura antica e dei pilastri tondi nella gotica. Al fine di rendere perfetta questa imitazione, realizzavano le loro colonne, al massimo delle possibilità, monolitiche, al pari di tronchi d'albero; in ugual modo per gli architravi che le colonne sostenevano. Quel che resta delle vestigia egiziane, greche e romane, è la prova dell'utilizzo di blocchi di pietra di enormi dimensioni.

Negli ultimi secoli si è abbandonata questa maniera di costruire troppo difficile per l'immensità di pesi da trasportare, e per le spese eccessive da sostenere; quindi si è preferito l'assemblaggio di più Pietre di grandezza maneggiabile, e senza allontanarsi dal gusto degli Antichi, si è continuato ad imitare i tronchi d'albero per le colonne; ma le si è fatte di Tamburo, ossia, di tronchi cilindrici; si è anche imitato le travi per gli Architravi; ma facendoli in Conci con la chiave, che si sostengono in aria, come se il tutto fosse costituito da un unico Pezzo continuo...

1.1.3. La stereotomia in epoca Medioevale

Jean-Marie Pérouse de Montclos²⁵, sostiene che l'influenza più diretta all'origine della stereotomia moderna francese si ritrova nelle "Antichità Nazionali" del sud della Francia (Francia provenzale): il Pont du Gard, il tempio di Diana e le arene di Nîmes e Arles rappresentano l'epicentro stereotomico della Francia Moderna. Ricordiamo che la volta a botte elicoidale, la famosa vis de Saint-Gilles è una specialità locale (Vol. II, Tavv. 296-299). Secondo una ipotesi correntemente sostenuta, che trova le sue radici in alcuni lavori scritti nell'800, i metodi del taglio delle pietre sarebbero stati portati dall'Oriente all'Occidente dai Crociati.

Questo movimento di genti in armi verso i luoghi santi (da notare che il termine crociata non venne mai usato nei documenti dell'epoca. In tutti i documenti si parla di pellegrinaggio in Terrasanta.) ebbe inizio nel 1095, durante il Concilio di Clermont, nel quale Papa Urbano II incoraggiò la guerra contro gli infedeli. Quest'appello non rimase inascoltato, anzi, tanto fu grande la risposta che un enorme numero di persone partì dalla Francia verso la Terrasanta. L'esercito dei crociati era formato da molte armate, tra queste riportiamo le più importanti: l'armata franco-normanna, l'armata franco-tedesca, l'armata della Francia del sud (guidata da Raimondo di Saint-Gilles, conte di Tolosa), e l'armata italo-normanna (guidata da Boemondo I d'Altavilla, conte di Taranto e di Bari, primogenito di Roberto il Guiscardo). Nel 1099 i crociati liberarono Gerusalemme dai musulmani, che l'avevano dominata per circa 450 anni, e la città tornò ad essere cristiana, ma latina e non più greca. Il 22 luglio 1099 Goffredo di Buglione, rifiutato il titolo di re di Gerusalemme, accettò di essere acclamato "*Advocatus Sancti Sepulchri*". Nasceva il Regno di Gerusalemme. I Crociati,

²⁵ Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *L'architecture à la française, XVIe, XVIIe, XVIIIe siècles*, Picard, Paris 1982.

chiamati Franchi dai Musulmani, costituirono in Medio Oriente degli Stati simili a quelli europei.

Dalle memorie di viaggio di Ibn Giobair²⁶, riscontriamo che: *Lasciando Tibnin (presso Tiro), abbiamo attraversato una serie ininterrotta di fattorie e di villaggi le cui terre sembrano efficacemente sfruttate. Gli abitanti di quei luoghi sono tutti musulmani, ma vivono nel benessere con i Franchi - che Dio ci preservi dalle tentazioni! - Sono proprietari delle loro abitazioni e di tutti i loro beni. Tutte le regioni controllate dai Franchi in Siria sono sottomesse a questo stesso regime: le proprietà fondiarie, i villaggi e le fattorie sono rimaste nelle mani dei musulmani. Ora un dubbio si fa strada nel cuore di un gran numero di questi uomini quando paragonano la loro condizione a quella dei loro fratelli che vivono in territorio musulmano. Questi ultimi soffrono, in effetti, dell'ingiustizia da parte dei loro correligionari, mentre i Franchi agiscono in equità."*

Proprio questo stato di pace può aver giovato al fecondo scambio delle conoscenze scientifiche e culturale tra il popolo europeo e quello musulmano. In questo clima di reciproco contatto è possibile rintracciare le origini dell'arte della *coupe des pierres* che i vari ordini religiosi tra cui i Templari condussero in terra europea. In Terrasanta, dal 1146, altre sette crociate si succedettero alla prima, con esiti spesso avversi per i cristiani, ma i cavalieri Templari si fecero sempre valere per dedizione e sacrificio. Tuttavia non poterono evitare nel 1244 la caduta di Gerusalemme, e nel 1291 la conquista di Acri, con la cacciata dei Franchi dai luoghi santi. Nello stesso periodo i Templari d'Occidente erano impegnati in un'opera civilizzatrice: realizzavano strade, costruivano ponti, edificavano chiese e ospizi per i viandanti, bonificavano terreni paludosi, sviluppando di conseguenza il commercio. L'origine dell'architettura gotica è legata alla nascita

²⁶ Citato in Maalouf A. - *Le Crociate viste dagli Arabi* - SEI - pag. 285

dell'Ordine del Tempio e di corporazioni di costruttori, come gli *Enfants de Salomon*, impegnate a promuovere la rinascita simbolica del mitico tempio di Salomone a Gerusalemme nel VI sec a.C. Lo sviluppo della stereotomia nei secoli XII e XIII nel sud della Francia è uno degli argomenti a favore di questa tesi²⁷.

La tipologia *moderna* dello spazio voltato si rifà quasi totalmente alle architetture lapidee del periodo romanico, epoca di transizione a cavallo tra il mondo antico e quello gotico. Nell'architettura romanica è infatti possibile trovare tra le opere realizzate tutti i proto-modelli dell'architettura stereotomica moderna (volte a botte, a crociera, volte elicoidali, ecc.), che introducendo col mezzo del disegno la capacità di razionalizzare il processo costruttivo elimina le approssimazioni dei procedimenti romanici. È curioso chiarire che il forte legame stilistico-costruttivo-tipologico, tra l'architettura stereotomica moderna e quella romanica si trova a cavallo del periodo gotico con cui il legame è meno forte di quanto si possa immaginare.

La relazione tra il periodo moderno e quello romanico, almeno in Francia, è giustificato dal dato storico che la tradizione costruttiva romanica è sopravvissuta nell'area provenzale sino al XIV secolo, inoltre le necessarie operazioni di restauro integrativo/ricostruttivo hanno creato il presupposto giusto per perpetuare una tecnica costruttiva con rinvigoriti affinamenti tecnico/speculativi. In tali contesti, i più grandi esponenti della stereotomia moderna si sono cimentati in opere di restauro alternando soluzioni mimetiche a ricostruzioni identiche all'originale. L'affinamento delle tecniche sui cantieri romanici ha marcato la differenza tra i due periodi che vedono l'uno razionalizzare²⁸ le forme tecniche sedimentate dell'altro.

²⁷ Sottolineiamo che il fecondo intreccio di culture a favore della stereotomia è rintracciabile in diversi altri monumenti presenti nell'europa mediterranea. Tra questi spicca il Castel del Monte in Puglia.

²⁸ Con il controllo unitario dello spazio prospettico rinascimentale si compie l'importante passaggio dalla logica seriale verso la logica organica dell'architettura.

Al fine di una esatta comprensione della distanza tecnico/concettuale con l'arte gotica risulta importante riflettere sulla natura ontologica dell'elemento cardine della sua architettura: la nervatura ogivale. Può risultare paradossale che l'evoluzione della stereotomia moderna non guardi direttamente indietro ma faccia un salto più lungo nel processo di codifica di uno stile nazionale. Quest'ultimo attraverso le tecniche stereotomiche eccelle per la plasticità avvolgente dei volumi di cui ne esplicitano piegature e curve spaziali di intersezioni di volumi. L'organismo architettonico non risulta scomposto in nervature spaziali ma sottolinea la continuità volumetrica enfatizzandone le soluzioni di continuità quali luoghi di accumulo del sapere tecnico: la soluzione della curva spaziale di intersezione. Quest'ultima è in effetti negata dalla architettura gotica dalla soluzione costruttiva della *nervatura costolonata*. Essa rappresenta la negazione alla risoluzione stereotomica della curva spaziale (letta sugli spigoli dei singoli conci) nata dall'intersezione dei volumi. In luogo di un esatto *disegno lapideo spaziale* della curva di intersezione (ad esempio, tra due o più volte a botte) esiste la nervatura costolonata piana (la cui traccia al suolo è sempre retta, di contro a quella curvilinea dell'intersezione spaziale) che "cela" ogni problematica di natura stereotomica, creando la scissione tra *elemento portato* ed *elemento portante*, alla base dello spazio seriale.

Gli spazi stereotomici moderni esaltano, dei volumi in cui si costituiscono, la plasticità delle superfici: per questo motivo la continua ricerca concettuale della riduzione degli spessori, compatibilmente all'esigenza statica del manufatto, trova sempre posto nell'analisi speculativa delle forme.

Bisogna sottolineare che lo *spazio moderno* non può comprendersi senza la *prospettiva*.

Ancora, il valore percettivo dello *spazio stereotomico moderno* è di duplice natura: l'insieme e la parte. Il primo si basa sull'assoluta plasticità organica dei nodi spaziali (verticale, obliquo, orizzontale) quale risultato di una assoluta comprensione-composizione dei *luoghi geometrici solidi*. Il secondo si basa sull'effetto (anch'esso fortemente organico)

della suddivisione razionale del suddetto spazio:
l'apparecchiatura. Quest'ultima è sia risposta statica
congruente che decorazione congruente del suo spazio.

Nell'architettura gotica, il problema del nodo di intersezione
fra i *volumi*, viene rinviato a pochi elementi *monolitici-tipo* (le
giunzioni tra i vari costoloni) che empiricamente elidono la
problematica connessa alla comprensione della esatta natura
geometrica degli elementi-conci dell'operazione compositiva.

Come si può dedurre, l'architettura gotica, pur nella sua
complessità non risponde concettualmente a tali esigenze
della ragione, anche se ad essa va riconosciuto il merito di
aver indagato le complesse relazioni grafiche che legano la
pianta con l'alzato ed i ribaltamenti dei piani di costruzione.

A tal proposito risulta fondamentale lo studio, sulle tecniche
stereotomiche medioevali riportate da Villard de Honnecourt
(nella fattispecie le *planches* 39, 40 e 41 del suo *carnet*),
condotto da C. Lalbat, G. Margueritte e J. Martin²⁹, di cui si è
fatto tesoro per l'elaborazione *infografica* degli *archi obliqui*
(Vol. II, Tavv. 33-36).

La trasmissione al blocco lapideo, dell'esatta configurazione
geometrica da ottenere al fine del coerente inserimento
nell'organismo architettonico progettato a priori, rappresenta
il più alto conseguimento della stereotomia moderna. La
relazione biunivoca senza eccezioni tra il tutto spaziale e il
pezzo congruente, tra l'insieme e la parte in movimento
ciclico, costituisce il *modus innovativo* dell'architettura
stereotomica moderna che vincendo le sfide dello spazio si
impone a pieno titolo tra le arti del costruire in pietra.

Al fine di una analisi comparata, risulta importante
sottolineare che per i teorici moderni (del '500-'600, secondo
Vasari), gotico vuol dire medioevale, non distinguendo tra
periodo romanico e quello gotico propriamente detto.

²⁹ C. Lalbat, G. Margueritte e J. Martin, *De la stéréotomie médiévale: la coupe des pierres chez Villard de Honnecourt*. (cfr. Bibliografia ragionata)

Frézier³⁰ quando parla dell'origine gotica dell'*art du trait*, sostiene che:

Le proporzioni delle Colonne Antiche sembravano ai Galli ed in altri paesi d'Europa troppo massicce e troppo corte, sostituendole con elementi estremamente lunghi e sottili, e la difficoltà d'imitare con le Pietre la situazione orizzontale delle travi ha rigettato l'uso degli Architravi, in luogo dei quali bisognava passare da un pilastro all'altro grazie ad Archi di Pietra a sostegno delle volte, che si intersecano in modi differenti, e che imitano le Tonnelles voltate a Botte, come rami di alberi piegati e rotondi da entrambi i lati.

I contorni stessi delle volte a Botte cilindriche apparivano troppo pesanti, ossia, troppo impegnative per i muri, gli Architetti di quei tempi sceglievano i loro Centri da due archi di cerchio uguali, ma con diversa posizione degli stessi, al fine di ottenere pendenze più ripide, e quindi pilastri più sottili e leggeri: questi erano attraversati da altre parti di volte, che formavano una quantità di angoli d'attesa nascosti e rinforzati da Nervature d'Ogiva, da Archi doppi, da Tripli, e da nervature che formano una infinità di compartimenti, che abbelliscono spesso le "culs de lampes" (pendenti a sbalzo n.d.a.) sospese nell'aria. Tutte queste attese intrecciate, e le intersezioni delle Modanature richiedono una grande intelligenza nell'arte del Taglio delle Pietre; ove io congetturo, che è all'architettura gotica che noi dobbiamo riportare l'origine, o almeno l'adolescenza di questa arte. Ma e' ragionevole che quello che ci resta dei monumenti antichi che sono stati messi in uso, attraverso dei tracciati molto semplici, quello che nelle enunciazioni che Vitruvio ha fatto sulle conoscenze necessarie per l'architetto, non parla affatto di quella del Taglio delle Pietre; in effetti la nobile semplicità dell'architettura degli Antichi non necessitava troppo del saper fare degli Apparecchiatori, poiché costruivano solo volte cilindriche o sferiche. La formulazione al contrario di un grande numero di figure bizzarre e difficili, che si sono perfezionate in un momento nell'architettura gotica, ha

³⁰ Frézier, Amédée-François, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois...*, 3 vol., J. D. Doulssaker le fils, Strasbourg; L. H. Guerin, Paris, 1737-39 (succ. 1754, 1769, 1980), Libro I.

donato loro l'occasione di immaginarne altre per risolvere problemi dell'irregolarità degli spazi degli edifici, supplendo ai loro difetti. Gli angoli, per esempio, che non sembrano di luoghi appropriati all'apertura di Porte, non hanno impedito di voltare i passaggi senza indebolirli, cosa che appare in prima battuta contrario alla solidità; si sono portati in aria dei Cabinets sulle trompes al fine di lasciare uno spazio libero al di sotto; si sono sostenute le scale in una infinità di modi, e si sono immaginate tante cose sconosciute agli Antichi, delle quali si è trovato tanto materiale per scrivere dei libri.

1.1.4. La stereotomia in epoca Rinascimentale

La grande epoca della speculazione stereotomica, che coincide con la produzione di trattati sulla *coupe des pierres*, rimane tuttavia quella che va dal secolo XVI sino a tutto il XVIII, secolo col quale si ferma la presente indagine, con prosecuzione notevole ancora nel XIX.

Mathurin Jousse³¹, nel 1642, nell'introduzione ai suoi *Segreti d'Architettura*, onorando i grandi eruditi e le loro eccellenti opere nell'arte architettonica da Vitruvio a Leon Battista Alberti, Vincenzo Scamozzi, Andrea Palladio, Pietro Cutaneo, Sebastiano Serio e Vignola sostiene quanto segue a proposito dell'arte dei tracciati (*trait géométrique*), sottolineando in maniera netta l'impostazione teorica francese sulla *coupe des pierres*:

...Voi vedrete che tutti questi grandi Uomini (riferimento ai trattatisti Italiani! N.d.a.) non ci hanno detto una parola sul modo di disegnare i tracciati Geometrici necessari al taglio delle Pietre: quindi vi dirò che non ho mai visto un solo Autore che ne abbia parlato, tranne il Maestro Philibert de Lorme, che ci ha lasciato, nei suoi Libri terzo e quarto, qualche

³¹ Jousse, Mathurin, *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidèlement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, La Flèche 1642 (privilegio del 1635).

dimostrazione che non giudico errate: ma solamente di avere testo ed immagini comprensibili ai Dotti: quindi risultano poco comprensibili a molti che lavorano professionalmente nel taglio delle pietre: in maniera tale per cui chi non è abile in Geometria, tentando di seguire questi precetti nel taglio delle pietre, cadranno molto spesso in grandi errori. Non si penserà pertanto che io voglia taciarlo di ermetismo, o di ignoranza tutti gli altri eccellenti personaggi, li scuso di aver omesso di dire quello che hanno pensato, quello che l'Architetto deve aver appreso dalla Geometria a cui appartiene la regola di disegnare i tracciati... Se questi grandi Uomini avessero lasciato riposare nei loro scritti, così bene come perfettamente comprendevano, quello che hanno riportato nelle opere costruite, non ci sarebbero tutti gli errori che noi commettiamo in diversi punti della costruzione.

L'autore chiarisce quindi il perché del linguaggio "popolare", utilizzato nel trattato, finalizzato a far comprendere le regole della costruzione stereotomica agli addetti ai lavori, operando la prima vera forma di acculturazione della classe operaia.

Dopo Mathurin Jousse tutti i trattatisti successivi concordano sul merito, nonché sul primato, che Philibert De l'Orme ebbe nell'aver riportato i segreti secolari delle corporazioni massoniche al rango speculativo a diffusione stampa. Jean Baptiste De La Ruë³², nel 1728, raccogliendo l'eredità del padre Derand³³ sostiene quanto segue sullo stato dell'arte della disciplina sino alla data di stampa del suo trattato di poco antecedente alla magistrale opera di Frézier:

Tra le scienze che l'architettura comprende, quella del Taglio delle Pietre è senza contraddizione da tenere in maggior considerazione e delle più utili: grazie a questa perveniamo a trovare i tagli delle volte e di tutti i conci, e a condurre, in ordine conveniente, l'apparecchiatura dei conci, dal quale dipende la stabilità, e la bellezza delle facciate e degli edifici.

³² La Ruë, Jean Baptiste De, *Traité de la coupe des pierres*, Imprimerie Royale, Paris 1728 (succ. 1764, 1858).

³³ Derand, François, *L'Architecture des voûtes Ou l'Art Des Traits, Et coupe Des Voutes...*, Paris 1643 (succ. 1743, 1755).

Questa scienza, che chiamiamo ordinariamente il Trait, è una invenzione modernissima. Philibert de l'Orme è il primo che ha dato alcune regole. La trompe che fece costruire ad Anet, per sostenere il cabinet di Enrico II è una prova della sua capacità; ma oltre ad una non chiara spiegazione, nel trattato sono presenti pochi esempi.

Mathurin Jousse ha lasciato molti più esempi di trait, ma non si è reso più intelligibile. Questi due autori non hanno riportato nulla riguardante la maniera di tracciare le pietre.

Sembra che Desargues, di cui l'incisore Bosse ha messo a giorno l'opera, prevede di comunicare agli altri la scienza del Taglio delle Pietre, attraverso i principi che egli stesso stabilisce, pieno di novità nella terminologia e di singolarità dei suoi trait.

Jacques Curabelle ha fatto un esame delle opere di Desargues, ove rileva esattamente tutti gli errori. Si sarebbe auspicato che Curabelle avesse lasciato qualche opera sul Trait. Pare, da quello che ci resta di lui, che possedesse ugualmente la teoria e la pratica. Il padre Derand, Gesuita, è riuscito meglio di chi lo precedeva a spiegare e sviluppare l'art du trait; ma bisogna convenire, che al posto di iniziare, come ha fatto, dalle volte a botte in discesa, che come tipo di trait sono le più difficili, avrebbe dovuto trattare in primo luogo, le botti rette, quindi le volte maestre, ecc. avremmo avuto una migliore impostazione dell'ordine e nella disposizione delle parti della sua opera, come dichiara nella sua prefazione, che bisogna pensare prima con conoscenze semplici e facili, per giungere passo dopo passo fino a quelle che sono più difficili da concepire. Siccome i libri che trattano della Coupe des Pierres, sono rarissimi oggi, e comunque, tra quelli apparsi sino al presente, non ci sono di semplice portata, sia per principianti che per operai, ho creduto utile presentare questa opera al Pubblico. Non ho dimenticato niente al fine di renderlo istruttivo ed intelligibile; e per esserne più sicuro, ho unito alla maggior parte di epure, la loro elevazione e i punti dei centri; in più la rappresentazione di molti conci disegnati gradualmente, per supplire alla debole idea che se ne può

avere dal complesso intreccio di linee degli epure: cosa che sino a questo momento non era mai stata fatta.

Successiva all'opera di Jean Baptiste De La Ruë è, come si è detto, il trattato di Frézier³⁴. Quest'ultimo, direttore delle fortificazioni sotto lo stesso regno di Luigi XV, pubblica, nel 1737, una Teoria e Pratica del Taglio delle Pietre e del Legno in tre volumi, che fornisce tutto ciò che era stato detto prima di lui trascrivendo un gran numero di soluzioni fino ad allora sconosciute nella pratica. L'autore spinge la scienza e le dimostrazioni matematiche fino al loro limite estremo, se si considera soprattutto la scarsa conoscenza scientifico-matematica da parte degli architetti del tempo di cui ne sottolinea criticamente l'aspetto come segue:

Philibert de Lorme, consigliere di Enrico II, è considerato, il primo ad aver riportato in scrittura l'art du trait, anche se non espressamente, in occasione del suo Trattato di Architettura che pubblicherà nel 1567, si vede che questa data non è molto tarda; Maturin Jousse ha prodotto qualche Traits nel suo Libro intitolato Segreti d'Architettura stampato a la Flèche nel 1642, il Padre Derand, l'anno seguente ripropone quest'arte, secondo la sua intenzione, a beneficio degli operai; Bosse, (nello stesso anno) darà un sistema totalmente differente, appartenente a Desargues, il quale, a causa della sua oscurità ed estrema novità del suo linguaggio, non fu gradito. In fine M. De La Ruë nel 1728 ha rivisto una parte dei Traits del padre Derand con qualche altra novità. Tutti questi autori hanno prodotto una semplice parte priva di tutte le dimostrazioni. Il padre Dechalles nel 1672 fu il primo, e il solo fino ad ora, che ne ha aggiunto le Dimostrazioni; ma il suo Trattato de Lapidum Sectione, inserito nel suo grande corso di Matematica in Latino, non è che un estratto del P. Derand, di cui spesso ne ricopia anche gli errori, come dimostreremo al momento opportuno.

Dopo aver analizzato tutte queste Opere diverse, mi è sembrato che restasse ancora qualcosa di meglio da fare.

³⁴ Frézier, Amédée-François, op. cit. (cfr. Nota 30)

In primo luogo, fornire una conoscenza esatta della natura delle Linee Curve, che si formano agli spigoli delle volte, sia alle loro facce che all'intersezione degli intradossi, di quelle che sono composte da più parti che si intersecano, al fine di saperle tracciare sui piani, quando è possibile; o sulle superfici curve, quando queste linee sono a doppia curvatura. In questo consiste la prima novità di questo Trattato.

In secondo luogo, procedere alla correzione degli errori di diversi Traits di chi mi ha preceduto.

In terzo luogo, fornire la costruzione geometrica di diversi Traits modificati, e di qualcuno non ancora apparso.

E infine come ultima novità, presentare le Dimostrazioni dei Traits. Infatti Padre Dechalles mi ha preceduto in Latino, ma non in Francese: e per servirmi dell'espressione di Jousse, i segreti dell'Architettura, (in latino) non vengono per niente disvelati³⁵.

1.2. Stereotomia e Architettura

1.2.1. Da Philibert de l'Orme alla razionalizzazione della disciplina

A Philibert de l'Orme, come si è avuto modo di comprendere, e per quanto se ne tratterà nel seguito, si fa risalire l'origine della speculazione architettonica di matrice stereotomica, il cui seme, piantato nei libri terzo e quarto del *Le premier tome de l'architecture*³⁶ si è andato sviluppando in modo incalzante sino alla metà del XVIII secolo. Dalla prima impostazione *delormiana* della disciplina fortemente legata alla formavisione architettonica, attraverso una serie di aggiustamenti teorico-metodologici circa l'ordine degli argomenti da trattare ed il metodo scientifico più opportuno da utilizzare³⁷, si giunge

³⁵ Il fatto che Dechalles abbia condotto le dimostrazioni in latino, secondo Frézier, non aiuta alla comprensione della disciplina, già definita un "segreto dell'architettura" da Jousse.

³⁶ Delorme, Philibert, *Le premier tome de l'architecture...*, Paris 1567 (succ. 1568, 1576, Rouen 1648, 1894, Bruxelles 1981, Paris 1988).

³⁷ Jean Baptiste De La Ruë riporta: *Eccovi l'ordine che ho seguito in questo Libro. Ho incominciato dai trait più semplici, al fine di condurre*

alla codifica analitica ad opera di Gaspard Monge, autore del volume *Géométrie descriptive. Leçons données aux École Normales l'an 3 de la République*, Paris, an VII (1798), a cui si deve il merito di aver codificato le tecniche della rappresentazione che, pur sistematizzando teoricamente il metodo rappresentativo, pone le basi per una visione specialistica ed autonoma della disciplina lontana da quella organica *delormiana* in cui architettura scienza e costruzione non sono mai scisse.

Proseguendo quindi nella descrizione storico-evolutiva della disciplina, riportiamo ciò che C.F.A. Leroy³⁸, nel 1844, sostenne nel suo trattato:

Infine, presso la Scuola del Genio militare fondata nel 1748 a Mézières, Monge, che ebbe l'incarico di insegnare la Stereotomia dal 1770 al 1784, e che pubblicherà diverse Memorie sull'Applicazione dell'Analisi alla Geometria, riflette sui metodi per unificare in un unico metodo comune tutti i diversi procedimenti utili alle fortificazioni, al tracciato di strade e canali, all'apparecchiatura di opere in pietra o in legno; d'onde far provenire in maniera geniale una scienza nuova, indipendente da tutte le applicazioni speciali: la Geometria Descrittiva, che insegnerà dapprima agli studenti

inconsiamente alla conoscenza dei più complessi. Gli epure sono organizzati, quindi, in maniera che il primo illumini il secondo, il secondo il terzo, ecc.

Allorquando si incontri qualche concio tracciabile in differenti modi, ho sempre scelto il più corto ed il più esatto. Per essere puntuali, ho creduto giusto proporre solo gli elementi fondamentali dell'arte, e quelli di maggior utilizzo; inoltre una parte dei più complessi, ove con l'intelligenza sarà possibile eseguire tutto ciò che l'immaginazione può vedere nella Coupe des Pierres.

Nei disegni ritenuti utili agli operai, ho ritenuto giusto servirmi dei termini che essi utilizzano, con chiarezza stilistica al fine di non essere chiuso ed in generale malinteso.

Mi sono dispensato di unire la prova (dimostrazione) dei trait sugli epure, perché mi è sembrato più conveniente effettuare questo tipo di dimostrazione attraverso i solidi e gli sviluppi, piuttosto che tramite discorsi; d'altronde, sarei potuto incorrere nell'inconveniente ove cade ordinariamente chi, per voler spiegare un gran numero di cose finisce per confonderle tutte e chiarire nessuna.

Prima di addentrarmi nella specifica descrizione dei trait, darò la definizione dei principali termini, i disegni di qualche strumento utile nella pratica dei trait, e qualche utilizzo del compasso semplice; questa sorta d'introduzione è ovviamente fatta per i principianti.

Il metodo più sicuro e più facile di utilizzare questi trait, sarà di ridisegnarne gli epure, durante la lettura e di riportare le lettere e cifre in maniera identica all'originale: tale consuetudine sarà ripagata con l'esattezza del risultato da conseguire.

³⁸ Leroy, Charles-Félix-Augustin, op. cit (cfr. Nota 11)

delle Scuola di Mézières, poi alla Scuola Politecnica nel 1794, quindi presso la Scuola Normale temporanea formata a Parigi nel 1795. Sono queste ultime lezioni che, riunite insieme in un volume, offriranno il primo Trattato di Geometria Descrittiva, scienza ove i metodi generali servono, oggi, di base a tutte le arti grafiche.

Sull'importanza della Geometria Descrittiva per una esatta conoscenza della stereotomia, rendiamo ancora quanto sostiene Chaix³⁹:

Affermando che la geometria descrittiva sia nata dall'art du trait, come si è descritto in questo rapido riassunto, si sottolinea che è dallo studio di questa scienza che bisogna incominciare, se si vuole apprendere bene e rapidamente la coupe des pierres, perché i suoi metodi sono generali e permettono di trattare tutti i casi che si possano presentare. Se al contrario, si vuole apprendere la coupe des pierres prima di aver studiato la geometria descrittiva, ci si carica la memoria di tait particolari più o meno pratici, senza legami gli uni con gli altri arrivando a non saper come risolvere un problema differente da quello conosciuto.

Non possiamo quindi qui, iniziando questo lavoro sul taglio delle pietre, che sollecitare vivamente il lettore a studiare la geometria descrittiva, perché siamo convinti che questo studio faccia guadagnare del tempo invece che farlo perdere...

L'evoluzione a carattere fortemente scientifico-assiomatico della stereotomia agli inizi dell'ottocento segue le sorti delle discipline matematiche, che in questo periodo vanno soggette ad un processo di "riorganizzazione" e di "riduzione" proprie della visione positivista del secolo nascente. Se dal punto di vista matematico, la Stereotomia non è che un settore parziale della Geometria Descrittiva, in cui sono trattate le curve ed i piani di sezione dei corpi geometrici che si intersecano, e le proiezioni di queste curve e di questi piani;

³⁹ Chaix, J., *Traité de la coupe des pierres. La stéréotomie*, H. Chairgrasse fils, Paris 1890 (reprint Seld J.C. Godefroy, Paris 1997).

ai nostri fini risulta però molto importante chiarire quale sia stato il ruolo determinante che la tecnica stereotomica ha giocato all'interno della speculazione formale dell'architettura, al fine di comprendere come un sistema di regole connotato da forti basi matematiche possa aver spinto la ricerca architettonica della forma statico-costruttiva a limiti mai raggiunti prima.

1.2.2. Il trattato di Architettura e la Stereotomia

Nella trattatistica architettonica italiana, come abbiamo parzialmente avuto modo di vedere con Jousse, la stereotomia è praticamente assente ad eccezione dei lavori di Guarino Guarini che, in relazione osmotica col mondo francese, operò una rigorosissima analisi scientifica nei suoi poderosi trattati di matematica e gnomonica⁴⁰ in continuità con le scoperte scientifiche d'oltralpe.

La stereotomia di Guarino Guarini, nella sua fase di maturità sembra più aderente alla matematica che all'architettura da cui nasce.

Codificata in quanto tale, così è scritto da Werner Muller⁴¹:

Nei grandi trattati di architettura (la stereotomia n.d.a.) viene menzionata solo di passaggio o per niente; e ciò dimostra il fatto che non c'era posto per essa nella teoria estetica del tempo...Per esempio F. Blondel, matematico lui stesso, non ha concesso nessun posto alla "coupe des pierres" nel suo grande Cours d'Architecture⁴². Daviler tratta questa materia solo in poche pagine⁴³.

Ancora, ricordando ciò che sostiene Mathurin Jousse a proposito dei *Grandi Uomini italiani*:

⁴⁰ Ricordiamo: G. Guarini, *Euclides Adauctus et Methodicus...*, Torino, 1671. e G. Guarini, *Caelestis Mathematicae...*, Milano, 1683.

⁴¹ Mueller, Werner, *The authenticity of Guarini's Stereotomy in his Architettura Civile*, in "Journal of Society of Architectural Historians", n. XXVII (1968), pp. 202-8.

⁴² François Blondel, *Cours D'Architecture Enseigne Dans l'Academie Royale D'Architecture*, Paris, 1675.

⁴³ Charles Augustin Daviler, *Cours D'Architecture qui comprend Les Ordes De Vignole...* Paris, 1694.

"...Voi vedrete che tutti questi grandi Uomini non ci hanno detto una parola sul modo di disegnare i tracciati Geometrici necessari al taglio delle Pietre...".

Così prosegue Muller:

Dopo quanto detto, sarebbe veramente una eccezione notevole se in un Trattato di Architettura, alla Stereotomia venisse data la stessa importanza dell'insegnamento degli ordini di colonne. Noi conosciamo soltanto due opere nelle quali si verifica ciò. Esse sono: Le premier Tome de l'Architecture de Philibert de l'Orme e l'Architettura Civile di Guarini.

In realtà, l'assimilazione della stereotomia all'interno di una più ampia trattazione di Architettura, se si esclude il caso spagnolo che non rientra nel campo d'indagine di questa tesi, è presente all'interno dell'opera *Livre d'architecture* di Jean Chéreau⁴⁴, manoscritta, e poco analizzata anche a causa della difficile lettura del testo.

Il suo è uno scritto in cui l'autore copia piene pagine di Serlio e De L'Orme. La parte più interessante e la più ricca concerne l'arte del "trait"⁴⁵, associato alla prospettiva, ma anche alla astronomia, alla gnomonica, alla metrologia, a tutte le tecniche che permettono di rappresentare lo spazio con la misura ed il disegno. Quindi le nozioni stereotomiche s'intersecano, qui come nella maggior parte delle fatiche degli altri trattatisti della disciplina, con i saperi di gnomonica e prospettiva.

Il legame "proiettivo" rappresenta il filo conduttore che, teso da de l'Orme a Monge, passa attraverso la mirabile opera di Desargues di cui si avrà modo di parlarne in seguito.

Ritornando al caso italiano, è ormai acquisito che la fonte dalla quale veniamo a sapere delle conoscenze stereotomiche del Guarini si trova nel Trattato IV dell'*Architettura Civile*⁴⁶

⁴⁴ Chéreau, Jean, *Livre d'architecture*, ms n. 2280 biblioteca municipale Gdansk (Danzica), 1567-74. Ottenuto per cortese concessione di J. M. Perouse de Montclos.

⁴⁵ Nel seguito della presente tesi saranno analizzati alcuni interessanti *trait* del manoscritto riguardanti una vola a botte decorata ed una *trompe* sferica.

⁴⁶ Guarini, Guarino, *Architettura civile*, postuma, 2 vol., Torino 1737 (succ. London 1964, Milano 1968).

sotto il titolo "Dell'ortografia gettata". Sappiamo⁴⁷ pure che la fonte scientificamente più attendibile è il Tractatus XXXII: "De Superficieibus corporum in planum redigendis" presente nell'*Euclide adauctus...*, opera stampata mentre era in vita ancora l'autore. E sappiamo anche che è allo sviluppo delle ricerche francesi che si deve la provenienza delle conoscenze stereotomiche di Guarini⁴⁸ che a proposito dell'ortografia gettata riporta:

Questa Ortografia, siccome è opposta nel suo titolo all'antecedente⁴⁹, così anche nel suo modo di operare; perché là dove in quella le superficie piane s'innalzano con linee perpendicolari, per dare a loro corpo, e formare la Fabbrica, questa per lo contrario i corpi in alto sospesi con linee perpendicolari riduce in piano per istendere la loro superficie: Non è però questa di quella meno utile, anzi ch'è assolutamente necessaria all'Architetto, abbenchè poco conosciuta dalla italiana architettura, solamente dalla francese in molte occasioni egregiamente adoperata. Perché adunque per tagliare le pietre e ritrovare le giuste forme è necessario sapere quali sieno le loro superficie, acciò che fatte e tagliate secondo quelle, quando si pongono in opera, si assettino al suo luogo, e convengano colle altre, perciò è stata ritrovata questa ortografia, che appunto mette le superficie in piano, e le forma, come sono in alto, e sarebbero nel proprio loro luogo, di questa abbiamo a ragionare.

Quindi la necessità per l'architetto di conoscere le regole, teorico-tecniche proprie della disciplina stereotomica, trattate in quell'*Ortografia gettata* al fine di determinare gli sviluppi delle superfici per i *panneaux* che avviluppano i conci e

⁴⁷ W. Mueller, *op. cit.* (cfr. nota 41)

⁴⁸ Guarini, Guarino, *op. cit.*, trattato IV, p. 288.

⁴⁹ *Della Ortografia Elevata. Due sorte di Ortografia deve speculare l'Architetto; l'una che presuppone il piano, e da esso solleva il suo Disegno; l'altra che non presuppone alcun Disegno sul piano, ma quello, che si disegna in alto, che pio si deve gettare in piano, e vedere qual parte viene occupata da esso: Però due sono le Ortografie, una si dirà elevata, l'altra si chiamerà depressa; di questa ne scriveremo nel Trattato seguente; ora solamente della prima siamo per discorrere. La Ortografia dunque secondo Vitruvio si definisce: "Erecta frontis imago, modicèque picta rationibus, operis futuri figura", cioè immagine d'una facciata elevata, destramente ombreggiata, che rappresenta le simmetrie, o le ragioni del futuro Edificio; e più brevemente una elevazione delle facciate del futuro Edificio, e di ogni loro simmetria. Guarini, Guarino, *op. cit.*, trattato III, p. 73.*

essenziali allo scalpello per tagliare esattamente il blocco lapideo.

1.2.3. La formazione dell'architetto e la Stereotomia

Al fine di comprendere se la stereotomia abbia giocato o meno un ruolo determinante all'interno della formazione degli architetti italiani, risulta opportuno comprendere quali erano le conoscenze che essi (coevi ai trattatisti francesi della disciplina), dovevano dimostrare di possedere.

Elisabeth Kieven⁵⁰ lo ha chiarito bene in un suo saggio che consente di aggiungere frammenti importanti al percorso della presente trattazione.

Giacomo Barozzi da Vignola, in una lettera del 1° febbraio 1547 alla Fabbrica di San Petronio a Bologna⁵¹, riporta:

Il perito architetto in quanto alla teorica, deve essere versato in aritmetica, geometria, meccanica, architettura, e prospettiva, ed ancora nelle parti più essenziale dell'idrometria. Quanto poi alla pratica, conviene, che sappia perfettamente misurare, e le regole generali, e particolari per tali misure, relativamente alle diversità dei casi, che possono accadere in genere in architettura, come ancora disegnare nello stesso genere, cioè mettere in pianta edifici, disegnare le alzate o prospetti, e così gli spaccati, e simili...

La Kieven, sostiene che l'Accademia romana iniziò solo nella seconda metà del XVII secolo a offrire una formazione regolare per gli architetti. Chi voleva diventare architetto iniziava generalmente un primo apprendistato come scalpello, stuccatore, scultore o pittore e poi, dopo aver appreso le nozioni fondamentali pratiche e del disegno, passava nello studio di un architetto professionista. Al contrario dell'Accademia di architettura parigina, di quella romana abbiamo scarsissime informazioni per quanto riguarda la didattica sia in ambito teorico che pratico. Non esistono paralleli romani al *Cours d'architecture enseig né*

⁵⁰ Elisabeth Kieven, "Mostrar l'invention". *Il ruolo degli architetti romani nel barocco: disegno e modello in Il trionfo del Barocco. Architettura in Europa 1600-1750*. a cura di Henry A. Millon, Ed Bompiani, Cinisello Balsamo, 1999.

⁵¹ Gaye 1840: 359 (all'interno di cfr. nota 50)

dans l'Academie Royale d'Architecture di J.F. Blondel (Parigi 1675 e 1683).

Il contributo autodidatta alla formazione professionale viene messo sempre in rilievo; prima di tutto viene sottolineato lo studio diretto dei trattati da Vitruvio al trattato di Scamozzi del 1615.

Risulta importante apprendere come nelle fonti non sia dedicata alcuna attenzione all'apprendimento di nozioni pratiche o tecniche; nello schema dei valori delle arti liberali⁵² tali aspetti erano considerati troppo vicini all'attività artigianale. Mentre una precedente formazione in pittura o scultura era tenuta in grande considerazione, significativamente una antecedente attività come maestro di muro, falegname o carpentiere⁵³, che in sé avrebbe fruttato conoscenze tecniche molto più solide, veniva giudicato generalmente in senso negativo. Con la caduta del sistema corporativo medioevale ed il nuovo orientarsi dell'architettura alle fonti letterarie e agli edifici dell'antichità, l'accento venne trasposto non tanto sulla pratica tecnica, quanto sulla qualità progettuale e sulle nozioni storiche. La conquista di un elevato *status* sociale comportava una forte selezione delle mansioni lavorative. Gli architetti "misuratori", predisposti a mansioni tecnico/pratiche quali ad esempio il collaudo edilizio, che non difettavano di preparazione ma di cultura poiché ad essi mancava un profilo artistico, erano declassati. La stessa espressione "misuratore" venne usata correntemente come designazione screditante, se non addirittura come invettiva.

Occorre qui sottolineare che, parallelamente alla situazione italiana, nella Francia dei primi del cinquecento, la pratica stereotomica elevata al rango speculativo nasceva con Philibert de l'Orme figlio di Jean de l'Orme maestro muratore

⁵² Ricordiamo che nell'iconologia medievale la Conoscenza suddivisa tra il Trivio ed i Quadrivio è raffigurata come segue: la chiesa, rappresentata da una donna coronata con lo scettro dell'autorità nella mano destra e la Bibbia nella mano sinistra, si trova innanzi all'albero della scienza ove la filosofia "è la radice" e dove le arti liberali, rappresentate da donne, sono i rami. Al livello inferiore ci sono le tre discipline del *trivio*: da sinistra a destra, la dialettica (la logica), la grammatica, e la retorica, al livello superiore le quattro discipline del *quadrivio*: la geometria, l'aritmetica, la musica e l'astrologia (o astronomia).

⁵³ Fra i compiti che spettavano ai carpentieri c'era anche l'esecuzione dei tetti a capriata, che richiedeva una elevata capacità di visualizzazione stereometrica.

molto reputato che ben presto si associa al figlio nei lavori. Quest'ultimo si vanta di aver avuto, all'età di quindici anni, trecento operai alle sue dipendenze. La forte presenza delle corporazioni massoniche, marcando in Francia un legame indissolubile con l'architettura, segna un primo significativo passo distintivo con la cultura italiana. Questo fa sì che le pratiche e le tecniche costruttive stereotomiche, profondo segreto dell'iniziato massonico, passino gradualmente e consapevolmente nei saperi della nuova figura professionale: l'architetto rinascimentale. Quest'ultimo preparato all'estetica classica e alle rivoluzioni teoriche delle leggi della prospettiva opera il notevole passaggio della *coupe des pierres* da pratica massonica a radice della nuova estetica della maniera nazionale.

1.2.4. La Prospettiva e la Stereotomia

Quanto alla capacità progettuale dell'architetto italiano, la tecnica del disegno si affermava come criterio determinante nella valutazione della professione. Leon Battista Alberti è interessato al progetto come prodotto dell'intelletto e la visualizzazione e la raffigurazione di questa idea mentale del disegno finito, che è impostato in scala e a cui la misurabilità conferisce un carattere matematico scientifico. Il processo di traduzione di un'idea in forma visibile e completamente strutturata deve attraversare diversi livelli di astrazione. I trattati di stereotomia, nella loro prima apparizione, erano strutturati con altissimi gradi di astrazione cercando, in una estrema sintesi grafica dei *traits géométrique* di cui analizzeremo la natura, la comprensione dell'intero apparato costruttivo. Per questa ragione la caratteristica di oscurantismo di cui si fregiavano ha rappresentato per molto tempo la ragione della loro incapacità comunicativa. La logica evoluzione grafico/comunicativa, percorsa in due secoli dalla formulazione *delormiana*, ha permesso di dischiudere il velo settario della disciplina consentendone una giusta diffusione scientifica.

La capacità comunicativa del disegno (di un elemento stereotomico) in prospettiva, a commento della disquisizione stereotomica, arriverà in maniera metodica col trattato di Abraham Bosse⁵⁴, nel 1643. Risulta importante sottolineare che l'impaginazione/comunicazione di Bosse gli deriva dalla personale formazione di incisore, già di Desargues e di de la Hire, sino al punto di stampare nel 1701 un trattato⁵⁵ sulla maniera di incidere con la tecnica dell'acquaforte.

Va detto in proposito, a rimarcare i progressi decisivi dell'arte della rappresentazione che Philibert de l'Orme nel suo IV capitolo dedicato alla stereotomia riporta una sola incisione della *trompe* con il *cabinet du roi* del castello di Anet, espressiva della trattazione stereotomica, che più volte si lamenta dell'imperizia dei suoi incisori.

La prospettiva, all'interno della speculazione stereotomica come avremo modo di vedere con Desargues, assume un valore completamente diverso rispetto al suo *status* di ammalatrice dell'occhio, trasformandosi in mezzo di calcolo nelle mani del progettista.

I disegni prospettici, nell'arco di tempo intercorso fra il Cinquecento e il Settecento, furono oggetto pertanto di una rivalutazione. Alberti, come sostiene Elisabeth Kieven⁵⁶, aveva rifiutato l'impiego di simili disegni da parte dell'architetto, sostenendo che la prospettiva fosse un *medium* proprio del pittore. Guarino Guarini⁵⁷ inserì fra le righe del suo trattato un lieve ammonimento a non esagerare l'effetto scenografico⁵⁸:

La Prospettiva, purchè inganni l'occhio, e faccia apparire la superficie del corpo, ottiene il suo fine, e conseguisce quanto intende...non ha da riguardare alla solidità, e fermezza dell'opera, ma solamente a dilettae l'occhio. L'Architettura

⁵⁴ Bosse, Abraham, *La Pratique du Trait a preuves de Mr. Desargues Lyonnois, pour la Coupe des Pierres en l'Architecture*, Paris 1643.

⁵⁵ Bosse, Abraham, *Traité des Maniers de graver en taille-douce sur l'airain, par le moyen des eaux fortes...*, Paris 1701.

⁵⁶ Elisabeth Kieven, *op. cit.* (cfr. Nota 50)

⁵⁷ Guarini, Guarino, *op. cit.*, 2 vol., Torino 1737 . cap III, 7, osservazione X.

⁵⁸ Scamozzi dedicò alla "Scaenographia" una dettagliata descrizione come uno dei mezzi in tutto e per tutto convenzionali della presentazione di un progetto e stabilì una connessione con la progettazione di allestimenti teatrali. Considerando questo, come il vero significato di "Scaenographia" in Vitruvio.

però pena alla sodezza dell'opera, onde non può liberamente fare quanto la Prospettiva inventarsi.

Ancora Philibert de l'Orme⁵⁹ nel primo libro del suo trattato mettendo in guardia il Signore (committente) da coloro i quali sanno fare bei disegni, per accattivarsi il committente, riporta:

Per questo, consiglio l'Architetto e tutti coloro che lavorano nell'edilizia, di studiare a riconoscere la natura dei luoghi piuttosto che fare tanti bei ornamenti che molto spesso (i disegni in prospettiva) servono solo come esche per prendere agli uomini, ciò che hanno nelle loro borse...

La prospettiva veniva, quindi, più che altro usata come strumento di rappresentazione pittorica, ad uso tanto dei pittori quanto degli architetti. In questo senso, con la Kieven, si può osservare un certo contrasto nel rapporto fra la proiezione ortogonale del disegno in pulito, più "professionale" e la prospettiva che visualizza il progetto per il profano, nella relazione tra essere ed apparire. Ma il disegno tecnico, almeno in Italia, non era ancora sviluppato al punto da sostituire il modello⁶⁰ come strumento esecutivo del progetto.

Risulta fondamentale, a questo punto, indagare quale sia stato l'apporto mutuo agli sviluppi disciplinari della prospettiva e della stereotomia: entrambe tecniche proiettive sviluppatesi nello stesso periodo ma in nazioni diverse.

A tal proposito, Jean-Marie Pérouse de Montclos⁶¹, nella trattazione delle sue ipotesi sull'origine della stereotomia moderna, sostenendo che gli antichi possedessero il senso della prospettiva pur ignorando le regole scientifiche d'applicazione, fissa a pieno titolo nell'Italia del XV secolo il più proficuo incontro tra arte e scienza. Nella sua congettura

⁵⁹ Delorme, Philibert, op, cit. p. 19-20.

⁶⁰ Ricordiamo che Francesco Borromini, scontrandosi con i limiti del disegno come *medium* tra idea e progetto, impiegò modelli in cera o in terracotta concepéndoli non come strumenti di comunicazione, ma come indispensabile ausilio all'attività progettuale.

⁶¹ Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *L'architecture à la française, XVIe, XVIIe, XVIIIe siècles*, Picard, Paris 1982.

la prospettiva e la stereotomia sono due tecniche, certamente ben distinte, ma costantemente associate. Prospettiva, astronomia, gnomonica e stereotomia si alternano in maniera indissolubile nel trattato di Jean Chéreau. Si avverte quasi una intima complicità tra coloro che spingono in avanti i processi stereotomici fino all'assurdità e quelli che propongono, per mezzo dell'anamorfosi gli autori della prospettiva.

Filippo Camerota⁶² in linea con quanto sostenuto da Jean-Marie Pérouse de Montclos, ribadendo che nell'arco del Cinquecento la prospettiva aveva compiuto un notevole sviluppo geometrico, si interroga sulla possibilità che quest'ultima sia stata un valido strumento anche al perfezionamento del sistema proiettivo ortografico della stereotomia.

In Italia, come abbiamo più volte sottolineato (concordemente alla tesi di Camerota), manca qualsiasi accenno alla stereotomia nella letteratura architettonica del Rinascimento, fatto che non consente di stabilire se vi fosse veramente in quel periodo un consapevole rapporto tra discipline proiettive. Gli interessi speculativi per le discipline proiettive sicuramente accomunano le tecniche operative dei grandi artisti rinascimentali. Fra tutte ricordiamo la cupola a cassettoni, rappresentata in una delle ultime tavole del suo trattato da Piero della Francesca. Certo è che in Francia la prospettiva conosce tra il XVII e XVIII secolo i suoi più approfonditi sviluppi matematici, paralleli a quelli della stereotomia, mentre l'Italia resta piuttosto ancorata ai suoi modelli scenografici ed illusionistici.

Il legame oggettivo tra le due discipline, ritenuto interessante ai fini della seguente analisi, riportato dagli studi di Camerota è il seguente:

Come sistema geometrico, la prospettiva stabiliva una precisa relazione tra i corpi e lo spazio; quest'ultimo inteso come distanza misurabile tra due oggetti. Ogni corpo occupa una posizione nello spazio, e tale posizione, così come la forma

⁶² Camerota, Filippo, *Prospectiva aedificandi. Ottica, stereotomia e architettura obliqua*, tesi del dottorato di ricerca, Firenze 1994.

del corpo, era scientificamente determinabile in relazione all'occhio di un osservatore...La prospettiva nasceva dalla proiezione dei punti dell'oggetto su un piano intersecante un fascio di raggi convergenti in un punto. Si trattava di una proiezione simultanea delle dimensioni dell'oggetto dalla pianta e dal prospetto; da due strumenti geometrici cioè, specificamente architettonici...L'importanza di tale sistema per l'architettura diventa chiara solo con la nascita della stereotomia come disciplina geometrica. Da Delorme a Frezier, attraverso la fondamentale posizione teoretica di Desargues, la stereotomia si configura come la disciplina che studia le intersezioni dei corpi nello spazio. La sua tecnica proiettiva è analoga a quella della prospettiva, con la differenza che i raggi proiettivi sono paralleli e che il piano intersecante è la superficie di uno dei corpi.

All'interno del processo di strutturazione rinascimentale della descrizione scientifica dello spazio può ritornare utile ai fini di una sintesi concettuale riportare la seguente equivalenza: *"prospettiva : pittore = stereotomia : all'architetto".*

Concludiamo questa breve sintesi sulle ipotesi circa le origini della stereotomia moderna e sulle relazioni italo/francesi, riportando le conclusioni sull'argomento di Jean-Marie Pérouse de Montclos, ritenute a nostro avviso fra le più attendibili:

Crediamo di poter affermare che la stereotomia moderna nasce dall'incontro della pratica romanica con una idea, una ambizione, quella della conquista razionale della terza dimensione dello spazio. La pratica era di casa e l'idea pellegrina: l'incontro avviene in terra francese all'incirca nel XV secolo. De l'Orme fu il primo a trarne i benefici: iniziato ai segreti dei massoni meridionali, egli ebbe la fortuna di scoprire il Rinascimento seguendo le tracce italiane.

1.3. Analisi diacronica dei trattati di stereotomia: tra tecnica costruttiva e forma architettonica

L'intero terzo capitolo della presente tesi sarà consacrato all'analisi della *vicenda stereotomica* di Philibert de l'Orme, ritenendo necessario nonché rispettoso approfondire, in maniera disgiunta ed autonoma, alcuni aspetti teorico/tecnici della disciplina attraverso i quali è possibile decrittare agevolmente l'apparato grafico dell'arte del *trait géométrique* a fondamento della stereotomia.

Di quest'ultima se ne prosegue l'evoluzione, in maniera diacronica, cercando di porre l'accento su quanto sottolineato in precedenza, ossia la relazione tra la tecnica stereotomica e la forma dell'architettura, tra opera realizzata e trattazione teorica.

Le opere architettoniche, che saranno brevemente descritte nell'immediato, al fine di una ottimizzata ed organica esposizione degli argomenti della tesi, saranno analizzate nel corpo del quarto capitolo consacrato agli elementi della "stereotomia digitale". Queste costituiscono inoltre il contenuto dell'intero Volume II della tesi.

1.3.1. I trattati di stereotomia

Nel 1567 viene dato alle stampe il trattato di Philibert de l'Orme, tra lo stesso anno ed il 1574 è databile il *Livre d'Architecture* manoscritto di Jean Chéreau⁶³ che assicura una continuità teorica tra de l'Orme e Jousse. L'interesse maggiore, ai fini della nostra indagine tra architettura e stereotomia, è focalizzato su due *trait géométrique*: la volta a botte decorata del folio 102v. e la *trompe sphérique dans l'angle et sous le coin* del folio 104 v. La prima trova

⁶³ Chéreau, Jean, *op. cit.* (cfr. nota 44)

⁶⁴ Jousse, Mathurin, *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidèlement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, La Flèche 1642 (privilegio del 1635).

realizzazione a Yonne nella chiesa di Saint-Jean tra il 1557 e il 1596, la seconda presso l'abbazia Notre-Dame des Ardilliers di Saumur (Vol. II, Tavv. 66-71). La volta a botte presenta una decorazione, a cassettoni reticolari, integrata nell'apparecchiatura stereotomica della stessa, cogliendo i principi di serializzazione e standardizzazione del taglio del concio propri della volta a botte dell'ingresso al castello di Anet ad opera di Philibert de l'Orme realizzata tra il 1548 e 1559 (Vol. II, Tavv. 60-65).

Il metodo proiettivo della doppia proiezione ortogonale chiaramente evidente nel folio 102 v. consente di realizzare la trasposizione del motivo decorativo dei cassettoni dal piano alla superficie spaziale.

La *trompe* sferica potrebbe essere assimilata ad un quarto di volta a vela la cui particolare apparecchiatura consente di isolarla dal sistema voltato (Vol. II, Tavv. 196-203). Il suo *trait géométrique* presenta un disegno in pianta ed alzato ed uno sviluppo della superficie intradossale tramite la riduzione a involuppo di superfici coniche (sviluppabili) della superficie sferica (non sviluppabile). Il manoscritto di Chéreau rappresenta, ancora, la sintesi organica tra architettura e stereotomia.

Nel 1642, viene dato alle stampe il trattato di Mathurin Jousse⁶⁴, appartenente certamente ad una famiglia di maestri massoni, ha l'onore di aver per primo pubblicato un trattato unicamente di stereotomia. Questo tratto distintivo specializza il suo lavoro fuoriuscendo dalla sintesi architettonica/stereotomica quale linea di condotta della nostra analisi. Risulta, per noi importante, confrontare la sola costruzione attribuita a lui, la "tribuna d'organo" della chiesa dei Gesuiti de La Fleche (città ove opera e pubblica tutti i suoi trattati) nel 1636, e i *trait* presenti nei ff. 102 e 108, rispettivamente per la costruzione delle *trompe en tour ronde avec son Cintre*, e *trompe en tour ronde, autrement de Montpellier* (Vol. II, Tavv. 222-223). Questi disegni ci restituiscono

le tecniche progettuali e realizzative delle trompe gemelle, disposte in maniera simmetrica ed interposte da una volta a botte, a sostegno della tribuna d'organo della chiesa. Mentre il folio 120 si pone in continuità col precedente trattato di Chéréau riproponendo la *trompe* sferica con leggere variazioni della tecnica proiettiva chiamandola: *trompe dans un Angle qui se Voute en pendentif*.

Nel 1643, viene stampato il trattato di Abraham Bosse⁶⁵ la *Pratique du Trait*, che raccoglie e patrocina l'opera di Desargues, ne illustra i nuovi concetti e nuovi termini universali della sua opera; Desargues, dalla sua, non mancò di sostenere con dichiarazioni autografe l'attendibilità dell'interpretazione del discepolo. Bosse chiamato a coprire la cattedra di prospettiva all'Accademia di Belle Arti promulga la nuova maniera universale, e questo, a causa dei detrattori del suo maestro, e quindi suoi, gli costa il licenziamento.

Desargues, nato come Philibert de l'Orme a Lione il 21 febbraio 1591, non si occupò mai direttamente di architettura ma creò il presupposto teorico/scientifico, nel suo *Brouillon project*⁶⁶, per operare quella che gli storici considerano un'evoluzione senza precedenti della geometria: la codifica della geometria proiettiva.

In questo suo scritto l'autore afferma che:

(...) non c'è alcuna differenza tra la maniera di figurare, ridurre o rappresentare una cosa qualunque in prospettiva, e la maniera di figurarla, ridurla o rappresentarla in geometrico, perché il geometrico e la prospettiva non sono che due specie di un medesimo genere (di operazioni concettuali) che possono essere enunciate e dimostrate insieme con le medesime parole.

⁶⁵ Bosse, Abraham, *La Pratique du Trait a preuves de Mr. Desargues Lyonnois, pour la Coupe des Pierres en l'Architecture*, Paris 1643.

⁶⁶ 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.

Bisogna considerare che a quest'ultimo seguono altri trattati⁶⁷ su *diverses maniere universelles pur pratiquer la perspective* che sottolineano il *mélange* stereotomico/proiettivo di cui si è già argomentato.

Rispetto ai trattatisti precedenti, Desargues non propone "ricette di cantiere" pronte per l'uso, piuttosto una metodologia dal forte salto teorico che permetta di risolvere qualunque caso particolare come precipitato applicativo della soluzione generale: la "*manière universelle*", governata dai dettami della Geometria. Vuole, in pratica, dimostrare che tutti i modelli abitualmente usati dagli apparecchiatori possono essere descritti da un solo procedimento utilizzando le nozioni di proiezione e di sezione.

Un notevole sforzo di chiarificazione, di generalizzazione e di trasposizione delle leggi geometriche da analitiche a descrittive: la teoria del "trait" passa dai pratici ai teorici, dall'applicazione di semplici regole empiriche ad uno studio geometrico di un problema posto.

Ma il suo linguaggio, difficile ed inusuale anche per gli addetti ai lavori, la concisa spiegazione, la complessità del disegno fece sì che l'opera non fosse ben accolta ai "praticiens" che l'osteggiarono fortemente accusandolo d'ermetismo e mettendo in dubbio le sue capacità di teorico-pratico.

Resta famosa la disputa, tra Desargues ed il miglior apparecchiatore del suo tempo Curabelle, a suon di pubblicazioni infamanti. Infatti, quest'ultimo nel 1644 pubblica l'*Examen des oeuvres de Sr Desargues, Lyonnois. Contenant les erreurs et fautes de son brouillon de la coupe des pierres...*, quindi le *Calomnieuses faussetez contenues dans une affiche du sieur G.Desargues...* e infine la *Foiblesse pitoyable* (la pietosa debolezza) *du Sr G. Desargues...* di contro la difesa di Desargues passa attraverso la pubblicazione di *La honte du S.J. Curabelle...*, *La Sommation faite au Sieur Curabelle, au sujet de ses affiches calomnieuse et le Récit au vrai...* Inoltre lo scontro arriva al punto da sfidarsi a singolar tenzone per mezzo di un concorso, in realtà mai avvenuto, tra

⁶⁷ Due trattati uno de 1642 e il secondo per mezzo di Abraham Bosse, *Maniere universelles de Mr Desargues pour pratiquer la perspective*, Paris, 1648.

i due *tailleur de pierre* utilizzando i due metodi, tradizionale da un lato e innovativo dall'altro, dei due sfidanti.

Joel Sakarovitch⁶⁸ sostiene a tal proposito che la disputa tra Desargues e Curabelle, tra teoria e pratica sposta l'accento sulla legittimità dei metodi e di conseguenza sullo *status* di chi li persegue:

Per Curabelle, il criterio di fattibilità è determinante, mentre per Desargues conta unicamente l'esattezza del ragionamento geometrico. Quindi, attraverso questa contesa, si trova messo in causa lo statuto del disegno di cantiere. Se ammettiamo, con Curabelle, che l'èpure non vale e non si convalida se non attraverso la sua realizzazione, allora il maestro massone resta la chiave di volta del cantiere... Se al contrario, un disegno può, come lo pretende Desargues, trovare in se stesso la propria legittimazione, se ci si può convincere della sua esattezza attraverso delle considerazioni puramente teoriche e indipendenti dalla concertazione, se sono i ragionamenti geometrici che permettono di trovare i tracciati ottimizzati, e non più il frutto dell'esperienza, allora lo statuto dell'èpure si trova modificato, e di conseguenza quello del suo autore e di colui che deve eseguirlo. L'apparecchiatore si trova quindi spodestato di una parte delle sue funzioni e quindi del suo potere.

Pertanto con Desargues l'accento è posto sul potere sociale oltre che di natura teorica; da questo scontro, in fondo generatore di "sostanza", *l'art du trait* è diventata Stereotomia proprio grazie all'apparecchiatore Curabelle che, in aperta polemica col Nostro, utilizza per la prima volta questo termine.

Passando al metodo illustrato da Desargues, riporta Camillo Trevisan⁶⁹ all'interno dei suoi studi sulla stereotomia, è di altro tipo rispetto a quello di de l'Orme e dei suoi successori:

Desargues, per descrivere un berceau descente (l'unico caso trattato per la generalizzazione del metodo proposto) o

⁶⁸ Sakarovitch, Joel, *Le fascicule de stéréotomie, enre savoir et metiers, la fonction de l'architecte*, in *Acte du colloque « Girard Desargues »* Paris-Lyon, Université de Nantes, 1994, p. 360.

⁶⁹ Camillo Trevisan, *Per la storia della stereotomia. Geometrie, metodi e costruzioni*. Saggio disponibile presso il sito Internet <http://www.iuav.it/dpa/ricerche/trevisan>

montée biaise en talus (una volta a botte sghemba con l'asse ed il piano di calpestio inclinato verso l'alto o il basso) usa cinque piani di riferimento: l'orizzontale, 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 (Vol. II, Tavv. 72-75)

E ancora riportando quanto Frézier⁷⁰ commenta:

Desargues, avendo capito questa verità, ha ridotto ad un unico problema la costruzione dei Berceaux (volte a botte), siano questi retti, inclinati, en talus o en 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.

In seguito all'apparizione del *Brouillon project*, le violenti critiche, da parte degli *apparecchiatori*, di non sapere d'architettura in quanto mai praticata, spinsero Desargues a dar prova della sua capacità "pratica" attraverso la realizzazioni di opere dal profondo interesse teorico/costruttivo.

La nostra analisi si è focalizzata sulle due opere stereotomiche lionesi, di nostra conoscenza: la grande *trompe* della maison Saint-Oyen ("la Maison du Pont de Pierre") di Lione del 1650-1655, e la meravigliosa scala elicoidale con intradosso a semi botte dell'Hotel de ville di Lione. La prima sfortunatamente distrutta nel XIX° secolo di cui non resta che qualche fotografia del 1845, la seconda ancora presente ed in piena funzione ma poco conosciuta e visitata. L'esame dettagliato di

⁷⁰ Frézier, Amédée-François, *op. cit.* tomo II, libro IV, p. 142.

queste architetture, che sarà parte integrante del terzo capitolo della presente tesi, ripropone la costruzione virtuale dei due monumenti avvalendosi di documenti indispensabili allo scopo. Nella fattispecie per la ricostruzione della grande *trompe de la maison du pont de Pierre ou du Change* sono stati utilizzati i rilievi, antecedenti alla demolizione del 1846, fatti da Benoit et Monvenoux custoditi presso gli Archivi della Società Accademica d'Architettura di Lione e del folio 79 del trattato di Abraham Bosse che riporta un disegno in prospettiva di una *trompe a deux faces plates* (Vol. I, Tavv. 138-143); mentre per la ricostruzione della scala elicoidale, i rilievi sono quelli di Buis del 1889, anch'essi custoditi presso lo stesso luogo (Vol. II, Tavv. 310-315).

Nel 1643 viene dato alle stampe il trattato di François Derand⁷¹, opera più vicina alla tradizionale trattazione di Jousse piuttosto che di Desargues, che non sarà compreso dalla maggior parte dei suoi contemporanei e bisognerà attendere un secolo e mezzo affinché le sue teorie rivivano con Monge. Di formazione filosofica e matematica Derand scrive un trattato di stereotomia in cui l'elemento architettonico, sulla scia di quanto già fatto da Jousse ma con una maggiore chiarezza e qualità di impaginazione, viene puntualmente analizzato nella totale autonomia rispetto all'organismo architettonico. Vengono presi in considerazione un serie molto ampia di *trait géométrique* finalizzati alla edificazione di elementi stereotomici di grande valore costruttivo. Il trattato fu subito considerato un classico per la biblioteca di un architetto.

Il Mueller⁷² sostiene che Daviler, nel suo *Cours d'Architecture*, giudica Derand il miglior maestro, perché lui insegnava con testi ed esempi molto estesamente l'arte della costruzione

⁷¹ Derand, François, *L'Architecture des voûtes Ou l'Art Des Traits, Et coupe Des Voutes...*, Paris 1643 (succ. 1743, 1755).

⁷² Mueller, Werner, *Guarini e la stereotomia*, in "Guarino Guarini e l'internazionalità del barocco", Torino 1970, vol.1 pp. 531-56.

della volta. Secondo le sue istruzioni lavoravano la maggior parte degli artisti e anche per gli apprendisti egli era la miglior guida. E ancora sottolinea il fatto che anche Guarino Guarini si sia servito dei suoi metodi piuttosto che dalle influenze di Desargues. Derand consacrerà gran parte della sua vita alla redazione la sua opera teorica sull'architettura, come lui dice nella prefazione, *libro necessario a tutti gli architetti, maestri massoni, apparecchiatori, scalpellini, e generalmente a tutti coloro si occupano di architettura, anche militare.*

L'opera si divide in cinque capitoli: il primo contiene i *traits* delle volte a botte su piani obliqui, delle intersezioni tra due volte a botte, dei doccioni, delle *arrière-voitures* e delle lunette; il secondo descrive i trait delle porte; il terzo è dedicato alle *trompe*; il quarto alle volte maestre; il quinto alle scale elicoidali. Il trattato, seppur ben impostato, resta un susseguirsi di "ricette" pratiche per i maestri massoni più che una speculazione teorica sull'architettura.

1.3.2. L'impostazione matematica della disciplina stereotomica

Tra il 1671 e il 1674 vedono la luce tre trattati, dalla forte impostazione scientifico/matematica due dei quali in lingua latina, che disquisiscono di particolari problematiche volumetriche connesse alla disciplina stereotomica. Questi sono nell'ordine: 1671 *Euclides adauctus...* di Guarino Guarini⁷³; 1672 *Méthode de géometrie...* di Philippe de la Hire⁷⁴; 1674 *Cursus seu mundus mathematicus* di Milliet de Chales⁷⁵ (cfr. Vol. III).

Il primo è una opera teorica in folio, di oltre seicento pagine, suddiviso in 35 trattati sulle differenti parti della Geometria teorica ed applicata: gli argomenti specifici riguardanti i

⁷³ G. Guarini, *Euclides Adauctus et Methodicus...*, Torino, 1671

⁷⁴ Philippe de La Hire, *Méthode de géometrie pour les sections des superficies coniques et cylindriques*, 1672. Dello stesso : *Sectiones conicae* del 1685, e *Mémoire sur les épicycloïdes* del 1694.

⁷⁵ Chales Milliet, Claude François de, *De Lapidum Sectione* in *Cursus seu mundus mathematicus*, Lione, 1674. L'opera è dedicata a Carlo Emanuele II di Savoia. Deschales è oriundo della Savoia. È nato a Chambéry, e negli ultimi anni della sua vita è stato rettore del locale collegio ed è morto a Torino nel 1678.

rapporti con la stereotomia saranno trattati più avanti esaminando alcuni interessanti aspetti dell'opera architettonica di Guarino Guarini.

Il secondo contributo é opera del matematico, astronomo, ingegnere, nonché professore all'Académie d'Architecture, che succede a F. Blondel, e raccoglie l'eredità di Desargues. Periodicamente l'insegnamento di de la Hire riguarda il taglio delle pietre che si trasforma in un inedito trattato⁷⁶ manoscritto della *Coupe des Pierres*.

Nel terzo contributo pubblicato a Lione, la stereotomia è presentata nel II° tomo, trattato XII, sotto forma di *De lapidum sectione* (cfr. Vol. III) in cui l'autore non si rivolge che ai matematici. Per la prima volta come riporta Frézier, con il trattato di de Chales, i metodi di taglio delle pietre trovano un supporto dimostrativo matematico.

Alla stessa stregua, come ha dimostrato Mueller⁷⁷, l'*Euclide* di Guarini rappresenta il supporto scientifico/dimostrativo delle osservazioni riportate nell'Architettura civile.

Nel 1728 viene pubblicato il trattato di Jean Baptiste De La Ruë⁷⁸, in cui è raccolta l'eredità tecnico-pratica di Derand. Volume di grande successo fra le più belle edizioni del XVIII secolo: vi sono inclusi i modelli dei conci come in un gioco di costruzione, tutti i modelli sono rappresentati in prospettiva e con le ombre.

Jean-Marie Pérouse de Montclos riporta:

Questo successo è meritato: sembra che con Jean Baptiste De La Ruë le luci del secolo arrivino a rischiarare i tenebrosi segreti.

La chiarezza espositiva molto vicina alle reali esigenze del lapicida e la curata rappresentazione grafica, cara all'impostazione dell'architetto, completano la figura teorico/applicata del nostro autore che pare tra l'altro sia stato iniziato al Compagnonnage.

⁷⁶ La Hire, Philippe de, *Traité de la coupe des pierres*, ms n. 1596 Bibliothèque de l'Institut de France, Paris.

⁷⁷ Mueller, Werner, *op. cit.* (cfr. Nota 72)

⁷⁸ La Ruë, Jean Baptiste De, *Traité de la coupe des pierres*, Imprimerie Royale, Paris 1728 (succ. 1764, 1858).

Del trattato, anch'esso impostato sull'analisi autonoma di elementi stereotomici scissi dall'organismo architettonico, sono state studiate le *trompe* presentate nel Volume II, le *planches* XXXVII e XXXVIII, rispettivamente: *trompe biaise dans un angle droit* (trompe obliqua in un angolo retto), e *trompe surbaissée biaise en talus dans un angle aigu* (trompe ribassata obliqua in un muro a scarpa su di un angolo acuto). Il risultato dello studio è parte integrante del quarto capitolo della presente tesi (a cui si rimanda) e si riferisce alla particolare esperienza di *stage/trompe*, condotta da chi scrive, organizzata dall'associazione del *Compagnonnage de Tour de France* presso la *Fondation de Coubertin* nei pressi di Parigi (Vol. II, Tavv. 156-169).

Nel 1737-1739 viene pubblicata la più monumentale opera mai scritta sulla stereotomia ad opera di Amédée-François Frézier⁷⁹, rivista e corretta per la riedizione del 1754-1769. Jean-Marie Pérouse de Montclos riporta:

Se Frézier è discepolo di Desargues, lo è del Desargues: teorico della sezione dei coni piuttosto che del teorico della "maniera universale".

L'autore presenta gli innumerevoli esempi della stereotomia moderna attraverso una tassonomica organizzazione dei sistemi voltati, esplorati nella profonda costituzione geometrica, prescindendo o comunque dedicando poco spazio a considerazioni di natura statica⁸⁰: inizia a crearsi il divario tra la potente avanzata delle conoscenze geometriche ed il lento cammino della razionalizzazione statico/meccanica a supporto delle più svariate proposte formali.

Al fine della comprensione del rigoroso impianto scientifico del trattato, risulta fondamentale dare rilievo al modo in cui l'autore imposta le conoscenze sottese alla disciplina stereotomica⁸¹ implementando le categorie vitruviane in:

⁷⁹ 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. Guérin, Paris, 1737-39 (succ. 1754, 1769, 1980).

⁸⁰ Ricordiamo la tavola relativa alla spinta delle volte contenuta nel III° tomo, planche 111.

⁸¹ Tratto da: Andrea Giordano, *Cupole Volte e altre Superfici. La genesi della forma*, Utet, Torino, 1999.

1. *Tomomorfia*: investigazione delle curve ottenute come sezione dei solidi mediante una superficie, piana o curva.
2. *Tomografia*: descrizione e rappresentazione delle curve ottenute su superfici piane o curve.
3. *Stereografia*: rappresentazione dei 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*).
4. *Tomotecnica*: determinazione delle sezioni di date superfici che risultino più convenienti al taglio dei materiali da costruzione.

Il trattato si compone di tre poderosi tomi, il primo dedicato alla sezione di corpi solidi, alla loro compenetrazione e alle curve che in tal modo si generano, 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 dell'intersezione e dall'incontro di volte di tipo uguale o diverso⁸².

Le *planche* 6,7,18, rispettivamente delle pp. 103, 111, 269, del primo tomo del trattato, manifestano il nuovo approccio alla comprensione della natura geometrica degli elementi delle architetture stereotomiche che nelle operazioni dei lapicidi risultavano contenute inconsciamente. La figurazione dei solidi, quali coni, cilindri, sfere ed altro, e le loro innumerevoli possibilità d'intersezione mutua, al fine di generare elementi architettonici costruttivamente compatibili ha suggerito una serie di sperimentazioni (condotte all'interno del terzo capitolo) con un potente software parametrico variazionale (Vol. II, Tavv. 345-347). Tali possibilità tecnologiche consentono di velocizzare flessibilmente il

⁸² Negli apparati della seguente tesi è riportata l'intera traduzione in italiano dell'indice dei tomi (I e II) del trattato.

processo di investigazione della forma, sulla scia dei suggerimenti delle *planche* del Frézier, ai fini di scelte progettuali più consapevoli e corrette.

L'ulteriore apporto innovativo del trattato, per la storia delle volte, è il capitolo sulle volte piane o piate di cui, ancora nel quarto capitolo della presente tesi, si daranno alcuni interessanti esempi di speculazione geometrico/formale, connessi all'utilizzo di tale sistema stereotomico, elaborati con l'ausilio delle tecniche di modellazione infografica (deformazione parametrica con i *modifiers*) ad opera di chi scrive (Vol. II, Tavv. 18-26).

1.4. Il “modo stereotomico” nelle Architetture di Guarino Guarini e Bernardo Vittone

1.4.1. Guarino Guarini

Passando al di qua delle Alpi, nel 1737 (stesso anno dell'opera del Frézier) è pubblicata postuma *L'Architettura Civile* di Guarino Guarini, opera tecnico-pratica divisa in cinque trattati.

Ritornando al presupposto della tesi, ricordiamo che ad eccezione dell'opera di de l'Orme e come si è detto di Jean Chéreau, l'opera di Guarino Guarini rappresenta a nostro avviso la più importante sintesi tra architettura e stereotomia, tra trattazione teorica e pratica costruttiva. Cercheremo, con la guida degli studi condotti da Werner Mueller (primo fra tutti), Harold Alan MeeK⁸³, un interessante studio di Docci-Migliari-Bianchini⁸⁴, e di una complessa operazione di modellazione informatica (ad opera di chi scrive, a cui si rimanda al Volume II della presente tesi) delle più note opere del Nostro, di cogliere quei passaggi essenziali e quei nodi critici che legano l'opera teorica alla sintesi progettuale-costruttiva del Guarini.

La ricerca condotta da Mueller e dal gruppo italiano, impostata sulla stessa metodologia investigativa, è indirizzata a cogliere le strette relazioni che come abbiamo più volte detto, legano alcuni trattati dell'*Architettura Civile* ai Trattati teorici dell'*Euclides*

Come ben ha osservato il gruppo italiano, l'elemento determinante che permette di dividere in due gruppi l'intera opera speculativa del Guarini è la lingua con cui ogni trattato è scritto. Il latino, lingua dotta ed universale, è riservato alle opere scientifiche; l'italiano agli scritti di carattere tecnico e

⁸³ Harold Alan MeeK, *Guarino Guarini*, Electa, Milano, 1991. (Edizione originale, 1988 Yale University)

⁸⁴ Docci, Migliari, Bianchini, *Les «vies parallèles» de Girard Desargues et de Guarino Guarini, fondateurs de la science moderne de la representation*, in *Acte du colloque «Girard Desargues»* Paris-Lyon, Université de Nantes, 1994, p. 395- 412.

pratico. Alla luce di queste considerazioni, l'opera di Guarini può essere divisa come segue.

Un primo gruppo: *Placita Philosophica* (Parigi, 1665), *Coelestis Mathematicae* (Milano, 1683), e *Euclides adauctus* (Torino, 1671), costituiscono le opere scientifiche.

Un secondo gruppo *Modo di Misurare le Fabbriche* (Torino, 1676), il *Trattato di Fortificazione* (Torino, 1676), e l'*Architettura Civile* (Torino, 1737), costituiscono le opere pratico/tecniche.

Quest'ultima opera, come dicevamo, fa esplicitamente rimando all'*Euclides adauctus* quando necessita del supporto dimostrativo in ausilio all'applicazione progettuale. Quindi un lavoro investigativo che mette in rapporto comparativo, nella fattispecie, per l'*Euclides*: i trattati XXVI *De Projecturis* (il trattato disquisisce sulla natura della proiezione con l'applicazione della stessa riferita agli elementi fondamentali della geometria e a figure piane) e XXXII *De Superficibus Corporum in planum redigendis* (il trattato parla dello sviluppo delle superfici dei solidi e delle loro intersezioni); per l'*Architettura Civile*: il trattato IV *Della Ortografia gettata* che riprende quanto detto e provato geometricamente nel XXXII trattato dell'*Euclides*. Il contenuto geometrico/teorico delle lastre dell'*Ortografia gettata*, che dimostrano una piena conoscenza della disciplina stereotomica d'oltralpe, possono riassumersi come segue:

- dalla lastra II alla VII si trattano le sezioni e le intersezioni fra cilindri cavi retti ed obliqui, di cui la lastra III è famosa per la sua capacità sintetico-didattica presa come modello nel trattato del Rondelet⁸⁵;
- la lastra VIII presenta coni cavi chiaramente equiparati alle *trompe* in molte delle possibili configurazioni;
- la lastra IX presenta una novità geometrica che prenderà il nome di *cono guariniano*, ossia un cono il

⁸⁵ Rondelet, Jean-Baptiste, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Paris 1802-17 (succ. 1827-29, 1838). Tavola 34

cui vertice non è un punto bensì un segmento di retta di cui diremo più avanti;

- le lastre X e XI presentano varie intersezioni tra cilindri/superfici cilindriche e coni scaleni di cui se ne dà tecnica di sviluppo;
- le lastre XII e XIII presentano la sfera con i principi di discretizzazione e sviluppo;
- infine la lastra XIV presenta la volta toroidale con i principi di discretizzazione e sviluppo.

Siamo giunti al punto cruciale in cui è dato dimostrare, come, dove e quando, gli elementi geometrici che riempiono le pagine dei trattati si concretano in forme architettoniche propriamente dette, dimostrando la propria forza di distinzione rispetto alle architetture prive di un così grande sostrato teorico.

Potremmo definire ora, al fine di una maggior chiarezza espositiva, un elemento architettonico cardine di transizione tra la mera teoria ed in caso concreto applicativo: l'arco spaziale e le sue declinazioni. Di quest'ultimo Guarini ne fa l'elemento fondante dei suoi spazi voltati la cui complessità può essere vista come addizione di più elementi geometrici relativamente semplici.

Ai fini di una descrizione tassonomica degli archi spaziali questi possono così classificarsi:

- *archi spaziali cilindrici*. Sono generati dall'intersezione di due cilindri cavi i cui assi sono perpendicolari tra di loro: le imposte di tali archi risulteranno parallele tra di loro e la linea di colmo dell'intradosso sarà ovviamente orizzontale;
- *archi spaziali conici*. Sono generati dall'intersazione di cilindri cavi ad asse verticale con coni cavi. Questi ultimi possono essere coni generici o *coni guariniani*. Nel primo e secondo caso le imposte degli archi convergeranno in un punto: per la linea di colmo di intradosso per i coni generici questa convergerà nello stesso vertice delle imposte; nel caso di *coni guariniani* questa sarà orizzontale;

- *archi spaziali sferici o sferoidali*. Sono generati dall'intersezione di coni o conoidi cavi con sfere o sferoidi cavi, intendendo per sferoide quella superficie nata dalla rotazione attorno un asse di una curva ellittica, ovale o alto. Ovviamente la questione sulle imposte e sulle linee di colmo intradossale resta immutata.
- A quest'ultimi vanno aggiunti gli *archi piani sferoidali*, generati dall'intersezione di sferoidi con parallelepipedi o se si vuole nati dalla opportuna sezione piana dello sferoide.

La classificazione architettonica del contenuto delle lastre del trattato IV *Della Ortografia gettata*, è necessaria per analizzare, le opere realizzate del Guarini, in cui gli enti di natura stereotomica trovano la concreta realizzazione. Va detto in proposito che la maggior parte di queste architetture sono costruite in mattoni: quindi se di stereotomia bisogna parlare, si deve far riferimento al precipitato solutivo formale che da questa ne discende e non dall'esplicita opera lapidea ed il suo taglio.

A tal riguardo va sottolineato per contro l'importanza della stereotomia nella costruzione delle centine lignee, pro-costruzione di volumi complessi, dato che al positivo lapideo corrisponde il negativo della centina con uguali complessità geometriche. A tal proposito Mueller⁸⁶ sostiene che:

Più importante è che uno dei motivi essenziali nell'arte del Guarini si basi sulla Stereotomia. Noi intendiamo con ciò i suoi sforzi espressi nelle sue opere, di costruire cioè un complicato sistema di spazi complessi con l'aiuto dell'intersezione di corpi elementari geometrici. Nei disegni del Guarini il modo stereotomico è un valore estetico.

L'opera costruita del Guarini come avremo modo di analizzare, a nostro avviso, può essere vista come soluzione formale assimilata e percepita nella personale esperienza formativa italiana e estera pre-stereotomica, implementata

⁸⁶ Mueller, op. cit. (cfr. Nota 72)

corretta e ottimizzata dagli studi approfonditi della disciplina in terra francese.

Con ogni probabilità il Guarini entra in contatto con la cultura stereotomica d'oltralpe in occasione della sua missione a Parigi databile dal 1662 al 1666, periodo in cui è occupato alla progettazione e costruzione della chiesa di Sainte-Anne la Royale. Prima di questa aderenza al pensiero costruttivo francese, le maggiori tematiche della sua poetica architettonica erano già presenti nel suo repertorio formale. Infatti come riporta Harold Alan Meek⁸⁷:

...una delle tecniche più sorprendenti dell'architettura di Guarini è la cupola traforata, fatta di archi parabolici (non è esatto chiamarli parabolici, ne esamineremo nel seguito la natura geometrica n.d.a.) intrecciati che invadono il centro dello spazio da essi racchiuso, lasciando nel mezzo un'apertura ottagonale, alla quale (nel caso di San Lorenzo) vengono sovrapposte ulteriori strutture. Il parallelo più vicino a questo tipo di costruzione è reperibile in due cupole della Grande Moschea di Cordoba terminata prima del 976 d.C (Vol. II, Tavv. 261-266).

Il primo di questi spazi, la *cappella di Villaviciosa*, è un recinto virtuale sull'asse che porta al mihrab, sulla soglia di accesso all'area costruita da Al-Hakam II tra il 961 e 976, ove, più di un secolo prima dell'apparizione in Francia delle cupole nervate, la stereotomia raggiunse un'ammirevole precisione.

Il tema della cupola traforata è una acquisizione formale databile, con ogni probabilità tra il 1657 e il 1660 quando il Guarini compie un viaggio in Portogallo e quindi viene sicuramente in contatto con l'architettura arabo-spagnola. La prima formulazione di questa tematica progettuale avviene con il progetto della chiesa, mai realizzata, dei Padri Somaschi di Messina disegnata tra il 1660 e 1662, e nella *cupola nana* della chiesa parigina di Sainte-Anne la Royale, entrambe illustrate nelle tavole dell'*Architettura Civile* (cfr. Vol. III). Analizzandone la sezione si può notare per entrambe un timido disegno di dettaglio, non risolto, dell'intersezione degli

⁸⁷ Harold Alan Meek, op. cit. pp 21,

archi costituenti le cupole, che torna a favore della tesi che sosteniamo, ossia che l'apporto della disciplina stereotomica, serve al Guarini per ottimizzare alcune soluzioni già presenti nel suo bagaglio formale.

Il disegno in proiezione dell'intreccio degli archi della cupola è inesatto proprio nei punti di intersezione degli stessi, errore o inesatta soluzione teorico/geometrica della superficie intradossale della cupola che si riscontra nei precedenti esempi iberico-arabi e non nel disegno dello stesso tema formale per la cupola di San Lorenzo a Torino progettata al rientro da Parigi nel 1666, (a stereotomia ormai acquisita).

A nostro avviso, il tema formale della cupola intrecciata sarà stato argomento di sicura speculazione geometrica negli ambienti francesi, fino al punto di arrivare all'esatta soluzione geometrica per il progetto torinese.

La sottile, ma enorme differenza concettuale che distingue l'esempio medievale da quello posteriore stereotomico sta nel fatto che nel primo caso la cupola è generata dalla composizione, in serie polare, di archi piani con intradossi "cilindrici" la cui intersezione costituisce la soluzione di continuità all'intera superficie intradossale della cupola; nel secondo caso l'arco che compone l'insieme nasce come intersezione del continuo sferico o sferoide. Di conseguenza nella composizione in serie polare, la continuità intradossale della cupola è sempre assicurata (Vol. II, Tav. 261). Detto questo, risulta pleonastico sottolineare l'enorme differenza di calcolo a priori delle due soluzioni: una geniale nell'invenzione, l'altra intellettuale per la finezzaolutiva.

Nell'opera post parigina di Guarini riscontriamo un ulteriore elemento formale, prima inesistente, il cui confronto concettuale con la stereotomia è lampante: l'arco spaziale conico. Una composizione, in serie polare, di archi spaziali conici, o meglio di *coni guariniani*, a supporto del cornicione di imposta della meravigliosa cupola di San Lorenzo che scaricano su colonne corinzie, rappresenta il più bel esempio dell'utilizzo di questo elemento architettonico (Vol. II, Tavv. 48-51). Tale arco nasce dall'intersezione di un cilindro retto cavo, nella fattispecie uno degli otto muri convessi che

salgono sino all'imposta del primo cornicione, con un cono guariniano. Tale arco ha le linee di imposta convergenti e la linea di colmo d'intradosso orizzontale (Vol. II, Tav. 49). L'arco spaziale è un problema classico di stereotomia: esso rappresenta la soluzione congruente dell'apertura di un arco in una torre circolare con tutte le possibili varianti del caso. Con Guarini tale soluzione *standard* raggiunge livelli estetici altissimi.

Resta da esaminare l'apporto della disciplina stereotomica all'opera torinese più conosciuta di Guarini: la cappella della Sacra Sindone. Il 19 maggio 1668, Guarini viene ufficialmente nominato ingegnere ducale dell'Opera.

La nostra attenzione è puntata, ancora una volta, alla ricerca dei possibili antecedenti logico-formali di natura stereotomica che possono aver inciso alla progettazione dello spazio voltato della cappella. La nostra ipotesi, si basa sulla possibile influenza del trattato di Philibert de l'Orme per la strutturazione dell'idea di progetto mediata dalle conoscenze di soluzioni formali arabe di cui Guarini era, con ogni probabilità, a conoscenza.

Va detto subito che la stereotomia della Sacra Sindone, non riguarda specificamente il taglio dei suoi elementi lapidei di marmo nero di Franosa, bensì la composizione dell'intero spazio interno: dall'alto il tema della cupola traforata, nel basso quello degli archi sferici a disposizione triangolare.

Per il primo tema, come riporta Harnold Alan Meek⁸⁸:

Nell'analizzare le possibili fonti della cupola traforata di San Lorenzo, non è difficile rintracciare alcuni prototipi islamici che Guarini potrebbe aver visto in Spagna. Nel caso della Sacra Sindone, il punto di partenza non è però così ovvio: la sovrapposizione di archi sfalsati è frequente nell'Europa orientale. L'autore continua riportando l'esempio del camino conico che si trova sopra il refettorio del monastero di Rila in Bulgaria. A nostro modo uno dei riferimenti la cui vicinanza formale risulta vicinissima è la cupola di Ulu Cami a Erzurum in Turchia, costituita da elementi lignei sovrapposti a catasta seguendo la regola del progressivo appoggio in mezzeria

⁸⁸ H. A. Meek, *op. cit.*, p. 98

dell'elemento inferiore (Vol. II, Tavv. 267-272). Il problema è che non è dato sapere di un viaggio in Turchia da parte del Guarini, ma è lecito ipotizzare la sua conoscenza di soluzioni analoghe in terra siciliana sicuramente più ricca, in tal periodo, di tali architetture rispetto ad oggi. Bisogna ancora sottolineare che il concetto della mutua sovrapposizione ascensionale di telai lignei è lo stesso che genera la soluzione delle volte piane, di derivazione lignea di cui il Guarini è a conoscenza.

Tornando alla cupola traforata, dato il presupposto della consapevolezza formale della composizione seriale esagonale di archi ribassati piani, quale suggerimento possibile rappresenta la causa del totale tamponamento vitreo delle lunette degli archi?

Ancora il Meek⁸⁹:

Spetterà a Guarini il compito di sfondare la superficie emisferica, di erigere la cupola alla maniera araba, con fasce e costoloni, e poi eliminare i tamponamenti, cosa che gli stessi arabi non avevano mai osato fare.

Proprio qui, entra in gioco la nostra ipotetica influenza francese per mezzo del trattato di Philibert de l'Orme, nella versione stampata postuma del 1648, che con ogni probabilità sarà stato esaminato dal Guarini durante il soggiorno parigino. In questa versione del trattato sono presenti alcuni disegni di cappelle, assenti nelle versioni precedenti, di cui una particolarmente bizzarra ed interessante: la Cappella con cupola vetrata (libro IV, cap. VIII, folio 108 v.), mai realizzata. Si tratta di una cupola semisferica con dodici costoloni radiali e otto costoloni elicoidali che tagliano trasversalmente i primi costoloni, tamponata con una rete di piombo a sostegno delle lastre di vetro (Vol. II, Tavv. 246-251). La cupola pseudoconica traforata di Guarini è, anch'essa costituita da dodici costoloni, che dall'interno sono percepiti parzialmente come mensole di scarico degli archi. E ancora: in entrambi i casi sussiste la percezione prospettica di allungamento della struttura perché gli elementi si

⁸⁹ H. A. Meek, *op. cit.*, p.187

assottigliano con legge proporzionale all'ascensione strutturale. In più, Guarini utilizza un *escamotage* costruttivo che accentua l'effetto prospettico: grazie al particolare trattamento delle superfici marmoree degli archi, levigati ma non lucidati, che per l'osservatore che guardi verso l'alto, inconsciamente contrappone i lucidi marmi in nero e oro della zona terrena, in cui si trova, alle tonalità smorzate che percepisce, restando convinto che quel tipo di impressione sia dovuta alla grande distanza.

I riferimenti al trattato di cui sopra, riguardano anche la parte inferiore dell'opera guariniana, ossia la soluzione terminale di sei delle otto lesene dell'ordine gigante della cappella. Si tratta di tre grandi archi sulla superficie sferica che se proiettati in pianta darebbero forma ad un triangolo equilatero: soluzione teoricamente analoga alla copertura con volta sferica di un ambiente a pianta triangolare presente nel trattato delormiano (*De la voute spherique & a fuor sous la forme d'un triangle équilatéral*, libro IV, cap. XIV, folio 116r). Guarini propone la stessa soluzione anche nella copertura delle volte più piccole dei tre vestiboli d'ingresso alla cappella; in entrambi i casi il marmo nero disegna perfettamente gli archi sulla superficie sferica, manifestando la sua grande capacità stereotomica (Vol. II, Tavv. 252-255).

La presenza all'interno del libro IV del trattato delormiano di entrambi i temi della poetica guariniana ci convalida l'ipotesi di una possibile diretta influenza francese nelle opere di Guarini che, in maniera unica ha creato una sintesi perfetta del pensiero geometrico mediterraneo.

La poetica architettonica di Guarino Guarini rispetto al problema del *gusto* dominante è unica in un periodo permeato di accademismo. Così egli afferma:

Gli uomini cangiano mode, e quello che prima era ammirato per bello, vien poi aborrito per difforme, e quello che piace ad una nazione dispiace all'altra, e nello stesso nostro affare veggiamo che l'Architettura Romana prima spiacque ai Goti, e l'Architettura Gotica a noi stessi dispiace...(III.iii.) Sulla stessa linea di pensiero, un secolo prima Philibert de l'Orme, chiede umilmente di dissentire da Vitruvio in molti punti: egli attacca

tutti coloro che seguono ciecamente le mode italiane e propone di aggiungere un ordine francese agli ordini classici. Come riporta Meek⁹⁰, mai però, prima di Guarini, queste teorie sono state esposte con tanta chiarezza. Questo sentire comune accomuna ancora una volta i due maestri le cui opere pur parlando una lingua differente sono legate da un'intima comprensione.

Guarini muore improvvisamente nel 1683, all'età di cinquantanove anni, mentre è nel pieno della sua attività di architetto e trattatista. La morte lo coglie a Milano, dove si reca per la pubblicazione del suo trattato *Coelestis Mathematica*. La matematica è la costante della sua vita e informa tutta la sua architettura. Per matematica, al tempo di Guarini intendiamo, quanto riporta Vitale Giordano⁹¹ da Bitonto nel suo *Euclide* del 1680:

La Matematica, che Platone annoverò fra le parti della sua Filosofia, ebbe in ogni secolo quella prima veneratione...e ancora in Che cosa sia Matematica e quali sieno le sue parti: Matematica chiamiamo tutta quella parte di Filosofia, che riguarda la quantità. Due generi di quantità ha per oggetto la Matematica, cioè la quantità continua, e la quantità discreta. Qualunque estensione si chiama quantità continua, ed ogni moltitudine si dice quantità discreta. La quantità continua si divide in tre generi di estensioni. La prima è quell'estensione, che costituisce lo spazio. La seconda è la duratione, che volgarmente vien chiamata tempo; e la terza è il moto successivo, che si dice moto perenne.

La conoscenza organica del sapere matematico abbraccia anche l'architettura, misurata e calcolata come *estensione che costituisce lo spazio* in quel *che volgarmente vien chiamata tempo* congiunto formalmente e simbolicamente al movimento astrale *che si dice moto perenne*. Tutti elementi che informano pienamente l'architettura guariniana, dalla trattazione teorica alla soluzione progettuale, dal calcolo

⁹⁰ H. A. Meek, *op. cit.*, p.184

⁹¹ Vitale Giordano, *Euclide restituto*, Roma, 1680, Introduzione. Questi, lettore delle Matematiche nella Reale Accademia stabilita in Roma, è autore anche di *Fundamentum doctrinae motus gravium*, Roma 1689.

stereotomico alla comparazione astrale delle sue cupole, fino alla meraviglia della cangiante dissoluzione materica delle stesse, ad opera del movimento temporale della luce.

1.4.2. Bernardo Vittone

Queste tematiche progettuali si ritrovano nel successivo sviluppo architettonico ad opera di Bernardo Vittone, che cura redazionalmente la summa dell'opera guariniana, e cioè *l'Architettura Civile*, pubblicata postuma nel 1737.

Al fine di non allontanarci troppo dal filo conduttore che lega l'intera trattazione della presente tesi, ossia il rapporto tra forma architettonica e disciplina stereotomica, analizzeremo di Vittone quegli elementi architettonici di chiara matrice guariniana che assumono particolare interesse all'interno della tematica progettuale con l'ausilio della luce e degli effetti prospettici. Il suo approccio all'architettura non è matematico-filosofico ma peculiarmente sensoriale.

Come ha giustamente sottolineato Filippo Camerota⁹²: *L'apparenza diventa per lui un aspetto importante quanto la statica e con felici risultati riesce a trasformare la struttura stereotomica e geometrica dell'architettura di Guarini in uno spettacolo visivo.*

Due opere hanno catturato la nostra attenzione: il progetto mai realizzato della chiesa di Santa Chiara in Alessandria, e la sua prima realizzazione del santuario della Visitazione di Maria a Carignano Vallinotto del 1738. Entrambe le architetture sono a pianta centrale, impostate sulla figura esagonale di base, che caratterizza lo spazio voltato secondo la soluzione guariniana degli archi incrociati in numero di sei. Alla soluzione relativamente più semplice dello spazio voltato della chiesa di Santa Chiara (Vol. II, Tavv. 273-281), ove la sintassi stilistica è chiaramente denunciata, si contrappone la complessa realizzazione dello spazio voltato di Vallinotto (Vol. II, Tavv. 282-286).

A questa data l'influenza di Guarini è fortissima, e due sono i temi esplorati da Vittone: gli archi intrecciati di San Lorenzo e

⁹² F. Camerota, *op.*, cit.

la cupola a doppia calotta , inventata da Guarini nel progetto per la chiesa di San Gaetano a Vicenza. Il tutto manipolato, per mezzo dell'espedito dell'offuscamento delle sorgenti luminose suggerito da Gianlorenzo Bernini con l'Estasi di Santa Teresa ne *La Cappella Cornaro* tra il 1645-52, e con spirito di sperimentazione per mezzo delle contemporanee teorie di Newton⁹³ sulla scissione della luce.

Dello spazio voltato del progetto della chiesa di Santa Chiara in Alessandria, nelle *Istruzioni Diverse* tav. 71, leggiamo:

Cosa trovai pure in questo caso opportuna il fare aperte le vele, per dare col mezzo di tali aperture al vaso della chiesa quel compimento di luce, che altronde procacciarvi restava affatto impossibile.

La descrizione dello spazio voltato del Santuario della Visitazione di Maria a Carignano (Vallinotto), riempie parte del testo, a pag. 186, espositivo della tav. 78 come segue:

Nell'interno però ella è ad un piano solo che sormontato vada tre volte, una sovra l'altra esistenti, tutte traforate ed aperte; così che luogo ha la vista di coloro che si trovano in chiesa a spaziar per li vani che esistono fra esse e godere in tal modo, con l'aiuto della luce che vi si intromette per mezzo di finestre internamente non apparenti, la varietà delle gerarchie che, gradatamente crescendo, vi si rappresentano in esse volte, e fino alla sommità del capolino, ove espressa vedesi la Santissima Triade. Fu mio pensiero, che l'aspetto di tali pitture fosse in degradazione prospettica, ma la fretta dell'esecuzione bramata dal suddetto signore (commissione del banchiere Antonio Facio) non permise che intieramente riuscisse il desiderato effetto dell'opera.

La composizione plastica dei sistemi voltati di Vittone, anch'essi costruiti in mattoni e stucco, inducono ad offuscare la nostra riflessione sulla reale matrice stereotomica della sua architettura.

Werner Mueller ha ritenuto giustamente parlare di un "modo stereotomico" nella progettazione architettonica di Vittone, intendendo quest'ultima una forma di creazione artistica

⁹³ Si veda a tal riguardo il paragrafo *il problema della tecnica e il rapporto con la cultura illuministica* in: Paolo Portoghesi, *Bernardo Vittone. Un Architetto tra illuminismo e Rococò*, Edizioni dell'Elefante, Roma, 1966.

originata dalla stereotomia. Tra gli altri argomenti a favore di questa tesi, c'è da sottolineare quanto riporta Paolo Portoghesi⁹⁴ a proposito della biblioteca privata di Vittone, che tra gli altri trattati fondamentali di architettura, era custodito il trattato di Bosse, discepolo di Desargues.

Nelle *Istruzioni elementari* dedica un capitolo alle volte, citando Frézier come "scrittore assai valente ed erudito in questa facoltà", e infine nelle *Istruzioni diverse*, alla tavola 18 è presentato il *Progetto di una scala che si allarga verso l'alto per ricevere più luce*, che altro non è che il progetto della doppia scalinata a spirale conica di Nicolas Le Camus de Mézières presso le Halle au Blé a Parigi costruita tra i 1762 e 1766 poi demolita (Vol. II, Tavv. 324-327).

Anche se nelle sue opere la complessità è pari alle opere del Maestro, le critiche da parte del Vittone non tardano a farsi sentire. Infatti, come riporta Meek⁹⁵ nel suo trattato *Istruzioni diverse*⁹⁶, definisce le cupole di Guarini come "oscuire e difficili e poco ad un semplice misuratore intelleggibili". E ancor più duro qualche anno più tardi, Francesco Milizia, in un articolo delle sue *Memorie*⁹⁷, dedicato all'artista riporta:

E come mai con tanti buoni lumi (il riferimento è alla lettura dei Grandi : Vitruvio, Alberti, Palladio,...) ha costui in Architettura vaneggiato tanto? Quando lo stomaco è sconcertato, ogni buon cibo fa corruttela...

e in conclusione:

a chi piace l'architettura del Guarini buon pro li faccia, ma stia fra i pazzarelli (sentiamo di aggiungerci al Meek, dicendo: anche noi siamo fra quelli!).

Nel capitolo dedicato alle volte dei *Principi di Architettura Civile* del 1781, Milizia sostiene che:

Né gli antichi, né gl'italiani...hanno trattato mai questo soggetto teoricamente. I francesi all'incontro vi si sono impiegati con profitto, applicandovi la geometria: il Deran, il

⁹⁴ Paolo Portoghesi, *op., cit.*, p.13

⁹⁵ H. A. Meek, *op., cit.*, p. 196

⁹⁶ Il trattato è pubblicato nel 1766 e consiste in massima parte di appendici al primo lunghissimo trattato *Istruzioni elementari* del 1760.

⁹⁷ Francesco Milizia, *Memorie degli architetti antichi e moderni*, Roma, 1781

Deschalles, il Blondel, il de La Rue sono stati i primi a prescrivere delle regole⁹⁸.

Ovviamente, a causa della sua avversione alla "setta borrominesca" di cui Guarini fa parte, viene praticamente ignorato il valore teorico che l'*Euclides adauctus* apporta allo studio delle volte, e di conseguenza non può essere compresa la concettualizzazione progettuale che da questo deriva.

⁹⁸Ivi, t. VIII, p. 265

1.5. La crisi evolutiva della speculazione stereotomica post-Frézier

La strada che, come abbiamo detto, attraverso la stereotomia giunge d'oltralpe e informa l'architettura di Guarini e di Vittone, da questi riparte al di là delle alpi verso la costruzione del barocco austriaco e tedesco.

Di contro, in terra francese a partire dal 1750 assistiamo ad una recessione della teoria della disciplina stereotomica. I trattati successivi all'opera di Frézier, seppur numerosi, lasciano intendere una esplosione speculativa della disciplina, che costituisce, tranne qualche rara eccezione, una riproduzione delle opere precedenti.

Questi trattati, in gran parte, rappresentano applicazioni della geometria descrittiva, le cui regole della doppia proiezione ortogonale teorizzata da Monge sono ormai ben acquisite da tutti, per gli elementi stereotomici classici. Inoltre la vocazione è spinta al virtuosismo formale dei modelli stereotomici in qualità di tecnica didattica per i giovani allievi delle scuole politecniche. Sono ormai quasi del tutto assenti le tecniche di taglio finalizzate alla costruzione e messa in opera degli elementi architettonici se non per le volte semplici.

Tra questi trattati riportiamo un gran numero di opere in ordine di apparizione: Menand (1757), Simonin (1792), J.B. Rondelet (1802), J. P. Douliot (1825), L.L. Vallée (1828), J.A. Adhémar (1840), C.F.A. Leroy (1844), E. Le Jeune (1872), J. Pilliet (1887), L. Monduit (1889), A. Denis (1889), J. Chaix (1890), H. Sinaud (1890), E. Rouché e Ch. Brisse (1893), C. J. Toussaint (1902), M. Bousquet (1912), E. Tachon (1914).

Alcuni di questi trattati, attraverso un vaglio critico delle fonti e delle derivazioni, sono stati utili a ripercorrere a ritroso la storia e i motivi della stereotomia che abbiamo sin qui tentato di mettere a fuoco, costituendosi quali importanti tasselli per la costruzione di un pensiero e, non ultima, di una coscienza nazionale. Una particolare nota distintiva va data al *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* di Jean-Baptiste Rondelet, stampato a Parigi tra il 1802-17 (succ. 1827-29,

1838), che come riporta J. M. Pérouse de Montclos ha ancora tutte le qualità dei grandi trattati del XVIII° secolo. L'autore, organizzatore dell'École Polytechnique, passa ad insegnare dal 1799 all'Institut d'Architecture e quindi dal 1806 all'École des Beaux Arts dove ottiene la cattedra di Stereotomia ed Ingegneria Civile. Nell'epocale separazione delle specializzazioni tra la formazione dell'École Polytechnique e quella dell'École des Beaux Arts, la Stereotomia resta la *zona di intersezione* delle due scuole. Come riporta Carlo Bianchini⁹⁹: *Le profonde differenze che caratterizzano il percorso formativo immaginato dai fondatori di queste due scuole trovano tuttavia una significativa ricomposizione nella comune attribuzione di un ruolo propedeutico di assoluto valore alla medesima disciplina, la Stereotomia, che meglio di qualsiasi altra appariva in grado di favorire nell'allievo lo sviluppo di quella capacità di "immaginare lo spazio" indispensabile per qualsiasi progettista che si rispetti.*

Quindi la Stereotomia da originaria *arte del taglio delle pietre* si trasforma, tra la fine del settecento ed inizi dell'ottocento, in *scienza del taglio delle pietre*, ossia in una disciplina fondamentale per la formazione tecnica del professionista ingegnere o architetto.

In Italia, nell'ambito degli studi sulla geometria descrittiva e analitica¹⁰⁰, che trovano spazio nelle scuole politecniche in linea con la ventata propulsiva francese, spiccano personalità di studiosi interessati a specifiche ricerche sulle superfici geometriche e questioni analitiche di stereotomia. Per il carattere e l'impostazione fortemente matematica, tali trattazioni esulano dal campo di indagine della presente tesi, ma testimoniano il perpetuo interesse della comunità scientifica verso fenomeni costruttivi dalla lunghissima storia. Fra i tanti ricordiamo: *La geometria del compasso* di Lorenzo Mascheroni, pubblicata a Pavia nell'anno V della Repubblica

⁹⁹ Carlo Bianchini, *Strumenti logici ed operativi per lo studio dei sistemi voltati in pietra: la codifica ottocentesca di Jean.Baptiste Rondelet*, p. 94. In *Il disegno e la pietra*, vol. 4, Roma, Gangemi Editore, 2000.

¹⁰⁰ V. Vita, I programmi di matematica per le scuole secondarie dall'Unità d'Italia al 1986, Bologna, Pitagora, 1986.

Francese, 1797 nei mesi in cui Mascheroni frequentava Bonaparte a Mombello per la preparazione della Costituzione della Repubblica Cisalpina. *La geometria del compasso*¹⁰¹ si inseriva in quel ritorno di interesse per la geometria pura che stava caratterizzando la nuova didattica nata dalla Rivoluzione francese e i cui esempi più illustri erano la *Géométrie descriptive* di Gaspard Monge insegnata all'École Normale de l'an 3 (lezioni tradotte parzialmente in italiano nel 1798) e gli *Éléments de géométrie* di Legendre (1794). *Memoria sopra un problema stereotomico*¹⁰² di Gianfrancesco Malfatti del 1803. Per l'autore la stereotomia è l'arte di tagliare le pietre (o solidi) per ricavarne "oggetti", che se intesi da un punto di vista puramente matematico, di qualche regolarità con il minimo spreco di materiale. Malfatti si proponeva di ricavare da un prisma triangolare tre cilindri del massimo volume totale¹⁰³. Segnaliamo inoltre, una interessante *Nota di Stereotomia sopra i cunei dei ponti in isbieco* di Antonio Bordoni professore di matematica pura elementare nell'Università di Pavia, stampata a Milano nel 1826 in cui si legge: *Alcuni discorsi da me uditi, da giovani ingegneri..., relativi ai cunei di una fronte di un ponte avente*

¹⁰¹ Mascheroni dimostrava che tutti i problemi risolubili con riga e con compasso possono essere risolti con il solo compasso. In particolare si occupava della divisione esatta o approssimata del cerchio in parti uguali. Da questo tipo di problemi, illustrati nell'*Encyclopédie (Quart de cercle mural)* Mascheroni aveva ricevuto lo stimolo a scrivere un'opera che altrimenti poteva configurarsi come una curiosità per specialisti. Infatti il compasso è strumento molto più preciso della riga quando si vuole dividere ad esempio un quadrante astronomico di grandi dimensioni come avevano mostrato Bird, Graham e Ramsden in Inghilterra. L'opera, dedicata a Napoleone "l'Italiano", in effetti stupì Laplace e Lagrange, mostrando come con il solo compasso si può costruire il centro di un cerchio dato. La *Geometria del compasso* fu tradotta in francese da Charette nel 1798 (una seconda edizione è del 1828) e in tedesco nel 1825.

¹⁰² In *Memorie di matematica e fisica della Società Italiana delle Scienze*, 10-1 (1803), p. 235-244.

¹⁰³ Il problema è, posto in generale, abbastanza complesso e ad esso si applicarono alcuni dei maggiori matematici dell'Ottocento (Jakob Steiner, Julius Plücker, Arthur Cayley, Alfred Clebsch ecc.). Le *Memorie di matematica e fisica della Società italiana*, fondate da Anton Maria Lorgna nel 1782, furono finanziate per la prima volta dai governi napoleonici, per iniziativa di Mascheroni nel 1798. Esse raccolsero alcune delle più importanti memorie matematiche del tempo, continuarono le pubblicazioni nell'età della Restaurazione e vivono ancora come *Memorie dell'Accademia Nazionale dei XL*.

*la superficie interna cilindrica ordinaria ma obliqua alla fronte stessa, mi hanno indotto a pubblicare la presente nota di stereotomia, persuaso che essa sarà aggradita non solo da questi medesimi giovani ingegneri, ma ben anco da chiunque debba o voglia occuparsi di siffatti ponti o di analoghi lavori essendovi in essa esposte e dimostrate proposizioni sufficienti per determinare i detti cunei, cioè per trovare tanto i loro spigoli quanto i loro angoli sì piani che solidi, ... (Vol. II, Tav. 33 in basso, e tavole a seguire). Problema di speculazione teorico/pratica che conosce, dalla descrizione di Villard de Honnecourt a Bordoni, più di mezzo millennio di storia. L'autore, oseremmo dire al pari di Desargues, si propone di dare una soluzione universale e numerica ad un problema costruttivo dato. Il tutto per mezzo di calcoli analitico-trigonometrici che forniscono gli angoli esatti da trasmettere al lapicida al fine di orientare opportunamente i proprie dime di controllo per il taglio dei conci. Infine concludiamo questa breve panoramica storica ricordando che l'Unità d'Italia si caratterizza nell'insegnamento secondario della matematica con il ritorno ad Euclide promosso in primo luogo da Betti e Brioschi¹⁰⁴: *dobbiamo lamentare - scrivevano nell'introduzione - che quell'inimitabile modello di logica e di chiarezza lasciatoci dai Greci negli Elementi d'Euclide sia stato pressoché abbandonato dalle nostre scuole, e siano invece introdotti e raccomandati libri, nei quali esagerandosi il metodo Legendre, al rigore del ragionamenti si è sostituito il meccanismo del processo aritmetico. Lo scopo degli insegnamenti matematici non è di affastellare nozioni in modo supposto efficace, ma svegliare nei nostri giovani il gusto delle nozioni nettamente determinate e l'abitudine del rigore nel raziocinio.* Presupposto essenziale, aggiungiamo, per chi in Architettura segue l'intricato percorso tracciato dalla stereotomia.*

¹⁰⁴ *Gli Elementi d'Euclide ad uso de' ginnasi e de' licei, per cura dei professori Enrico Betti e Francesco Brioschi. - Firenze, Successori Le Monnier, 1867.*

2. Il paradigma stereotomico nella Progettazione Architettonica contemporanea

Come mai i lavoratori intellettuali che amavano concentrarsi sui famosi "modi di produzione" rifiutano di vedere come l'industria di domani sarà presto tutta digitale? Non è tanto un problema economico ma piuttosto culturale. A causa di questa frattura tra cultura architettonica e modo di produzione digitale, il campo è lasciato libero ad una nuova avanguardia puramente formale che trova le sue referenze più nella biologia cellulare che nella tradizione della nostra disciplina.

Bernard Cache¹⁰⁵

2.1. Stato dell'arte della ricerca contemporanea sulla Stereotomia

La ricognizione dello stato attuale delle ricerche condotte sulla Stereotomia, permette di comprenderne le evoluzioni e le potenziali ricadute operative in essa implicitamente contenute. Permette, inoltre, di tentare una possibile ricollocazione speculativa della disciplina che ha ormai perso l'originario primato didattico in ambito formativo.

Allo stato attuale le ricerche in ambito internazionale, secondo la nostra conoscenza sono portate avanti, a diverse scale di approfondimento, in tre ambiti disciplinari: primo fra tutti quello storico (a), a cui segue la Rappresentazione dell'Architettura (b), per terminare nella Progettazione Architettonica (c).

(a) I più importanti studi dedicati alla Stereotomia, sono di carattere prettamente storico, dalla *maniera nazionale*, alle tecniche costruttive, per rifluire nelle tecniche della rappresentazione architettonica, nella storia della geometria descrittiva e così via. Fra i maggiori contributi si annoverano studiosi le cui pubblicazioni hanno fortemente indirizzato la ricerca sulla disciplina stereotomica. Jean-Marie Pérouse de

¹⁰⁵ Cfr. www.objectile.com

Montclos, già direttore di ricerca presso il CNRS in Francia, ha prodotto la miglior strutturazione storica sulla stereotomia (*l'Architectue à la Française*, Parigi 1982) prestando attenzione ai precedenti studi condotti in terra francese da René Taton (*L'Oeuvre Scientifique de Monge*, Parigi 1951, e *L'Histoire de la Géométrie Descriptive*, Parigi 1954), e agli importanti lavori di Anthony Blunt (*Philibert Delorme*, Londra 1958), Werner Mueller (*The authenticity of Guarini's Stereotomy in his Architettura Civile*, 1968). Importantissimo il contributo di Robin Evans svolto presso MIT Cambridge Mass (*La trompe di Anet*, 1988 e *The Projective Cast*, 1995) in cui la lettura geometrica trova una forte strutturazione teorica dell'architettura. Seguono, in terra francese, i contributi storici su Philibert Delorme di Francoise Boudon e Jean Blécon (*Philibert Delorme...*, Parigi 1985), di Dominique Bonnet Saint-Georges (*Philibert de l'Orme lyonnais*, Lione, 1993) e di Philippe Poitié (*Philibert Delorme: figures de la pensée constructive*, Parigi 1996). Sulla storia della scienza della rappresentazione architettonica è da annoverare il contributo di Joel Sakarovitch (*Théorisation d'une pratique, pratique d'une théorie. Des traitées de coupe des pierres à la géométrie descriptive*, tesi di dottorato, Parigi 1989).

(b) Per quanto attiene alla geometria descrittiva, in Italia, tra gli studi sulla disciplina stereotomica, sulla scia tracciata dai precedenti autori, sottolineiamo i contributi di Mario Docci, Riccardo Migliari e Carlo Bianchini sulla storia della Geometria Descrittiva e sulla stereotomia di Guarino Garini (1994); il contributo di Filippo Camerota (*Prospectiva aedificandi. Ottica, stereotomia e architettura obliqua*, tesi del dottorato di ricerca, Firenze 1994); gli studi di Antonio Becchi sull'impostazione del prof. Edoardo Benvenuto sulla storia della statica dei sistemi voltati (Genova 1998); l'interessante contributo scientifico-metodologico di Camillo Trevisan (*Per la storia della Stereotomia*, IUAV 1999); Andrea Giordano sulla genesi e la forma dei sistemi voltati e cupolati (*Cupole Volte e altre superfici*, Torino 1999).

(c) Infine per quanto riguarda la Progettazione Architettonica, le uniche ricerche in Italia sono quelle condotte nel nostro dipartimento sotto la guida del prof. Claudio D'Amato Guerrieri. Tra i primi lavori c'è il contributo della tesi di dottorato in Progettazione Architettonica di Francesco Defilippis (*Architettura in Pietra e stereotomia*, Bari-Palermo 1999) coordinata dal prof. Claudio D'Amato Guerrieri.

(a-b) Tra le ricerche spagnole, in linea metodologica con quelle francesi, sottolineiamo i contributi di: José Carlos Palacios (studi condotti dal 1986 a Madrid), Santiago Huerta Fernandez (studi condotti dal 1990 a Madrid), Antonio Bonet Correa (studi condotti dal 1993 a Madrid), Enrique Rabasa Diaz (studi condotti dal 1994 a Madrid), José Calvo López (studi condotti dal 1998 a Madrid). Sulle ricerche della stereotomia spagnola evidenziamo il contributo di Sergio Luis Sanabria (studi condotti dal 1982) presso la Princeton University. Il taglio comune dato a queste ricerche risiede nell'analisi della trattatistica storica sull'argomento e sulla capacità analitica di decrittare impostazioni teoriche, sintassi formali, tecniche costruttive, e modi operativi. Alcuni fra i più attuali studi¹⁰⁶ si distinguono per l'alto grado analitico condotto metodologicamente per mezzo delle tecniche informatiche di modellazione virtuale, riuscendo a simulare in maniera molto realistica i processi generativi della forma architettonica stereotomica, grazie alla forte capacità del mezzo informatico di elaborare nelle tre dimensioni le stesse problematiche di natura geometrica del lapicida.

(c) Tra le più avanzate linee di ricerca sulla Progettazione Architettonica, derivata dalla speculazione stereotomica, possiamo evidenziare i contributi pionieristici di Bernrd Cache in Francia e Preston Scott Cohen negli Stati Uniti. Del loro apporto teorico/metodologico se ne analizzerà la portata nel seguito della presente trattazione, che qui tende a *disegnare*

¹⁰⁶ Fra questi si distinguono: Camillo Trevisan e gli studi sulla *Trompe d'Anet*, Carlo Bianchini sulle geometrie di Guarino Guarini, José Calvo López sulla stereotomia di Ginés Martínez de Aranda, etc.

un quadro, che non ha certamente la pretesa di essere esaustivo a causa della difficile riduzione disciplinare della stereotomia, degli attori che a livello internazionale costituiscono un riferimento di base per gli studi sulla disciplina.

Nella maggior parte dei casi la conoscenza degli studiosi della disciplina è stata diretta e personale, consentendo un confronto *de visu* sulle problematiche teorico-metodologiche connesse allo studio delle fonti e alla loro più congruente interpretazione scientifica, da cui poter far correttamente discenderne sintesi e generalizzazioni architettoniche teorico-applicate.

2.2. Prospettive di ricerca e campi operativi

Gli interessi di ricerca, oggi, a nostro modo di vedere, non esauriscono i possibili ambiti speculativi, propri di una disciplina nata e evoluta per supportare le ambizioni connesse ad una progettazione con una forte componente teorica seguita da una esecuzione dall'altissimo grado di precisione. La ricerca sperimentale, in cui progettazione e realizzazione diventano i principali attori dell'atto speculativo, si può costituire come potente mezzo innovatore della stagione architettonica contemporanea per cui l'aggiornamento delle ragioni stereotomiche ne rappresentano l'assunto ontologico. Tra le ricadute possibili, in ambito accademico, quella didattica è sicuramente la più fertile nel rinvigorismento di una dottrina che pensa e si costruisce nello spazio. Nell'allargamento agli ambiti industriali/produttivi, può rappresentare un'opportunità concreta di rinnovamento stilistico-formale delle tecniche lavorative connesse all'utilizzo di materiali della tradizione. Una potente risorsa, quindi, che richiede una strutturazione organica e disciplinare che da sempre ha rappresentato la vera spinta propulsiva nelle grandi stagioni della stereotomia.

Al fine di una più spedita lettura della complessa problematica contemporanea, afferente alla speculazione stereotomica nell'ambito della Progettazione Architettonica, si è ritenuto opportuno schematizzare l'argomento, enucleandone per punti i nodi teorici, con la piena consapevolezza dei limiti connessi a qualsiasi forma di schematizzazione. Si è quindi passati allo sviluppo degli stessi cercando di contenere la trattazione negli argini degli nostri interessi relativi alla forma architettonica strettamente connessa alla tecnica progettuale/costruttiva. È evidente che il nostro interesse, pur sconfinando in molteplici ambiti disciplinari per la natura onnicomprensiva della Progettazione Architettonica, non può e non deve essere rivolto verso circuiti di competenza di studiosi molto più qualificati. La consapevolezza della differente natura delle problematiche è, quindi, obbligatoria quanto il costruttivo dialogo sinergico multidisciplinare attraverso cui il progresso scientifico si sviluppa e fortifica.

2.3. Ipotesi di strutturazione della ricerca sulla "Progettazione Stereotomica"

Nella nostra ipotesi sintetica, la questione non può prescindere dalla trattazione di determinati termini, attorno ai quali gravitano i nodi teorici della problematica¹⁰⁷. La "concettualizzazione della progettazione stereotomica", "l'aggiornamento delle tecniche stereotomiche", "i materiali della costruzione stereotomica", "l'approntamento di tecniche di calcolo strutturale", rappresentano i termini ritenuti di base per una più ampia strutturazione organica della ricerca.

1. Concettualizzazione della progettazione stereotomica;

¹⁰⁷ I nodi teorici di queste tematiche sono nati nel corso di Teoria dell'Architettura I, tenuto dal prof. Claudio D'Amato Guerrieri, e si sono sviluppati in sede di avanzamento della ricerca, con l'apporto critico del Collegio dei Docenti del DR.

- Circolarità e sincronicità della sequenza idea-progetto-costruzione,
- Esattezza progettuale e Precisione esecutiva: *la modellazione geometrica tridimensionale*,
- Il tutto e la parte: *approccio organico multiscalare*,
- Il principio della *costruzione a secco*.

2. *Aggiornamento delle tecniche stereotomiche;*

- Tecniche di *Disegno informatico CAD*,
- Tecnologie di Produzione CAM.

3. *I materiali della odierna costruzione stereotomica;*

- Materiali naturali,
- Materiali ricomposti.

4. *Aggiornamento dei metodi di calcolo strutturale delle architetture stereotomiche;*

- Modellazione strutturale ad elementi finiti/discreti,
- Prototipazione e test di resistenza.

2.3.1. Concettualizzazione della Progettazione Stereotomica

Al contributo teorico sulla concettualizzazione della "Progettazione Stereotomica" del professore Claudio D'Amato Guerrieri, si deve la fondamentale impostazione strutturale, che la seguente trattazione tenta di sintetizzare. *La circolarità e sincronicità della sequenza idea-progetto-costruzione*, espressi come segue, rappresentano la sintesi speculativa di un ragionamento comune all'atto stereotomico che vede nella *praxis* la felice armonia tra la teoria e la sua applicazione: *...eppure è proprio la continuità dei processi quella che può garantire uno dei fondamenti teorici del pensiero progettuale, quello che postula la circolarità e sincronicità della sequenza idea-progetto-costruzione, per il quale le scelte costruttive, statiche, materiche ecc...non sono da ritenersi susseguenti*

all'idea progettuale e allo sviluppo stesso del progetto; ma informano di sé fin dall'epifania dell'immagine il complesso processo di trasformazione della natura in architettura¹⁰⁸.

Al centro, del *triangolo ideale* ai cui vertici sono disposti i tre termini, *idea-progetto-costruzione*, gravita il *modello*, o meglio, per entrare direttamente nel vivo della questione *il modello informatico tridimensionale*. ...Ed è proprio l'elaborazione di modelli tridimensionali,..., che consente nuovamente di pensare in termini attuali all'ideale classico di una architettura organica¹⁰⁹.

Le ricadute della "rivoluzione informatica" sul progetto di architettura e quindi sui rapporti fra architettura e cultura digitale, è sicuramente uno dei temi più interessanti e controversi della ricerca contemporanea. Un fenomeno pervasivo e trasversale, senza dubbio fra gli aspetti caratterizzanti del nostro tempo.

L'uscita dalle limitazioni dello specialismo disciplinare rappresenta uno dei tratti positivi riscontrabili nell'era digitale, per cui la frammentazione delle funzioni, tipica del moderno, è sostituita dalla "sincronizzazione simultanea", da sistemi integrati di informazioni che ci consentono elaborazioni unificate.

A tal proposito, risulta interessante quanto sostiene Tomàs Maldonado¹¹⁰:

...in questo contesto i modelli di grafica computerizzata assumono un significato peculiare. Non si può negare che essi apportano qualcosa d'inedito nella storia della modellazione, qualcosa che li distingue da altri modelli precedenti. E cioè: la loro natura sincretica. Essi sono infatti il risultato di una convergenza di tre tecniche di modellazione che fino a ieri erano state utilizzate separatamente: la replicazione (o emulazione), la simulazione e la formalizzazione matematica...

¹⁰⁸ Claudio D'Amato Guerrieri, *Modelli per la progettazione CAD/CAM*, introduzione agli atti del convegno *Architettura e Stereotomia: Tradizione e Innovazione*, Bari 3 e 4 giugno 2002.

¹⁰⁹ Ibidem.

¹¹⁰ Tomàs Maldonado, *Reale e virtuale*, pp. 104-136, Feltrinelli Editore, Milano, 1998.

La natura sincretica dei processi informatici è data dal fenomeno per cui confluiscono in un'unica forma modellativa più forme analitico/conoscitive diverse tra loro.

...la computer graphic ha aperto una nuova fase nella storia del rapporto strumentale tra pensiero e percezione: per la prima volta, infatti, si sono stabilite le basi tecniche per consentire un rapporto operativo – e forse persino euristico – tra formalizzazione logica e modellazione visiva.

Il sincretismo della modellazione informatica contemporanea consente il governo unitario dell'atto ideativo-progettuale-esecutivo favorendo *la riduzione della distanza teorico-pratica fra progettista ed esecutore, fino a far nuovamente coincidere concettualmente le due figure*¹¹¹. Al pari dell'architetto della tradizione stereotomica, l'unità dei saperi teorico-applicati, è al centro dell'attenzione del progettista contemporaneo che attraverso l'elaborazione non contraddittoria del *modello infografico* crea la propria sintesi architettonica.

In ogni caso, la modellazione *infografica* tridimensionale, intesa in qualità di paradigma di riferimento rispondente alle condizioni storico/culturali del periodo in cui è definita, ha validità relativa e non assoluta. Se riferita all'“idea” può esprimerne la teoria o l'estetica; se riferita al “progetto” può restituirne sinteticamente la forma *numerica o geometrica*¹¹², la *venustas*, e la *firmitas*; se riferita alla costruzione può concretarsi in un *prototipo* o in un componente edilizio.

La modellazione geometrica tridimensionale assicura un altro assunto fondante dell'aggiornamento teorico della disciplina stereotomica, ovvero il principio dell'*esattezza progettuale e la precisione esecutiva*. Lo sviluppo degli algoritmi matematici applicati alle tecnologie di modellazione *infografica*, ha consentito la *descrizione-costruzione*, geometricamente

¹¹¹ D'Amato, cit. (cfr. nota 108).

¹¹² La *forma numerica* di un progetto non esprime la geometria ideale del modello stesso bensì la sua “deformazione” dovuta all'atto realizzativo; di contro, la *forma geometrica* esprime le leggi ideali di codifica del progetto. In seguito saranno chiarite le definizioni.

esatta, di qualsiasi superficie complessa. I limiti connessi all'elaborazione discreta di una forma (modellazione poligonale) sono stati rimossi definitivamente. La ricaduta immediata è la possibilità di progettare con esattezza teorica i "luoghi geometrici" e costruirli con altrettanto rigore. L'approccio progettuale si trasforma anche in relazione ai problemi connessi ai cambi di scale referenziali, che in ambito informatico riconquistano l'unità scalare dell'uno a uno riuscendo flessibilmente nella gestione del tutto e della parte. Quest'ultima non è mai scissa dell'organismo informatico e partecipa sincronicamente alla composizione del tutto. L'approccio univoco multiscalare *del tutto e della parte*, rappresenta un altro argomento chiave dell'aggiornamento odierno della speculazione stereotomica. Riuscendo agevolmente a creare relazioni biunivoche senza eccezioni nei processi di modellazione parametrica tridimensionale, la *parte* può derivare dal *tutto* o viceversa.

Al pari di un singolo concio e del sistema voltato di cui fa parte, il primo può essere generato susseguentemente alla conformazione spaziale dell'insieme da cui dipenderà in qualsiasi processo trasformativo, o viceversa generare un sistema voltato secondo il principio di inversione possibile, del tutto derivante dalla parte. La *parte* viene descritta non in sé, estrapolata da contesto di cui appartiene, ma dipende fortemente dal comportamento del *tutto* da cui non può essere scissa.

Nell'analisi degli elementi *invarianti* della speculazione stereotomica, la *costruzione a secco* rappresenta l'anello di congiunzione di tutti gli aspetti messi in luce sino ad ora. La *costruzione a secco* materializza la sequenza idea-progetto-costruzione, esige l'esattezza progettuale e la precisione esecutiva, presuppone la riflessione sulla *parte* connessa al *tutto* ed il suo reciproco. Quest'ultimo elemento di riflessione è oggi al centro dell'attenzione di studiosi e progettisti che intravedono con il passaggio dalla costruzione bagnata a

quella a secco, un cambio radicale del paradigma progettuale che ci riconduce alle origini concettuali della disciplina.

A tal proposito si riportano alcune osservazioni, estrapolate da un recente numero della rivista *Materia*¹¹³ dedicata interamente all'argomento, ritenute interessanti e concordi all'impostazioni della presente tesi.

Secondo Paolo Portoghesi¹¹⁴ *Costruire a secco: una esperienza che ci riconduce a un rapporto primordiale con la materia costruttiva, l'assemblaggio di elementi presi dal luogo in cui si costruisce; ma nello stesso tempo ci fa ricordare esempi di connessione perfetta di elementi siano esse pietre adagate in corsi paralleli o legni tenuti insieme da cavicchi o profilati metallici avvitati o imbullonati.*

Risulta evidente che il principio della *costruzione a secco* sia l'elemento invariante anche di tecniche costruttive non propriamente stereotomiche, dall'antica arte carpentiera lignea alle moderne evoluzioni della tecnologia delle costruzioni metalliche. Dipendendo sempre, dalle capacità di configurare spazi e conformare elementi strutturali che lavorano per forma.

Per Augusto Romano Burelli¹¹⁵ *Il principio del montaggio a secco cambia il progetto, sconvolge il cantiere, mette in ombra il cantiere tradizionale...Il componente è quindi la sineddoche del progetto, la parte che contiene il tutto...in quanto contiene in nuce la sua configurazione spaziale finale...* L'accento è posto sulla futura direzione verso cui fluisce il cantiere tradizionale, in cui il principio del montaggio a secco

¹¹³ Riportiamo a tal proposito che il numero di *Materia* è nato dal programma di ricerca nazionale *"Il principio del montaggio a secco e la precisione esecutiva nel progetto di architettura contemporanea"*, coordinato dal prof. Claudio D'Amato Guerrieri.

¹¹⁴ P.Portoghesi, editoriale, *Costruzioni a secco*, *Materia* n° 37, 2002

¹¹⁵ Augusto Romano Burelli, *Il montaggio a secco e la componentistica di precisione*, pp. 18-20, in *Costruzioni a secco*, *Materia* n° 37, 2002

per componenti investe tutte le fasi del processo edilizio: dalla programmazione, alla progettazione per finire all'“assemblaggio” dell'opera. Quindi assistiamo ad un allargamento del nostro elemento invariante alle altre scale di riflessione del processo edilizio, in cui l'effetto dell'*approccio organico multiscalar*e è ben evidenziato dal profondo valore del componente edilizio che partecipa sin dall'inizio alla *vita* dell'intero organismo architettonico. Ancora, *Il grande problema del montaggio a secco è quello della protes*i di aggancio, della loro capacità di regolazione del pezzo, della loro affidabilità e della loro durata. *Congiungere, appendere, separare, sono le nuove operazioni che il montaggio a secco prevede nella posa in opera delle strutture e delle pareti dell'edificio contemporaneo.* La riflessione si focalizza su di una particolare tecnologia costruttiva in cui, ammettendo la *scissione tra forma e struttura* si tenta la speculazione sul piano del linguaggio figurativo dell'architettura. *...Il principio del montaggio a secco nell'architettura contemporanea non può non avere una influenza sul linguaggio figurativo dell'architettura stessa.* Il nostro elemento invariante, come si può notare, è fonte di riflessioni che investono le attuali tendenze progettuali rappresentandone, a volte, la fonte di ispirazione architettonica.

Per Franco Laner¹¹⁶, il principio della costruzione a secco riporta la riflessione su tematiche più vicine all'originario senso della tradizione costruttiva. In cui il valore della massività e della gravità reintroducono nella riflessione contemporanea una qualità progettuale pronta ad essere *ritrascritta*. Sottolineando, *che dal punto di vista statico-concettuale – ma anche pratico – costruire a secco sia assolutamente imparagonabile al facile costruire con la malta, se non altro perché le costruzioni a secco "non dormono mai",*

¹¹⁶ Franco Laner, *Nessun dorma. Costruzioni di pietra a secco*, pp. 24-26, in *Costruzioni a secco*, Materia n° 37, 2002

nemmeno quando non sono sollecitate da forze esterne, perché condannate ad essere pervase da una costante ed intima tensione, che si acquieta solo nel contrasto col terreno su cui si appoggiano...Nella muratura a secco ... viene totalmente sfruttata la resistenza a compressione, propria degli elementi murari...Ogni pietra deve essere indispensabile all'energia vitale dell'insieme, in modo che nessun concio dorma!

Come abbiamo visto nel principio della *costruzione a secco* sono contenuti tutti i nodi teorici della problematica stereotomica, dalle antiche alle future evoluzioni tecnico-metodologiche riferite sia alle istanze estetiche che statiche della disciplina. Pur consapevoli che il principio del montaggio a secco è estendibile a diversi materiali, è nell'utilizzo della pietra che si attua il *mirabile equilibrio* costruttivo della stereotomia nell' *esprimere pienamente il valore creativo della struttura in pietra...attraverso la tecnica dei blocchi che vanno da parete a parete, il senso arcano dell'esattezza, della collimazione millesimale che fa dell'opera architettonica un testo integrale, un insieme di parti fatte l'una per l'altra, l'una nell'altra, come per un processo di crescita di cellule viventi*¹¹⁷.

In conclusione, la vasta riflessione sull'aggiornamento concettuale della disciplina stereotomica non può, a nostro avviso, prescindere da *caratteri invarianti*, tra cui la massività e la specializzazione dell'elemento strutturale¹¹⁸, l'esattezza configurativo-geometrica ed il principio della costruzione a secco, alla base del fondamento speculativo.

¹¹⁷ P.Portoghesi, *La pietra e il decoro*, pp. 8-9, in *Nuova architettura di pietra in Italia*, collana di architettura, Verona, Faenza Editrice, 2002

¹¹⁸ La doppia caratteristica dell'elemento strutturale, ossia la massività e la specializzazione, è finalizzata alla risoluzione organica delle complesse funzioni statico/impiantistiche cui l'edificio contemporaneo è chiamato a rispondere.

2.3.2. Aggiornamento delle Tecniche Stereotomiche

All'aggiornamento concettuale segue quello delle tecniche stereotomiche che oggi più che mai foriero d'innovazione.

Il passo sostanziale che si tenta di compiere è la totale informatizzazione della fase esecutiva di produzione del "pezzo/concio". L'argomentazione è ovviamente rivolta agli attuali sistemi integrati CAD/CAM che consentono al progettista contemporaneo di essere autore anche della fase esecutiva dell'opera. Tale impostazione fortifica il principio di circolarità e sincronicità della sequenza idea-progetto-costruzione, che risulta organicamente strutturato nei mezzi espressivi dell'architetto progettista.

Le regole che sottendono la costruzione del *modello stereotomico*, qui nelle tre dimensioni come in passato nelle due dimensioni, si costituiscono come le sole a detenere il primato del processo costruttivo la cui riuscita è imprescindibile dall'esattezza di queste. Quindi la regola geometrica si concreta in un modello geometrico coerente che rappresenta il mezzo più potente attraverso cui l'idea si trasforma in forma costruita. Quindi l'aggiornamento delle tecniche stereotomiche non possono non subire l'attuale fenomeno di smaterializzazione al fine di conquistare nuova e maggiore perfezione materica. Risulta importante investigare il ruolo del *modello* nella progettazione architettonica stereotomica nel passaggio da realtà materica a realtà virtuale e viceversa. Da *modello fisico* quale poteva essere in maniera allargata il risultato della regola del *trait géométrique*, a quello virtuale della modellazione tridimensionale informatica CAD, per poi rifluire nella materializzazione CAM di quest'ultimo.

Le considerazioni sull'influenza che l'approccio della cultura informatica sta avendo sulla progettazione architettonica possono essere tante: qui tentiamo di sintetizzarne alcune più

vicine alla nostra trattazione evidenziandone alcuni nodi critici.

La progettazione architettonica assistita ha rivoluzionato il tradizionale modo di concepire il manufatto architettonico in tutte le sue implicazioni formali/costruttive scegliendo quale luogo preferenziale d'azione la grafica computerizzata.

La possibilità di gestire facilmente le più complesse entità geometriche tridimensionali sembra aver spinto l'architettura alla deriva, verso un ambito scultoreo ancora poco controllabile dalla cultura architettonica.

Nel processo tradizionale di progettazione architettonica, il *modello* d'architettura, ligneo o lapideo o di altro materiale (plastica, gesso, ecc..), ha sempre rappresentato il più produttivo mezzo di controllo dello spazio architettonico, costituendosi quale momento primario di passaggio da concezione/progettazione a costruzione.

È in esso che il mondo delle idee si cala nella realtà, è il momento della prova in cui il probabile può inverarsi in realtà costruita.

Tutto ciò che può darsi "geometricamente" ad una certa riduzione di scala può, con buona possibilità (con precise regole!), darsi ad una scala più grande.

Da questo presupposto, non sempre vero¹¹⁹ (soprattutto in campo della scienza dei materiali), si potrebbe trarre che tutto ciò che risulta realizzabile in piccolo lo è tout court in grande, quindi un foglio di carta accartocciata potrebbe essere una architettura se visto alla scala di formica(!).

Sembra essere questa la tendenza di molta dell'architettura contemporanea.

Il passaggio dal modello materico a quello virtuale sembra aver rafforzato teoricamente e strumentalmente questa posizione, rendendo estremamente rapida la "manipolazione" geometrica di solidi e superfici in ambito di modellazione,

¹¹⁹ Si veda quanto dice Salvatore Di Pasquale a proposito della critica di Galileo sulla non attendibilità dei modelli in scala. S. Di Pasquale *L'arte del costruire. Tra conoscenza e scienza*, Marsilio, Venezia 1996.

rovesciando il senso del concepimento dello spazio architettonico non ricercato ma casualmente ottenuto.

Il passaggio dall'attitudine progettuale attraverso modelli materici, con tutte le limitazioni empiriche del caso, all'ausilio di modelli matematico/virtuali, segna una forte e paradossalmente vera presa di posizione: il costruibile è tanto più possibile quanto più è virtualmente rappresentabile.

L'essenza immateriale della progettazione virtuale si costituisce, con la sua forte componente razionale, quale sicuro mezzo di controllo del processo progettuale/costruttivo. È nella razionalità costitutiva della sua essenza, nella massima flessibilità del suo utilizzo, nell'eliminazione di handicap legati a complessità geometriche e riduzione obbligata a determinate scale metriche, nella modellazione che prescinde dall'utilizzo di materiali, da questo e molto altro che il modello virtuale marca il sorpasso sul modello fisico-materico.

Ma nel caso della progettazione architettonica in pietra, le sue rigide regole riducono drasticamente i gradi di libertà di questa attitudine progettuale per modelli virtuali, a causa della loro ontologica componente immateriale.

Proprio qui, il vecchio modello lapideo o ligneo rivendica la propria autorità in qualità di opera pre/determinata, pre/costruita, pre/verificata (fisicamente).

Le più grandi opere dell'architettura in pietra (volte, trompe, cupole, scale,...) sono figlie oltre che di un lavoro teorico anche e soprattutto di esperimenti realistici condotti su prototipi lapidei in scala.

Certo il modello virtuale può "strutturarsi" in maniera tale da racchiudere all'interno del proprio *DNA* algoritmico anche informazioni sui materiali della costruzione, sulla compatibilità statica, sul controllo dimensionale degli elementi e ..., ma il rischio è quello di un eccesso di complessità *informative* non facili da gestire contemporaneamente e, in definitiva, fonte di caotici approcci progettuali e cattivi risultati.

Sembra quindi opportuno riappropriarsi della matericità del modello in qualità di continua verifica dello studio virtuale; e risulta indispensabile la continua prototipazione materica dell'elemento indagato *infograficamente*, al fine di agevolare una più proficua dialettica reale/virtuale. Da qui numerose domande:

- Quale è il limite che il modello materico segna all'interno del processo progettuale?
- Quali sono le intuizioni progettuali che nascono dall'investigazione del modello *infografico*?
- Quanto può influire sulla prefigurazione mentale dello spazio architettonico la visualizzazione del modello?
- Quanto influisce negativamente sulla progettazione architettonica la perdita di controllo del modello a causa di eccessivi virtuosismi o relativa facilità di *manipolazione* dello spazio?
- In che modo il modello virtuale dinamico (immagini in continuo potenziale mutamento) rappresentare un proficuo ausilio ad implemento della immaginazione/prefigurazione dello spazio architettonico?
- Quali gli esempi architettonici del passato in cui è inscindibile il ruolo del modello ai fini della determinazione di spazi o elementi architettonici?
- È giusto ripensare il modello informatico coniugandolo alla costituzione materica (prototipi esatti realizzati con macchine a CNC)?
- Ridurre al minimo il dato empirico del modello materico attraverso l'utilizzo di controlli informatici e macchine a CNC, può rappresentare un vero ed innovativo recupero dell'attitudine tradizionale del processo progettuale?

Domande su cui la ricerca contemporanea si interroga quotidianamente evidenziando coralmemente l'importanza dei processi modellativi quali luoghi ideali di sperimentazione

scientifica, e non ultima di creatività progettuale. Come afferma Maldonado¹²⁰ *La modellazione è certamente una strategia creativa, ma anche conoscitiva. E il rapporto tra creatività e conoscenza, come si sa, è un tema tutt'altro che risolto.*

2.3.3. I materiali e tecniche della odierna costruzione stereotomica

Si vuole qui sottolineare, un aspetto che consente di collegare l'aggiornamento dei sistemi integrati CAD/CAM con la reale produzione di elementi architettonici, premettendo che la presente trattazione non ha alcuna velleità di addentrarsi in argomentazioni dell'ambito disciplinare della tecnologica dei materiali.

La stereotomia contemporanea si scontra, sin dall'immediato, con le diverse tipologie di materiali, naturali o artificiali, presenti sul mercato.

Da questo ne deriva immediatamente un diverso approccio al concetto di *taglio* alla base della stereotomia classica.

Se per questa, come abbiamo visto, l'etimo *taglio*, vuol dire principalmente asportazione di materiale, per le tecniche contemporanee, quest'ultimo può anche voler dire addizione di materiale. In entrambi i casi, il tema del *taglio*, in *sottrazione* o *addizione*, resta alla base della conoscenza disciplinare. Inoltre vedremo subito che, l'evoluzione del concetto di *taglio*, in *sottrazione* o *addizione* di materia, presuppone un ulteriore concetto di lavoro: in *positivo* o *negativo*.

Proviamo a schematizzare la possibilità offerta dalle contemporanee tecniche stereotomiche di taglio e commentiamo la presente tabella:

¹²⁰ Tomàs Maldonado, *op.*, *cit.*, p. 100

TECNICA DI TAGLIO Contemporanea	ASPORTAZIONE DI MATERIALE	LAVORAZIONE IN POSITIVO "oggetto"	MATERIALI NATURALI 1
		LAVORAZIONE IN NEGATIVO "calco"	MATERIALI ARTIFICIALI 2
	ADDIZIONE DI MATERIALE	LAVORAZIONE IN POSITIVO "oggetto"	MATERIALI ARTIFICIALI 3
		LAVORAZIONE IN NEGATIVO "calco"	MATERIALI ARTIFICIALI 4

La contemporanea tecnica di *taglio* CAD/CAM, finalizzata alla realizzazione di elementi architettonici, può essere suddivisa in due grandi categorie: per asportazione di materiale e per addizione di materiale. La prima può riguardare principalmente materiali naturali, di composizione compatta ed omogenea che vengono modellati, per il raggiungimento della forma finale, attraverso processi di fresatura o taglio con disco. La seconda, riguarda principalmente materiali artificiali che vengono modellati, per il raggiungimento della forma finale, con processi di solidificazione di materiale incoerente (si riferisce a processi di *prototipazione rapida*). Entrambe le modalità realizzative, continuando nell'analisi della tabella, prevedono una lavorazione *in positivo* ed una *in negativo*. Per lavorazione *in positivo* intendiamo la lavorazione che interviene direttamente sul manufatto, mentre per lavorazione *in negativo* intendiamo la lavorazione che interviene direttamente sul calco del manufatto. Fatta questa distinzione, si potrà ottenere un manufatto da un calco realizzato per asportazione di materiale ed un manufatto da un calco per addizione di materiale. Ciò che risulta evidente dalla schematizzazione, è che un manufatto realizzato in materiali naturali, quale è il caso della stereotomia tradizionale, non ricopre che ¼ delle attuali possibilità della stereotomia contemporanea che presuppone l'utilizzo di materiali artificiali.

La principale differenza connessa alle due tecniche di *taglio* (per asportazione o per addizione di materiale), che interessa

il nostro approccio operativo, è la specifica capacità di entrambe di realizzare un manufatto.

Sommariamente: la tecnica di *taglio* in positivo per asportazione di materiale può realizzare manufatti in materiali naturali "concavi", ossia che non presentano forti sottosquadri, o cicli di lavorazioni interne al volume dell'oggetto, che presentino almeno una superficie piana idonea al fissaggio sul piano di lavoro, ecc.; di contro, la tecnica di *taglio* per solidificazione di materiale sciolto può soddisfare qualsiasi tipo di realizzazione, a fronte dell'utilizzo di un materiale artificiale, esteticamente opinabile.

Ovviamente, a ritroso, la specifica tipologia di materiale scelto per la produzione di un qualsivoglia manufatto architettonico condiziona fortemente il processo modellativo alla base dei sistemi di produzione assistita. Ad esempio non si potrà modellare e realizzare, con tecniche di asportazione di materiale, un elemento architettonico che presenti forti *sottosquadri* o lavorazioni *interne al volume* se la scelta del materiale è stata la pietra naturale.

Riducendo il nostro ragionamento all'utilizzo della pietra, in qualità di materiale con specifiche qualità estetiche/prestazionali, bisogna fare i conti, oltre con l'ovvia pietra naturale, con una serie di prodotti artificiali presenti sul mercato che possono in alcuni casi soddisfare in maniera intelligente specifiche richieste di sostenibilità ambientale. Il riferimento è ovviamente rivolto alla *pietra ricomposta* e alla sua specifica tecnologia di lavorazione che consente, partendo dal disaggregato di qualunque pietra, di ricomporne i materiali, conservando l'aspetto e la consistenza delle rocce da cui, quei materiali, provengono. La miscela, definita in fase progettuale, può essere utilizzata da macchine a CNC per la Prototipazione rapida, oppure può essere colata a temperatura ambiente negli opportuni stampi stampi di progetto. In questa fase è possibile rinforzare l'oggetto con materiali plastici ed inserire elementi metallici in qualità di

armature preventivamente calcolate. In seguito il pezzo viene estratto dallo stampo e avviato al controllo di qualità.

Con la stessa logica della solidificazione di materiale disaggregato ma di componenti cementizie, opera la più antica tecnologia della *pietra artificiale*¹²¹.

Quest'ultima, è un materiale costituito da un impasto a base di legante, cemento o altro, sabbia e graniglia di pietra, trattati con acqua e poi colati negli stampi. In questa tecnologia possiamo ritrovare due concetti fondamentali : quello dell'artificio e quello dell'imitazione della pietra naturale¹²². La giusta predisposizione geometrica di calchi opportunamente progettati, potrebbe aprire la strada alla creazione di elementi architettonici stereotomici in *pietra artificiale*, soprattutto per la plastica secondaria, in cui il recupero delle qualità meccanico/estetiche proprie della disciplina si unirebbero all'economico utilizzo di un materiale aggregato.

2.3.4. Aggiornamento dei metodi di calcolo strutturale delle architetture stereotomiche

In virtù della natura *sincretica* della modellazione digitale, una *entità geometrica tridimensionale* elaborata in ambiente CAD può facilmente essere analizzata in un ambiente di calcolo strutturale, per mezzo di opportune esportazioni dei dati. Ciò permette, lo sottolineiamo ancora una volta, di poter unificare

¹²¹ La comparsa della pietra artificiale si colloca circa alla metà del XIX secolo, ed è strettamente collegata alla diffusione del cemento Portland. Il primo a parlare di *pierre reconstituée* a proposito di un materiale ottenuto da una miscela di pietra tenera frantumata e di calce idraulica, costipata in stampi, è il francese M. Bailly nel 1875 di fronte all'Associazione francese per lo Sviluppo delle Scienze; Come lo stucco (per lo più un impasto di calce, gesso, pigmenti e polvere di pietra calcarea) veniva utilizzato fin dai tempi dell'architettura romana, per imitare il marmo, così la "pietra artificiale" nasce sul finire del secolo scorso con l'intento di imitare la pietra naturale, ma a differenza dei materiali della tradizione imita non solo le caratteristiche esteriori del materiale naturale (grana, tessitura, colore) ma anche quelle intrinseche del comportamento.

¹²² Caterina Mele, *Stucchi e cementi decorativi nelle architetture torinesi tra Ottocento e Novecento*, in "Lo Stucco. Cultura, tecnologia, conoscenza", Atti del Convegno di Studi, Bressanone 10-13 Luglio 2001

i saperi abbattendo gli specialismi, concorrendo ad una visione organica delle complesse problematiche del progetto.

Allo stato attuale, entrando nel vivo della problematica, non esiste un appropriato e specifico metodo di calcolo per le strutture di natura stereotomica. I motivi di tale mancanza possono oscillare dai più ovvi: perché non si costruisce più con tecniche stereotomiche, perché non esiste un *mercato* che richiede architetture stereotomiche, perché non è provata la sicurezza statica di tali strutture e così via; ai più concettuali: perché l'assimilazione a *contium* strutturale di sistemi costituiti da elementi distinti e discreti complica esponenzialmente la problematica, perché gli attuali software di calcolo strutturale modellizzano difficilmente tali problematiche e via dicendo.

In realtà, ad una evoluzione informatica, della *computer graphic* delle geometrie non uniformi NURBS, dei processi modellativi parametrico-variazionali, non corrisponde ancora una adeguata evoluzione dell'analisi statico-meccanica di una struttura votata.

Ovviamente rivolgiamo agli specialisti gli opportuni chiarimenti.

L'originaria duplice natura geometrico-meccanica della disciplina stereotomica, sembra oggi fortemente sbilanciata a favore della produzione formale di complesse geometrie a cui non fa seguito una coerente ed organica risposta strutturale (scollamento forma/struttura). Potrebbe, questa, essere una chiave di lettura dell'inconsistente fenomeno architettonico contemporaneo?

Ma ritornando agli arcani motivi dello *stare in piedi delle strutture murarie*, sarà forse vero che il segreto risiede nel magico suono della lira di Orfeo?

Per Salvatore Di Pasquale¹²³:

...Le pietre disseminate nel campo sono le parti tra le quali non vi è alcuna relazione strutturale: raccoglierle e sistemarle in modo opportuno significa fare una costruzione la cui

¹²³ Salvatore Di Pasquale, *L'arte del costruire. Tra conoscenza e scienza*, Marsilio, Venezia 1996.

struttura è definita dal contatto. Orfeo suona la sua lira e le pietre obbediscono docilmente disponendosi in architetture; le armonie musicali e le strutture di mutua connessione rispondono a precisi rapporti matematici. In uno stadio più avanzato di cultura, ma anche di esigenze, come lo stesso Vitruvio ritiene, l'uomo non fatica molto a scoprire che la stabilità del manufatto può essere migliorata confezionando le pietre in forma prismatica e avendo cura di disporle in opera a giunti sfalsati.

I precisi rapporti matematici e le pietre in forma prismatica, possono rappresentare oggi un valido oggetto della speculazione strutturale, costituendo un operoso strumento nelle mani del progettista contemporaneo che opera in continuità col pensiero della tradizione?

Ancora:

...Non è tuttavia possibile parlare di materiali, di tecniche e di contatti fra gli elementi litici che costituiscono un muro, senza porsi i problemi che riguardano le sue funzioni nel costruito, e quindi il "saper fare" del muratore che l'ha fabbricato, e della scuola in cui egli aveva imparato l'arte. Tale storia sta rivelando, tra l'altro, come il sapere empirico tradizionale avesse già risolto praticamente certi problemi, e come invece non avesse capito la vera consistenza, o esistenza, di altri; come il "saper fare" sia in parte sopravvissuto sino ad oggi, intrecciato con il saper calcolare. Da ciò è nato un vivo interesse di alcuni studiosi delle strutture per il "costruito prescientifico", osservato dal punto di vista di chi conosce la meccanica delle strutture;

Certo il sostrato culturale tecnico-scientifico dello *strutturista* contemporaneo, risulta in qualche modo "corrotto", allorquando con la preparazione accademica si accinge ad analizzare una struttura muraria.

In poche parole è impreparato!

La potente avanzata dell'ultima generazione di software agli elementi finiti, consentono agevolmente di risolvere complessi sistemi strutturali a gabbia in cls armato o acciaio, piastre cementizie e quant'altro, ma le strutture costituite

dall'ossimoro di discreta/continuità lapidea restano di difficile modellazione interpretativa.

Gli *elementi finiti* sono un metodo di calcolo attraverso cui è possibile *discretizzare* delle strutture complesse per mezzo di un elevato numero di elementi semplici. Le possibilità di calcolo offerte dai programmi agli *elementi finiti* sono enormi e permettono di studiare situazioni, complesse con "semplicità". La modellazione solida parametrica associata all'analisi ad *elementi finiti* di componenti strutturali costituiscono ormai da tempo un valido aiuto per il progettista strutturista.

Purtroppo questa tipo di applicazione, nei confronti di complesse strutture stereotomiche, non rappresenta che una forte approssimazione del reale comportamento statico/meccanico dell'intero sistema.

Forse la sperimentazione fisica, operata su prototipi reali in scala, attraverso opportune e normate prove di resistenza, potrebbe rappresentare la giusta rotta, che dai cantieri medievali al più immediato futuro, condurrà alla legittima costruzione di nuove opere murarie.

2.4. Due approcci *speciali* alla speculazione stereotomica contemporanea: Bernard Cache e Preston Scott Cohen.

Nel panorama internazionale, sono molti i luoghi di ricerca in cui la speculazione architettonica relativa ai sistemi informatici è ormai matura. Di contro, risultano pochi i luoghi ove i risultati di tali ricerche precipitano nella costruzione edilizia. Nel concetto di *praxis* si è sbilanciati sul vorticoso *wire-frame* modellativo piuttosto che sulla concreta materializzazione formale, vero oggetto di confronto critico della produzione dell'architettura.

In questo contesto si analizzano due contributi, ritenuti interessanti al fine di una presunta completezza espositiva della presente trattazione. Riteniamo che la lettura analitica della produzione teorica di Bernard Cache e Preston Scott Cohen, apra le porte ad interessanti quanto proficue riflessioni sulla nostra ricerca.

2.4.1. Bernard Cache

Particolarmente interessante risultano le riflessioni teoriche, sulla stereotomia e più in generale sulla geometria nelle sue implicazioni scientifico-filosofiche-applicative, a cui giunge Bernard Cache a supporto speculativo della propria produzione artistica. Il suo lavoro di continua ricerca, per quanto distante negli esiti dai nostri modi di "figurare" l'architettura, risulta molto affine alla nostra speculazione architettonica tra cultura della modellazione informatica e produzione assistita con macchine a controllo numerico.

Bernard Cache¹²⁴, figura di spicco del panorama francese, è nato il 26 maggio 1958, ha studiato al Politecnico di Losanna,

¹²⁴ Come esperto di telecomunicazioni visive e televisione digitale Bernard Cache ha condotto studi strategici per compagnie come Philips, Canal Plus, France Telecom e France Television. Ha scritto articoli sull'economia e politica delle comunicazioni in quotidiani come Libération e Médiapouvoirs. Ha insegnato scienze sociali all'ESSEC ed economia dell'informazione all'IFP. In *théorie d'architecture*, ha scritto "Earth moves" (MIT 1995) e "Terre meuble" (HYX, 1997). Ha tenuto numerose conferenze a Rotterdam (1994), Oslo

ed ha conseguito il Diploma dell'Istituto di Filosofia, sotto la supervisione di Gilles Deleuze, MBA, (ESSEC). Come architetto ha fondato la Objectile company nel 1996, insieme a Patrick Beaucé e Jean-Louis Jammot, in collaborazione con la software-house francese MISSLER. Nel Dal settembre 1998, Bernard Cache è professore associato nella Faculty of Architecture, Landscape and Design (AL&D) dell'Università di Toronto. Attualmente riveste la carica di Direttore della Sezione Cibernetica dell'ESARQ (Barcelona) Escuela de Arquitectura - Universidad Internacional de Catalunya.

Tra le interessanti riflessioni sull'architettura, Bernard Cache¹²⁵ si interroga sul perché Gottfried Semper in "De Stijl"¹²⁶ abbia dedicato un numero esiguo di pagine alla Stereotomia¹²⁷, l'arte che con PHilibert Delorme incarna più di ogni altra il motivo architettonico del nodo e il concetto teorico di trasposizione da tessuto a pietra. Il cui esempio più esemplare, a detta di B.C. è rappresentato dalla meravigliosa pietra intrecciata del *rodsceen* (parapetto della scala a chiocciola) nella chiesa parigina di Saint-Etienne du Mont (Vol. II, Tavv. 305-309). *Come poteva uno studioso ben informato come Semper scrivere sulla stereotomia senza neppure menzionare Philibert Delorme o Desargues?* La motivazione addotta da Cache, attraverso una dimostrazione tanto interessante quanto azzardata, sta nel fatto che la lettura neoclassica di Semper, basata sulla forte impostazione euclidea di *pure ed ideali forme bianche*, reprimesse l'utilizzo della geometria proiettiva (non euclidea) poiché *avrebbe significato una ricostituzione della geometria, che doveva*

(1995), Amsterdam, Paris, Geelong, Melbourne, Adelaide, New-York, Yale, Los Angeles, Columbus (1997). Notizie estrapolate da ricerche su vari siti Internet.

¹²⁵ Bernard Cache, *Gottfried Semper: stereotomia, biologia, geometria*, pp.129-139, in *Architettura e cultura digitale*, a cura di Livio Sacchi e Maurizio Unali, Skira, 2003.

¹²⁶ Lo "Stile nelle arti tecniche o tettoniche o estetica pratica" fu pubblicato per la prima volta con pochissimi esemplari nel 1860, e una seconda con maggiore diffusione, nel 1879-1880. L'analisi tettonica di Semper conferisce alla tecnica un vero e proprio valore di principio, di origine.

¹²⁷ Ovviamente non è questione di quantità di pagine, ma di una limitata attenzione Numero di pagine dedicate a ogni arte tecnica: Tessile 550, Ceramica 200, Tettonica 135, Stereotomia 123

*ancora essere compiuta dagli stessi matematici*¹²⁸
(programma di Erlangen, 1872). In altre parole Semper, pur essendo consapevole della portata culturale della geometria proiettiva, non si sarebbe permesso, da neoclassico, di elaborare una teoria non-euclidea sull'architettura. Una teoria di natura *Proiettiva*, alla base della stereotomia, che non trovava antecedenti nella geometria Euclidea. Sullo stato di conoscenza "repressa" della geometria proiettiva da parte di Semper, B.C. avanza delle ipotesi dirette ed indirette.

Tra le ipotesi dirette c'è il dato che Semper studiò matematica con Carl Friedrich Gauss in persona, *l'uomo che per primo accettò positivamente le conseguenze della negazione dei cinque postulati euclidei, e così facendo, inaugurò quella che è purtroppo chiamata "geometria non euclidea"*. Alla formulazione di tale geometria contribuì notevolmente la geometria proiettiva, quella impostata da Desargues per intenderci, *la cui sorte era di essere stata sviluppata da brillanti matematici e utilizzata da brillanti persone, tecnicamente valide, ed essere semplicemente ignorata in altri ambiti culturali*. Ma sulla diretta conoscenza della geometria proiettiva da parte di Gauss, Cache nutre alcune incertezze, in quanto si sa che *Gauss tenne segreta la*

¹²⁸ Ricordiamo che la nascita delle geometrie non-euclidee si deve per opera dei seguenti matematici a cui sentiamo di aggiungere il lavoro del 1680 del matematico bitontino Vitale Giordano che per primo eliminò il postulato delle rette parallele dandolo come teorema, nel suo *Euclide*. A seguire:

- 1733 Girolamo Saccheri nel suo *Euclides ab omni naevo vindicatus* provò a negare il 5° postulato e dedusse poi tutte le conseguenze logiche da questa negazione, cercando la contraddizione (se cioè dedurremo il teorema T e il teorema non-T) che dimostrasse (è sbagliato rifiutare il 5° p.) così per assurdo il famoso postulato. Pur errando nello sviluppo di tale dimostrazione si costruì la prima *geometria non-euclidea*
- Karl Friedrich Gauss (1777-1855) vide con tutta chiarezza la non dimostrabilità del 5° postulato e la possibilità di costruire sistemi geometrici diversi da quello euclideo. Gauss non pubblicò queste sue ricerche per paura degli "strilli dei beoti"
- La gloria della fondazione della geometria *non-euclidea* spetta all'ungherese Janos Bolyai (1802-1860) e al russo Nicolai Ivanovic Lobacevskij (1793-1856), i quali, verso il 1826, portano a compimento, indipendentemente l'uno dall'altro, la costruzione di una geometria (geometria iperbolica) dove il postulato della parallela non vale più.
- Pochi anni dopo la nascita della geometria iperbolica, Bernhard Riemann (1826-1866) costruiva un sistema geometrico (geometria ellittica) in cui all'assioma della parallela veniva sostituito l'assioma di Riemann stando al quale "due rette qualsiasi di un piano hanno sempre almeno un punto in comune". Ciò significa che non esistono rette parallele!

maggior parte del suo lavoro finchè fu sicuro di tutte le conseguenze, fino al punto che quasi mai rese pubblico il modo in cui procedeva scoprire i suoi teoremi. Cache arriva addirittura a sostenere che, al contrario, Semper abbia ereditato da Gauss questo approccio classico alla geometria euclidea, perché secondo il maestro era stato giudicato il primo matematico moderno e l'ultimo dei classici: i suoi metodi erano moderni, mentre la sua scelta di problemi era classica. Quindi l'ipotesi azzardata risiede nel fatto che Semper in realtà travisando i giudizi che erano espressi verso Gauss e non comprendendo la problematica, si sia lasciato pervadere dal senso classico della ricerca geometrica stereotomica approssimando quest'ultima agli studi sui solidi platonici. Afferma Cache che la sua (di Semper) concezione della stereotomia è interamente basata sulla trasposizione della tettonica in pietra, e su come ciò rimanga ancorato alla lettura neoclassica di Euclide...Se Semper avesse letto Desargues avrebbe scoperto una lingua geometrica vicina al linguaggio architettonico di Philibert Delorme.

Sulle ipotesi indirette, Cache ricostruisce le trame concettuali che legano Semper alla geometria proiettiva attraverso la biologia di Cuvier la cui statua assieme a quella di Alexander von Humboldt sono collocate da Semper in cima al Museo di Storia Naturale. Nell'ipotesi di Cache, Semper si tradisce, nella sua teoria geometrica euclidea, nel momento in cui dà rilevanza a Cuvier discepolo di Geoffroy Saint-Hilaire che teorizzano sulla biologia attraverso i mezzi della geometria proiettiva. La dimostrazione dell'utilizzo dei concetti proiettivi nella speculazione sulle scienze biologiche, Cache la sviluppa per mezzo di *equivalenti concettuali e terminologici*, come "inversione", "ombelico", "omologo", "analogo", "organizzazione", ecc. Quindi inconsciamente Semper "sponsorizza" la geometria proiettiva pur reprimendola in quanto non euclidea, "emarginandola" con l'esigua trattazione nel suo "De Stijl".

Le critiche sottese da Cache nei confronti di Semper, che ha dedicato poco spazio alle architetture francesi di Philibert Delorme, che ha compreso poco delle speculazioni del maestro Gauss, che pur non ammettendolo ha usato nelle sue teorie forme speculative proprie della geometria proiettiva, sono focalizzate anche sul fatto che all'interno dei modelli della geometria euclidea è possibile trovare modelli non euclidei (proiettivi) attraverso il teorema di Menelao. *Questo geometra del primo secolo iniziatore della geometria sferica, che fornirà i primi modelli euclidei di geometria non euclidea, fondò le prime proprietà proiettive sulla base del teorema di Talete.* Quindi attraverso una lettura "classica" della geometria è comunque possibile arrivare teoricamente ad accettare senza "repressioni" la geometria proiettiva e quindi la stereotomia.

Queste conclusioni informano pienamente l'attività teorico artistica di Bernard Cache che si concreta nel progetto *Objectile*. Esso è una mescolanza di saperi ingegneristici, matematici, tecnologici e non ultimi filosofici, finalizzata al lavoro del disegno industriale e la produzione di forme curve e variabili di ogni proporzione. La produzione copre principalmente ambiti che dalla scultura sconfinano alla componentistica edilizia architettonica. *Objectile* ha messo a punto un originale modo di produzione, usando *objectile software* sulla base dell'implementazione del già esistente software della Missler Topcad-Topsolid. Quest'ultimo rappresenta la soluzione Cad/Cam finalizzato all'elaborazione degli algoritmi delle complesse geometrie progettate e la produzione attraverso macchine a controllo numerico. Lo slogan che sintetizza la logica progettuale del programma *Objectile* è la seguente: *"le forme non sono disegnate ma calcolate. Perché il calcolo permette di concepire le superfici a curvatura complessa ove le inflessioni non sono gestibili attraverso la modellazione informatica tradizionale. Ogni forma può dar luogo a variazioni illimitate che si presentano sotto la forma di video-interattività".*

Gli esiti produttivo-formali di *Objectile* ricoprono la scala dell'oggettistica, in cui la progettazione investiga ed esalta le infinite possibilità formali della geometria euclidea per mezzo dei sistemi CAD/CAM. Tale produzione incarna, per certi aspetti, il principio del rivestimento e il mito dell'origine tessile della parete teorizzati da Gottfried Semper rappresentando l'orizzonte ideale, più o meno esplicito, delle complesse operazioni digitali che *virtualizzano* intrecci e qualità tattili delle superfici. Cache, nelle sue argomentazioni teoriche¹²⁹, tiene a sottolineare che la cultura contemporanea in materia di produzione digitale commetta gravi errori allorquando accomuna le complesse superfici nate dall'elaborazione CAD alla geometria non-euclidea. Un modello non-euclideo, che può essere *raffigurato* attraverso modelli euclidei in luogo della specifica "curvatura", non può essere paragonato alla produzione di una forma complessa! Sono problematiche differenti¹³⁰!

Sappiamo benissimo che attraverso la geometria euclidea possiamo realizzare e costruire architetture della notevole complessità volumetrica, che rispetto alla speculazione non-euclidea hanno poco da spartire. *La geometria euclidea è di più che sufficiente approssimazione per lo spazio architettonico. Certo, la nostra esperienza ci insegna che in architettura le superfici a curvatura libera richiedono la*

¹²⁹ Bernard Cache, in *Difesa di Euclide*, www.objectile.com, 1998.

¹³⁰ Interpretando la forma dell'universo, la fisica ha richiesto una geometria nuova, che differisce dalla geometria di Euclide, che visse intorno al 300 a. C. Già a quei tempi, comunque, cominciava a essere chiaro che anche altri tipi di geometria avrebbero potuto essere importanti per comprendere il mondo intorno a noi – gli antichi greci si erano resi conto che la Terra è di forma (grossomodo) sferica. Questa differisce per molti versi dalla geometria euclidea. La differenza più impressionante è la somma degli angoli di un triangolo. Nella geometria euclidea, è sempre pari a 180°, in quella sferica, no. Inoltre, la geometria sferica obbedisce a tutti i postulati di Euclide tranne al quinto postulato delle parallele. Dai tentativi di trovare una dimostrazione del postulato delle parallele (indimostrabile) nacque un'alternativa alla geometria euclidea. Henri Poincaré ideò un nuovo modo per visualizzare questa nuova geometria detta geometria iperbolica. La geometria iperbolica si può anche interpretare come la geometria delle geodetiche su una superficie a curvatura negativa costante. La geometria sferica è la geometria delle geodetiche su una superficie a curvatura positiva costante e la geometria euclidea è la geometria delle geodetiche su una superficie a curvatura nulla, ovvero il piano. Il concetto unificante, quindi, è la curvatura. La visualizzazione di tali "curvature" connesse alle diverse geometrie, resta comunque una formalizzazione euclidea!

massima accuratezza, ma siamo ancora molto lontani dal superare i limiti dati dalla descrizione di Euclide. È una questione di tolleranze accettabilissime alla scala dell'architettura! E, ovviamente, indifferentemente dal modo in cui una struttura topologica si concretizza in una forma geometrica, si entra in una geometria euclidea; questo significa che la progettazione di una geometria complessa è essenzialmente euclidea. Non si deve pensare alla geometria euclidea come a dei cubi in opposizione ad un libero intreccio topologico. Ecco il perché delle perplessità che nascono quando sentiamo parlare di interfacce non-euclidee nello spazio digitale. Ma lo spazio euclideo non ha niente a che fare con questi tradizionali archetipi di spazio. Crediamo, e troviamo conferma sia nella nostra quotidiana esperienza della progettazione con il CAD sia nella costruzione, che non potremmo inventare nessun nuovo spazio architettonico senza calarci dentro una geometria euclidea. Certo, possiamo immaginare topologie multidimensionali che superino la capacità dello spazio tridimensionale euclideo. Ma la multidimensionalità non è un privilegio esclusivo della topologia; esistono anche gli iperspazi euclidei, così come gli iperspazi proiettivi. Per quanto riguarda la pratica architettonica, crediamo di dover inventare il modo in cui si possa usare, tradurre, o immergerci in spazi multidimensionali di ogni genere all'interno di nuove forme euclidee tridimensionali. Per fare un esempio, vi dirò che Objectile utilizza quotidianamente funzioni matematiche con un elevato numero di parametri per poter progettare superfici tridimensionali. Lavoriamo all'interno di spazi parametrici multidimensionali, anche se il prodotto è poi un semplice 3D euclideo. Direi che la parte fondamentale del nostro lavoro non è creare 'spazi virtuali multidimensionali topologici non-euclidei', ma di progettare interfacce tra iperspazi parametrici e forme euclidee tridimensionali. Ciononostante, possiamo sospettare che quando una proposizione così errata come quella dello spazio non-euclideo si diffonde così tanto, essa acquista il valore di un sintomo. E la verità di questo sintomo

sembra suggerire che abbiamo perso la volontà o, al limite, la forza e la capacità di stabilire distanze...Pertanto, da qualsiasi angolazione si guardino, dopo più di 2000 anni d'attività, i tredici libri di Euclide appaiono ancora il miglior strumento teorico e pratico a disposizione per controllare forme nello spazio. Siamo perfettamente d'accordo con questa tesi.

Cache, inoltre, esprime la propria critica verso l'accademismo didattico europeo, che mostra forti resistenze all'apertura teorica dei processi digitali di produzione: *Come mai i lavoratori intellettuali che amavano concentrarsi sui famosi "modi di produzione" rifiutano di vedere come l'industria di domani sarà presto tutta digitale? Non è tanto un problema economico ma piuttosto culturale. A causa di questa frattura tra cultura architettonica e modo di produzione digitale, il campo è lasciato libero ad una nuova avanguardia puramente formale che trova le sue referenze più nella biologia cellulare che nella tradizione della nostra disciplina.*

Crediamo che lo sviluppo e l'utilizzo delle tecniche informatiche nella progettazione architettonica, non possano e non debbano prescindere dallo statuto ontologico della disciplina, che se può aprirsi a forme spinte di sperimentazione tecnologica le debba fortemente indirizzare ai valori immutabili della costruzione edilizia.

2.4.2. Preston Scott Cohen

La seconda figura interessante dal punto di vista della speculazione stereotomica contemporanea in ambito progettuale è certamente Preston Scott Cohen, la cui passione per la geometria, a detta di Rafael Moneo, è alla base della strutturazione di una nuova teoria a supporto della progettazione architettonica. P.S.C.¹³¹ è nato nel 1961, è vincitore di numerose competizioni tra cui Progressive Architecture Awards nel 1998 e 2000, è stato vincitore inoltre di Architectural League of New York's Young Architects Competition nel 1992. Attualmente è Professore Associato e Program Director Department of Architecture ad Harvard.

Il nostro interesse è, ancora una volta, finalizzato ai processi metodologici progettuali basati sulla speculazione geometrica dell'architettura, piuttosto che agli esiti formali cui Cohen perviene nelle sintesi progettuali.

Preston Scott Cohen, nell'ambito della sua produzione artistica, crea un ponte tra l'utilizzo delle più potenti tecnologie di modellazione digitale ed il fascino per la geometria descrittiva del XVII° secolo. Utilizzando i processi di distorsione di forme comuni, per mezzo di proiezioni oblique ed altre tecniche proiettive, arriva alla definizione di una *ratio* procedurale finalizzata alla creazione di complesse forme geometriche dal sapore "plasticamente decostruito".

*Contested Symmetries and Other Predicaments in Architecture*¹³², testo edito nel 2001, rappresenta il precipitato teorico della sua produzione intellettuale. In esso si teorizza la nozione di Permutazione Stereotomica, elaborata da 1993-98, alla base dei processi maieutici della sua architettura, di cui se ne riporta la traduzione integrale¹³³ con il nostro commento.

¹³¹ <http://www.gsd.harvard.edu/people/faculty/cohen/pub.html>

¹³² Preston Scott Cohen, *Contested Symmetries and Other Predicaments in Architecture*, Princeton Architectural Press, 2001

¹³³ Preston Scott Cohen, *op., cit.*, pp. 96-100

Nel suo padiglione a Barcellona del 1929, Ludwig Mies van der Rohe, ha ruotato l'asse verticale tradizionale dell'architettura della simmetria bilaterale nell'orizzonte della visione.

La simmetria, non più legata all'ideale del corpo umano, ha cominciato invece a codificare il fenomeno della riflessione. Ma c'è una notevole differenza tra le riflessioni di Mies e quelle riscontrate sull'acqua lungo l'orizzonte. Importando uguali dimensioni, angoli e proporzioni a cose sopra e sotto un'asse orizzontale, la simmetria di Mies ha implicato che la riflessione non era suscettibile alle contingenze della percezione. La riflessione è una configurazione improbabile in architettura, soprattutto quando è indipendente dall'orizzonte. Sebbene la simmetria dualistica (come nella riflessione, senza una figura centrale) permea l'architettura in tutte le sue scale le sue proprietà di moltiplicazione e inversione sono invarianti, essa perde la caratteristica di distorsione dell'esperienza di riflessione.

Nelle Permutazioni Stereotomiche, alle disuguaglianze della simmetria riflessiva viene data una forma. La simmetria con ineguaglianza si può trovare nella congiunzione di due distinti, sebbene correlate, tecniche di proiezione: stereotomia e prospettiva da un punto di distanza. La stereotomia, un metodo ortografico di proiezione usato per dirigere il taglio della pietra, implica convergenza, una proprietà che condivide con la prospettiva e la sciografia (proiezione d'ombra). La somiglianza tra metodi permette loro di essere combinate. Perciò è possibile per una prospettiva o un'ombra disegnata su una superficie piana essere gonfiata in un volume pieno anche se è stato tagliato dalla pietra.

L'apparato prospettico Tayloriano a due punti¹³⁴ non solo produce forme gemelle, riflesse, non identiche, ma crea anche

¹³⁴ Si riporta a supporto di una completa comprensione del testo la traduzione integrale di altri paragrafi presenti nello stesso libro, pp. 54-55, dal titolo Proiezioni Inverse: Apparato Prospettico Tayloriano

Proiezioni inverse

Il processo della simmetria distorta per appiattare, come nel caso del pesce piatto, potrebbe essere più idoneamente paragonato ad un manufatto ausiliario alla forma architettonica: l'apparato prospettico tridimensionale di Brook Taylor, generalmente descritto in assiomi e dimostrato con diagrammi

proiezioni sciografiche che collegano serialmente oggetti alle loro ombre, sebbene nei casi di complanarità.

L'implicazione è duplice: da una parte, possiamo immaginare la deformazione della simmetria e della serialità come la trasformazione elastica delle proporzioni di una parte di un doppio oggetto relativa all'altra. Dall'altra parte essa suggerisce che la deformazione è un effetto dell'anamorfosi. In altre parole, sembrerebbe che la distorsione è in realtà una visione -sebbene distorta- di un edificio simmetrico piuttosto

bidimensionali e illustrazioni pittoriche, assonometriche nella sua Prospettiva Lineare del 1715 e I nuovi principi della Prospettiva Lineare del 1719.

Diversamente dalle ville e dalla sacrestia, dove l'osservanza di principi di armonia e decoro porta alla distorsione, gli apparati di Taylor sponsorizzano distorsioni che risultano da una causa ambigua: il bisogno di tradurre tre dimensioni in due allo scopo di creare una verosimiglianza di realtà visuale su una superficie disegnata. Questa procedura non è né concepita né risolta empiricamente. Piuttosto è legata allo sviluppo della geometria descrittiva. Basata in parte sulla geometria proiettiva, la geometria descrittiva fu codificata da Gaspard Monge alla fine del 18° secolo. Essa fornisce un mezzo bidimensionale per rappresentare elementi tridimensionali e si può usare per dedurre non solo la prospettiva ma anche proprietà metriche. Secondo Monge, gli elementi tridimensionali vengono trasferiti sui piani orizzontali e verticali della proiezione. L'intersezione di un oggetto (una linea o un piano) con un piano della proiezione è chiamata traccia. I piani della proiezione vengono poi fatti cadere a formare una singola superficie bidimensionale.

Nel metodo di Taylor, la procedura che fa cadere gli oggetti tridimensionali e le proiezioni su superfici piane bidimensionali crea casualmente un tipo di simmetria distorta. Il processo per il quale le operazioni tridimensionali di proiezione mostrata in due dimensioni, richiede di capovolgere l'oggetto ruotandolo a seconda della sua proiezione prospettica. Quando proiettata bidimensionalmente, questo processo lega oggetti e prospettive di oggetti lungo una "linea di terra" - una linea di intersezione tra il piano di pittura (quadro) ed un piano di riferimento parallelo all'orizzonte (geometrico). Legato e capovolto lungo questo asse condiviso, è possibile interpretare le due proiezioni dell'oggetto - una ortografica e l'altra prospettica - come versioni scambievolmente distorte e inverse dello stesso oggetto primario tridimensionale. Nel XVIII sec la proiezione bidimensionale della prospettiva tayloriana nascondeva la procedura inversa su cui si basava. La simmetria completa degli oggetti (ad es. degli edifici) che venivano proiettati facevano sembrare il processo inverso in consequenziale. La simmetria architettonica effettivamente eclissava la distorsione prospettica della simmetria. Nei casi qui presentati, tuttavia, l'uso di un oggetto asimmetrico, accoppiato con il modello computerizzato tridimensionale degli apparati di Taylor, rivela un metodo sinora non riconosciuto con il quale la simmetria è distorta regolarmente.

Apparato Tayloriano dei due punti

Un oggetto tridimensionale ed un occhio posizionato in E nello spazio serve come fondazione di un apparato capace di produrre una prospettiva lineare a due punti. Il piano di orizzonte (anche chiamato il piano evanescente) è posizionato all'altezza dell'occhio. Il quadro è un piano perpendicolare (verticale) invece che in posizione arbitraria. In questo caso è tra l'occhio e l'oggetto. La bordo (proiezione) frontale dell'oggetto, giace sul quadro. Un piano di riferimento frontale, o "geometrico" taglia attraverso l'oggetto ad una altezza arbitraria restituendo il taglio piano. Per definizione, il piano geometrico ed il piano orizzontale sono paralleli, entrambi perpendicolari al piano quadro.

che di una visione perpendicolare (frontale) di un edificio distorto.

L'anamorfosi è un prospettiva in cui il raggio centrale è acutamente obliquo piuttosto che perpendicolare al piano del disegno. La visione frontale presenta, così, distorsioni solitamente percepite solo nei margini di prospettive convenzionali. L'anamorfosi sovrappone obliquità su frontalità. Nella pittura, l'anamorfosi richiede che lo spettatore si trasferisca in una posizione particolarmente non frontale allo scopo di ottenere una visione non distorta di una figura. Muovendosi da una visione frontale ad un punto specifico di marginale vantaggio, lo spettatore testimonia una trasformazione delle figure rappresentate nel dipinto. In questo senso, l'anamorfosi si comporta come se fosse una tecnica di architettura: essa associa spazio tridimensionale e coreografia momentaneamente il suo spazio abitativo.

Nelle "Permutazioni Stereotomiche" la percezione causa distorsione. Così simmetria assoluta o serialità diventano sistemi per ottenere visioni distorte. Come nella pittura anamorfica, attenuazione e compressione accelerano o rallentano l'effetto di diminuzione e ingrandimento come se un volume non fosse stato ancora visto da una posizione molto particolare da cui potrebbe ottenre simmetria. In questi progetti, tuttavia, lo strumento Tayloriano e la sua combinazione con la stereotomia non offre un punto da cui la distorsione potrebbe essere "corretta". In quel senso, esse non presentano casi di una architettura che imita la pittura anamorfica – ad esempio questa architettura non imita un genere di pittura che probabilmente imita l'architettura. L'anticipazione di simmetria e serialità si incontra con la realizzazione che l'anamorfosi apparente è disfunzionale , e perciò rimane un'attesa irrealizzata. Alla fine l'anamorfosi stessa diventa un riferimento irrealizzato.

Con i suoi intervalli regolari, la griglia (reticolato) ha fornito il legame più leggibile tra visione prospettica e il dominio costruito dell'architettura. Mies cambia quella coalizione usando l'orizzonte di una riflessione idealizzata come termine

di connessione. Questi progetti propongono la stereotomia come un nuovo interlocutore tra prospettiva e spazio architettonico tridimensionale, ortografico. Allo stesso tempo, simmetria e serialità sembrano essere distorte dall'anamorfosi e dalle vicissitudini della riflessione.

La capacità generativa di forme architettoniche per mezzo di complesse operazioni proiettive supportate dai processi infografici, può, a nostro avviso, sembrare una ostinata pretesa di scientificità di un lavoro e un compiacimento estetico che trova le sue ragioni altrove. Le motivazioni stereotomiche, proiettive ed anaformotiche, sembrano perdere il proprio scopo originario della costruzione dell'architettura e della sua comunicazione visiva, esplicitando unicamente il simulacro "tecnico-proiettivo" coralmemente amplificato.

È d'obbligo, in conclusione, una domanda: in che modo possono le tecniche geometriche proiettive, descrittive, e stereotomiche, in luogo della loro chiarezza logica, ricompattarsi per rifluire con estrema chiarezza nella progettazione architettonica contemporanea?

Nel prossimo capitolo ripartiremo dalle origini della codifica della disciplina stereotomica, ad opera di Philibert de l'Orme, non per eludere la domanda precedentemente posta, ma al contrario per coglierne una (se non la prima) coerente risposta formulata mezzo millennio fa.

3. Philibert de l'Orme e la codifica rinascimentale dell'*art du trait géométrique*.

Definii il trait ed inventai il metodo nell'anno 1536, per il mezzo e con l'aiuto della Geometria e grande lavoro d'intelletto; del quale lavoro non mi lamento ma piuttosto lodo grandemente Dio, visto che da un solo trait, e con un solo esempio di trompe, si possono fare tutte.

Philibert de l'Orme¹³⁵

3.1. La concezione geometrica dell'architettura.

Jean-Marie Pérouse de Montclos¹³⁶, nei suoi studi sul rinascimento francese, si chiede quali possano essere state le conoscenze scientifiche e geometriche dei maestri massoni che precedettero Delorme nella codifica della stereotomia, intesa come *art du trait géométrique*¹³⁷.

Delorme stesso dichiara che la sua geometria deriva dalla geometria euclidea:

...studiata..., inaugurata dottamente interpretata e documentata, illustrata e messa in luce dal signor Francois de Candale, e pubblicamente letta e esposta dai professori del re in questa università di Parigi, i signori De la Ramée, Charpentier e Forcandel, in lingua Francese¹³⁸.

Joseph Rykwert, richiamato da Andrea Giordano¹³⁹, ritiene che esistesse una tradizione orale, precedente alla trattatistica architettonica che si richiama a Euclide, e non a

¹³⁵ P. de l'Orme, *op. cit.*, L. IV, cap. II, f. 91 r.

¹³⁶ Jean-Marie Pérouse de Montclos, *op. cit.*, p. 184

¹³⁷ *Trait*: Riguardo la *coupe des pierres* in generale tutti i disegni che servono per definire una volta, siano essi in pianta, prospetto sezione o sviluppo. Questo termine ha un significato più ampio di *épure*, dato che si intende il disegno sia come in scala naturale (1:1) sia con riduzioni, mentre per l'*épure* si intende solo il disegno in scala naturale. Amédée-François Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres*,.. Ed. C.A. Jombert, Paris, 1754. Primo tomo.

¹³⁸ Delorme, *op. cit.*, L. III, cap. I, fol. 116.

¹³⁹ Andrea Giordano, *op. cit.* (cfr. bibliografia ragionata), p. 86. J. Rykwert, *On the oral transmission of Architectural theory*, in "AA Files", n° 6, Primavera, 1984, pp.15-27.

Vitruvio. Questo, in parte, potrebbe spiegare l'interesse di Delorme al voler "normare metodicamente" secondo la logica euclidea, *l'art du trait* della cultura massonica medievale e di "congiungerla" alla speculazione di Vitruvio.

Convinto che la cognizione del saper-fare dei costruttori del Medioevo sia la sola possibilità, per l'Architetto rinascimentale, Delorme si impegna nel suo trattato, a *conjoindre la pratique des traicts avec la théorique d'Euclide* (ad unificare la pratica del tracciato geometrico con la teoria di Euclide) (fol. 62), impegnandosi personalmente a *revoir Euclide* (rivedere Euclide).

Il "metodo" risulta, in effetti, la più grande preoccupazione di Delorme, quando promette d'*accompagner* Vitruvio a Euclide, *le reduisant à une certaine méthode* (ridurlo ad un metodo sicuro), o quando invita i dotti a *vouloir reduire Vitruve en bon ordre & methode* (voler sintetizzare Vitruvio in maniera metodica e ordinata) (fol. 62).

Anthony Blunt¹⁴⁰ riporta:

Dalle allusioni contenute nel testo appare evidente che Philibert aveva intenzione di scrivere altri libri su vari argomenti connessi alla sua pratica artistica: troviamo infatti un riferimento a un libro dedicato a modelli di porte e l'annuncio di un'opera dedicata alla prospettiva. Altrove Philibert lamenta l'oscurità del testo di Vitruvio, esprimendo la speranza di poter pubblicare un'edizione commentata dell'antico trattato. Ma i riferimenti più frequenti sono quelli al secondo tomo dell'Architecture, che avrebbe dovuto comporsi di due parti: la prima destinata ad illustrare i principali edifici costruiti da de l'Orme, la seconda dedicata all'esposizione della sua teoria sulla divina proporzione¹⁴¹...

Le ambizioni speculative di Delorme sono tali da poter immaginare di dar seguito alle sue opere con altri e più

¹⁴⁰ Blunt, Anthony, *Philibert Delorme*, p. 136, Electa, Milano, 1997 (London 1958, trad. francese, Paris 1963).

¹⁴¹ De l'Orme fonda la propria dottrina sulla deduzione delle leggi proporzionali dagli edifici ispirati da Dio agli Ebrei, descritti nell'Antico Testamento: l'arca di Noè, l'arca dell'Alleanza, il Tempio e la casa di Salomone. Blunt, Anthony, *op. cit.*, p. 137.

radicali studi, dalla geometria e la prospettiva alla teoria sulle proporzioni.

La dimostrazione analitica, della derivazione del metodo del *trait géométrique* dalla geometria di Euclide, o di come attraverso Delorme le tecniche costruttive abbiano raggiunto una metodologia "euclidea", richiede sicuramente una trattazione, forse autonoma, con molto più spazio della presente che si limita, entro gli argini posti, a enucleare quelli che si ritengono i più importanti nodi teorici.

A tal fine è interessante riportare quanto Robin Evans¹⁴² ipotizza:

...certamente nel lavoro di Delorme coesistono due geometrie che gareggiano l'una con l'altra, ma io le considererei come Platonica e proiettiva, più che come euclidea e vitruviana.., inoltre, ...nei tredici libri degli Elementi infatti non c'è riferimento alcuno alle proiezioni, laddove le proiezioni sono fondamentali per i traits.

La nostra ipotesi, non tende a cercare una diretta connessione geometrica tra Euclide e Delorme, quanto piuttosto nel sottolineare l'interesse che quest'ultimo può aver avuto nei riguardi dell'Opera di Euclide, ritenendola un altissimo compendio al rigore metodologico.

Circa la nascita e l'evoluzione dell'arte dei *trait géométrique*, riteniamo che sia una questione ancora aperta, e come abbiamo precedentemente detto, che essa possa essere immaginata come un lento risultato teso a riunire la pratica di cantiere con gli sviluppi delle tecniche proiettive proprie della codifica della prospettiva.

Andrea Giordano ritiene che il *trait* sia certamente ispirato da Euclide e che la geometria proiettiva si sviluppi sotto gli stimoli del *trait*, il quale non è riconducibile all'una né all'altra situandosi in una posizione intermedia.

Per noi, Delorme ed il suo brillante spirito cognitivo, erano concettualmente legati alla nascente speculazione

¹⁴² Evans, Robin, *The Projective Cast*, p. 200, MIT Press, Cambridge Mass. 1995.

rinascimentale su Euclide e sulla logica assiomatica alla base della strutturazione del sapere geometrico.

La logica *euclidea* ha inizio con la definizione intuitiva di concetti molto semplici e gradualmente costituisce un vasto corpo di risultati, organizzati in modo tale che ciascuno dipenda dai precedenti. Ne discende una costruzione forte e rigorosa che rende tutte le operazioni percepibili, comprensibili ed intelleggibili. Il sapere geometrico euclideo è basato sul processo deduttivo¹⁴³. Questo è il procedimento logico mediante il quale da una verità o principio generale se ne può ricavare una parte in essa implicita. Frutto dell'applicazione sistematica del metodo deduttivo, gli Elementi di Euclide sono stati utilizzati per duemila anni come manuale didattico. Gli *Elementi* (in greco *Stoicheia*), è un trattato di matematica composto di tredici libri concernenti la geometria piana, le proporzioni, le proprietà dei numeri, le grandezze incommensurabili e la geometria dei solidi.

La geometria di Euclide era prevalentemente piana, cioè studiava le figure in due dimensioni, appunto quelle che stanno su un piano, ma vi erano anche delle nozioni di

¹⁴³ Credo che la scienza ellenistica sia una novità assoluta nella storia dell'umanità nel senso che voi prendete i libri di scienza questa novità non sempre emerge.

La novità sta evidentemente nel metodo scientifico che ha riferimenti nella cultura classica ma che sostanzialmente emerge nel IV sec. E che è caratterizzata da due elementi che sono: il metodo deduttivo e nel fatto che gli oggetti della riflessione non sono concreti ma teorici fino a raggiungere una dimensione puramente intellettuale.

Caso tipico è quello della geometria razionale degli Elementi di Euclide, si parla di enti teorici (triangoli cerchi nei quali non ci si inciampa camminando per strada) e gli argomenti sono dimostrabili per teoremi, cioè dimostrando via via le proposizioni che interessano.

È interessante riflettere soprattutto sull'origine del metodo dimostrativo che è una novità rispetto alle civiltà precedenti, nella civiltà greca quest'episodio è preparato da altri eventi che hanno a che fare con la logica, in particolare l'analisi del sillogismo in Aristotele. L'aspetto che va sottolineato è che esiste un rapporto diretto tra il metodo dimostrativo e la retorica. Sono rimasto colpito dalla lettura della "retorica" di Aristotele in cui è evidente che la retorica sia una applicazione alla logica, invertendo il rapporto storico tra questi due termini. L'analisi del sillogismo consiste nell'isolare concetti di logica pura rispetto al discorso sull'argomentazione razionale svolto da tempo nei manuali di retorica. È stato un passo essenziale verso lo sviluppo dell'argomentazione razionale. (Prof. Lucio Russo, ordinario di Calcolo delle Probabilità all'Università di Tor Vergata, è autore di un testo importante che si intitola "La Rivoluzione Dimenticata", che ha per oggetto il rapporto tra la scienza ellenistica e la scienza esatta moderna, facendo riferimento all'identità e alle radici della cultura moderna. (Da: lezione a Bari, febbraio 2001)

geometria solida, come la dimostrazione che i solidi regolari, cioè quelli formati da poligono regolari uguali fra loro e nei quali anche gli angoli formati dalle facce fra loro sono sempre uguali, sono solo cinque, tetraedro, cubo, ottaedro, dodecaedro e icosaedro. Euclide sceglie che i possibili enti geometrici, oggetto di dimostrazione, sono quelli "costruibili" sulla base dei postulati: con riga e compasso. Si può dire che la geometria con riga e compasso fu scoperta da Euclide, anche se in realtà già i matematici prima di lui facevano, uso inconscio, di questo tipo di geometria.

Allo stesso modo, la strutturazione dei trattati di stereotomia, da Delorme in poi, si organizza in maniera tale che al *trait* più semplice faccia seguito quello man mano più complesso. La descrizione metodologica delle fasi costruttive, sia dell'*epure* che *tout court* dell'elemento architettonico, seguono una puntuale logica consequenziale che consente allo scalpellino di giungere agevolmente alla "dimostrazione" del processo costruttivo. Si "postulano" sin dall'inizio gli strumenti della *fabbricazione stereotomica* per la *costruibilità* di determinati metodi proiettivi. La riga ed il compasso, per finire, sono anche quei simboli massonici da cui principalmente deriva la conoscenza applicata di Delorme.

La testimonianza dell'interesse per la matematica da parte di Philibert Delorme (nato e cresciuto a Lione) e della società degli intellettuali lionesi, è segnalata dall'avvertimento posto sulla porta dell'accademia di Platone, ripreso in 9 rue de Juiverie (primo cantiere del giovane Delorme dal rientro dall'Italia), come riportato dagli studi di Dominique Bonnet Saint-Georges¹⁴⁴ nel paragrafo sulla presenza di matematici a Lione nel XVI sec.

Nella galleria Builloud, tra le iscrizioni rilevate ne XIX secolo da Chenavard, si leggeva: "*NULLUS EXPERS MATHEMATICES INGREDIATUR*" (non entri chi non è geometra).

Alla fine del XV secolo, Lione aveva beneficiato della presenza di uno dei migliori matematici francesi contemporanei, il

¹⁴⁴ Dominique Bonnet Saint-Georges, op. cit. pp.27-28.

parigino Nicolas Chuquet, che s'installò in rue Grenette trascorrendo gli ultimi anni della sua vita (1480-1488). Ad ogni modo, le opere dei matematici, molto spesso manoscritti, arrivavano a Lione, sia per mezzo di editori, sia attraverso il canale dei mercanti stranieri, in particolar modo italiani, per i quali la pratica commerciale esigeva conoscenze matematiche e algebriche¹⁴⁵.

Delorme riporta il suo sapere di natura "matematico"-applicato, accumulato in lunghi anni di attività come architetto, all'interno delle sue opere stampate.

Nel 1561 viene stampato un breve trattato *in folio* intitolato *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz* (Le nuove invenzioni per costruire bene e a poco costo) (Vol. II, Tavv. 56-59); e sei anni dopo, nel 1567, viene dato alle stampe la sua opera più importante, *Le premier tome de l'architecture*, in nove libri¹⁴⁶. Nelle riedizioni seicentesche,

¹⁴⁵ Ricordiamo tra i trattati di matematica pubblicati a Lione: Borrel, Jean (Buteus)-*Apologia adversus epistolam Jacob Peletarii*. Lione, Iovio, 1562. Peletier, Jacques-*Disquisitiones geomerticae*. Lione, Tournes, 1567.

¹⁴⁶ I libri III e IV sono dedicati esclusivamente all'arte del "trait". I primi capitoli del terzo libro affermano alcune ragioni sulla necessità di praticare l'arte del taglio, descrivono alcuni strumenti degli apparecchiatori e del tagliatore quali il regolo, la squadra fissa (equierre), il calandrino squadra zoppa o mobile (sauterelle), il biveau, simile al calandrino "(...) che non è altro che uno strumento simile alla squadra, ma mentre la squadra mantiene le sue aste fisse, il biveau le ha mobili: in modo che si chiudano e si aprano come si vuole per fare tutti i tipi di angoli, così che se ne possano fare di retti, ottusi, acuti (...) inoltre le aste del biveau (...) presentano una forma curva secondo la curvatura dell'opera che si vuole realizzare", infine il cartone o modello. Dal V al XVIII capitolo affronta i problemi per la copertura di alcuni vani di apertura, nell'VIII capitolo propone un quesito apparentemente non attinente all'argomento, come regolarizzare un castello irregolare: ma nel titolo si legge "L'artificio dei tracciati (disegno) geometrici serve quando si vuole di una casa o di due cominciate male o imperfette, (vecchie abitazioni o altro) una casa bella e perfetta, adattandone tutte le membra e parti del vecchio edificio con il nuovo".

Nel IV libro dal I al IV capitolo tratta della trompe d'Anet, tromba conica rampante in cui l'autore esalta tutte le difficoltà della realizzazione delle trombe "Il tutto si troverà di tale grazia e armonia quale potete giudicare nel disegno (...)". Dal V al VII capitolo rappresenta il taglio di alcuni tipi di trombe. Dall'VIII al X capitolo affronta le volte "moderne" che "gli operai chiamano La moda Francese" o meglio le volte nervate del periodo gotico. L'autore non descrive che sommariamente la loro realizzazione e dice "(...) Se qualcuno desidera saperne di più per realizzarla, occorre che si rivolga agli Architetti, o ai Maestro muratori che ne sono pratici. Poiché è più disagiata spiegare in teoria, che non dimostrare praticamente in opera e di fatto (au doit et à loeil), come le pietre si devono tracciare ed assemblare." Dall'XI al XVII capitolo descrive la realizzazione di volte sferiche, a vela o a cupola, con le diverse e possibili apparecchiature. Negli ultimi quattro capitoli descrive le scale a "vite". La prima scala presentata ha una doppia rampa realizzabile in molti modi "(...) alcune voltate al disotto dei gradini, che sono comunemente chiamate dagli operai,

1626 e 1648, di quest'ultimo verrà inglobato il primo trattato del 1561, quali libri Decimo e Undicesimo. Il trattato, quindi si conclude, al pari della costruzione processuale in verticale di un edificio, con la trattazione delle carpenterie lignee che ottimizzano (Nuove invenzioni...) la costruzione dei tetti.

Il Quarto libro del trattato, è quello consacrato alla geometria e alla dimostrazione de *l'art du trait géométrique* applicata alla costruzione dei più complessi elementi dell'architettura stereotomica. Tra questi, spiccano per genialità e virtuosismo: la *trompe d'Anet* (Vol. II, Tavv. 102-119), le volte sferiche con apparecchiatura elicoidale (Vol. II, Tavv. 238-251) e la riproposizione della famosa scala a "vite", il cui modello originario è situato in un frammento semi distrutto della Prioria di Saint Gilles in Languedoc (Vol. II, Tavv. 296-306). Dallo studio di quest'ultima, vero capolavoro stereotomico, nel XIX capitolo del IV libro, Delorme menziona la scala del Belvedere bramantesco, apprezzandola ed allo stesso tempo criticandola¹⁴⁷ su alcuni aspetti di natura costruttivo-geometrica: dall'uso della pietra al posto dei mattoni, all'obliquazione dell'ordine delle colonne a sostegno della rampa elicoidale della scala.

L'esempio esistente, più vicino all'idea delormiana è rappresentato dalla scala a chiocciola della chiesa di Saint-Etienne-du-Mont a Parigi (Vol. II, Tavv. 305-309).

La completa padronanza geometrico-costruttiva dell'architettura, spinge Delorme a sferrare i propri attacchi verso quella cultura italiana di cui si era nutrito.

la vis saint Gilles, poiché nella Prioria di Saint Gilles in Languedoc ce n'è una simile, portante una volta ad emiciclo, rampante al disotto dei gradini"; l'ultima riguarda una scala su pianta quadrata.

¹⁴⁷ Da qui, riporta Filippo Camerota nei suoi studi sull'architettura obliqua, parte la prima velata critica al classicismo vitruviano che nel secolo successivo assumerà con Caramuel toni ben più scoperti. La critica di Delorme colpisce il cuore della classicità rinascimentale italiana; l'uso degli ordini nella chiocciola bramantesca del Belvedere è, a suo parere, profondamente incoerente rispetto alla geometria spaziale della costruzione. In questo caso Vignola fa una precisa distinzione tra ciò che è solo ornamento e può seguire liberamente il disegno geometrico, e ciò che è struttura e deve mantenere, anche visivamente, la sua funzione statica. Questa distinzione evidentemente non entrava nella logica di Delorme, abituato per formazione culturale a leggere l'obliquazione come una caratteristica e non un difetto dell'architettura.

La *figurazione* architettonica dello stile delormiano, come avremo modo di vedere, parte dall'apprendistato giovanile svolto in Italia presso i più importanti circoli culturali dell'epoca, e acquista forza dai contributi speculativi italiani. Tutto ciò è inscindibilmente supportato dalla vigorosa sapienza del mestiere acquisita, sin dalla tenera età, dalle maestranze d'oltralpe.

La "teoria geometrica" delormiana anticipa l'istituzionalizzazione del *disegno* (il cui apice di astrazione si raggiungerà con Monge), nel 1567, o già nel 1561, con il *trait géométrique* della carpenteria di sua invenzione (*Nouvelles Inventions*), che rimpiazza *l'epure* in vera grandezza che il maestro carpentiere, eseguiva ogni volta, sul cantiere al fine di determinare il nodo tra le travi. Per Camillo Trevisan¹⁴⁸ il *trait géométrique*, non solo trattiene in sé il modello complessivo e completo di un elemento architettonico, *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. La principale differenza tra *epure* e *trait*, insomma tra *proiezione* e *nomogramma*, risiede soprattutto nel potenziale dinamismo di quest'ultimo, nella sua capacità di modificarsi operativamente, determinando esiti diversi, contenendo sempre in sé, però, tutte le caratteristiche geometriche dell'oggetto. La forte affinità concettuale tra gli esiti delormiani e le attuali tecniche di modellazione solida parametrico-variazionale, ci consente di dichiarare l'assoluta importanza speculativa dell'aggiornamento della stereotomia tradizionale.

Il presente contributo è finalizzato ad esplicitare la metodologia che processualmente *conforma* gli elementi architettonici delle invenzioni delormiane.

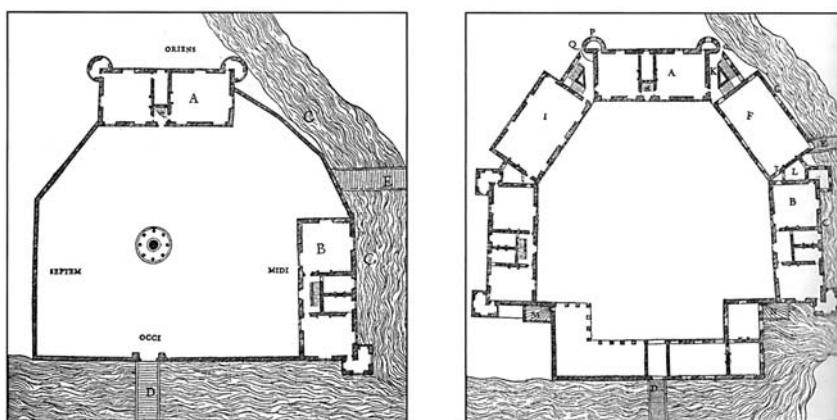
Di questi, se ne è analizzata la portata nei paragrafi a seguire, cercando di evidenziare l'enorme potenzialità progettuale in

¹⁴⁸ C. Trevisan, *op. cit.* (cfr. nota 69)

essi contenuta, e il grande valore didattico connesso all'operazione di ridisegno *infografico* tridimensionale.

3.2. Stereotomia quale arte della regolarizzazione: *trait géométrique* e progettazione architettonica.

Delorme, nel libro III al capitolo VIII, propone un quesito apparentemente non attinente all'argomento, ossia il modo per regolarizzare un castello medievale irregolare (fig. a seguire, *Premier Tome*, fol. 66-67): un esercizio che, sin dall'inizio, esplicita il ruolo fortemente progettuale della stereotomia.



Si legge:

L'artifice des traicts Geometriques feuir quand on veult faire d'une maifon, ou de deux mal commencées, (foit vieil logis, ou autrement) une belle & parfaite maifon, y accomodant tous les membres, & parties du vieil edifice, avec le neuf. Ce lieu me femble estre fort à propos pour mieux donner l'vfage des traicts Geometriques, & monftrer la commodité qui les accompagne, pour euitier les empefchements aufquels on peult tomber quelquefois:& auffi pour accommoder les vieils logis avec les neufs, ainfi que lon en pourra auoir affaire, & que l'oeuvre le requerra pour fa perfection, beauté & decoration¹⁴⁹.

L'artificio dei traits geometrici, da utilizzare, quando si vuol fare di una casa, odì due mal impostate, (siano vecchie

¹⁴⁹ P. de l'Orme, op. cit. L. III, cap. VIII, f. 67 r.

logge, o altro) una bella e perfetta costruzione, sia ordinando tutte le membra, che le parti del vecchio edificio con il nuovo. Questo mi sembra il momento più opportuno per meglio illustrare l'utilizzo dei traits geometriques, e mostrare la comodità che li accompagna, al fine di evitare le imperfezioni in cui possiamo incorrere qualche volta: e pure per accomodare¹⁵⁰ le vecchie logge con le nuove, o quelle che si potranno fare, e quelle la cui opera ne richieda perfezione, bellezza e decorazione.

Nella fattispecie, il terzo libro, de *Le Premier Tome de l'Architecture*, è dedicato ai soggetti che presiedono l'arte del costruire, ovvero l'Architetto, il capomastro e gli scalpellini, che dovranno conoscere bene la Geometria. Tale monito è esplicitato nel prologo con la rappresentazione¹⁵¹ dell'Architetto che con cura e prudenza dovrà maneggiare il compasso, insidioso, per la presenza del serpente. Gli ultimi capitoli del III libro (dal cap. V al XVIII) trattano dei problemi inerenti alle volte a botte con una serie di soluzioni per volte stereotomiche speciali. All'interno di tale trattazione viene esposta, come abbiamo detto, la maniera di regolarizzare, ricreando la simmetria compositiva, un castello irregolare attraverso l'uso di espedienti stereotomici grazie all'arte del *trait*.

I disegni presentati da Delorme nel Libro III, cap. VIII, fol. 66-67, sono estremamente efficaci nell'esprimere sinteticamente, come l'utilizzo di opportuni elementi stereotomici possano risolvere problematiche progettuali inerenti all'ampliamento (accomodamento) di edifici preesistenti. Infatti: la *trompe* viene utilizzata per unire due corpi di fabbrica che si toccano, ad angolo retto, sugli spigoli, l'arco obliquo laddove c'è esiguità di spazio, l'arco nello spigolo dell'edificio se esistono passaggi costretti, l'arco in un muro curvo se ci sono passaggi nelle torri di guardia, ecc.

¹⁵⁰ Regolarizzare, ovvero *accomodare*: dal latino *commodus* adatto, adattare.

¹⁵¹ Philibert de l'Orme, *op. cit.* Libro III, cap. I, f. 52 v.

Un vero apparato architettonico capace di risolvere, con dignità estetico/costruttiva, complesse problematiche progettuali.

Jean-Marie Pérouse de Montclos¹⁵², sottolinea che l'arte del *trait* appare all'autore, come il mezzo più astuto per modernizzare il vecchio stile gotico con quello rinascimentale dalla forte influenza italiana. La stereotomia è presentata, quindi, da Delorme come il più efficace mezzo per passare dal vecchio mondo gotico al mondo moderno "regolare"¹⁵³.

*I'en trouuay le traict & inuentay l'artifice en ladicte année mil cinq cens trentefix, par le moyen & ayde de Geometrie, & grand trauail d'efprit: le quel ie n'ay plainct depuis, ains pluftoft loue Dieu grandement, de ce que d'un feul traict, & feule facon de trompe, on les peult faire toutes*¹⁵⁴.

Io definii il trait ed inventai il metodo nell'anno 1536, per mezzo e con l'aiuto della Geometria e grande lavoro d'intelletto; del quale lavoro non mi lamento ma piuttosto lodo Dio grandemente, visto che da un solo trait, e con un solo esempio di trompe, si possono fare tutte.

Il *metodo regolarizzatore*, come il suo inventore afferma, fu trovato nel 1536 (all'età di 22 anni) per il disegno di due *trompe de la galerie*, sul cantiere *de l'hôtel Bullioud* a Lione che rappresenta il primo lavoro del giovane architetto dal rientro dall'Italia (Vol. II, Tavv. 120-121).

Philippe Potié¹⁵⁵ osserva che, in termini di risoluzione geometrica o tecnica, "l'invenzione" del 1536 non apporta niente di nuovo alla scienza medioevale del *trait*, ma Philibert Delorme ha coscienza del valore di questo gesto riguardo lo

¹⁵² Jean-Marie Pérouse de Montclos, *L'architecture à la française*, Picard, Paris, 2001. pp.93-94

¹⁵³ Dal punto di vista costruttivo, una *trompe*, ovvero una volta conica, può impostarsi su uno o due muri formanti angoli di diversa gradazione, angoli di corti irregolari quindi, e consentire agevolmente una "rettificazione" dei muri d'imposta superiori. Ricordiamo, ancora, che le volte coniche, nel loro primordiale utilizzo, rappresentavano gli elementi di raccordo di edifici a pianta quadrata voltati con cupole

¹⁵⁴ P. de l'Orme, *op. cit.*. L. IV, cap. II, f. 91 r.

¹⁵⁵ P. Potié, *Philibert de l'Orme, figures de la pensée constructive*, Editions Parenthèses, Marseille, 1996.

sviluppo del pensiero architettonico. Il tracciato della sua *trompe* gli servirà semplicemente a segnare una differenza con i modelli medioevali. Rivendicando questa differenza, l'arte del *trait* passa impercettibilmente da una tipologia (comune ai mastri massoni) al segno di uno stile (proprio dell'artista), emancipazione del sapere medioevale¹⁵⁶. Per la prima volta sarà, quindi, rivelato il segreto dei capomastri che, secoli di giurisdizione corporativa avevano costretto a mantenere sotto silenzio.

Vediamo, a seguire, la portata di tale invenzione.

¹⁵⁶ Occorre rilevare che la rinascenza è portatrice di un nuovo atteggiamento nei confronti del progetto. Atteggiamento di speculazione culturale fino ad allora riservato alla scienza. Laura De Carlo, "La pietra disegnata" Riflessioni intorno a un saggio di Robin Evans, in Strumenti del Dottorato di Ricerca, vol. 4, Gangemi Editore, Roma 2000.

3.3. Il ruolo del tradizionale *trait géométrique* per la progettazione/costruzione delle *trompe*.

Il presente studio, metodologicamente impostato sull'analisi comparata delle due opere ai poli della carriera di Philibert Delorme ossia l'opera giovanile del 1536 ed il maturo trattato *Le Premier Tome de l'Architecture*, Paris, Chez Frédéric Morel, 1567, è finalizzato a porre in evidenza alcuni punti di carattere teorico/pratico connessi alla *stereotomia*, intesa, sia in termini di rigorosa razionalizzazione del metodo costruttivo che efficace *strumento* progettuale-compositivo nelle mani dell'architetto.

L'opera giovanile di Lione, nella fattispecie la descrizione del tracciato geometrico (qui inventato!) finalizzato all'erezione delle *trompe*, viene descritto molto brevemente dall'autore, di contro viene descritto compiutamente il tracciato geometrico del successivo e meraviglioso capolavoro: la *trompe* del castello d'Anet.

Si è pensato quindi di mettere in relazione la descrizione teorica di quest'ultima presente nel trattato, con l'operazione di analisi e rilievo diretto del monumento di Lione, al fine di verificare l'obiettività del metodo delormiano.

L'analisi si è sviluppata, interessando parte dell'ultimo capitolo della seguente tesi, mettendo a confronto le motivazioni della *stereotomia* classica con gli attuali *metodi* di modellazione solida infografica e prototipazione per mezzo del taglio assistito CNC rilevandone, continuità concettuale e affinità speculative di sicuro interesse per lo studioso della materia.

3.3.1. Caso-studio: l'invenzione del *trait géométrique* nel cantiere de la galerie de l'hôtel Bullioud a Lione

Il presente caso di studio su la *galerie de l'hôtel Bullioud 8 rue Juiverie* edificata a Lione nel 1536 è paradigmatico nel senso delormiano: una galleria tra due *cabinets* portati da *trompe*,

chiamata a regolarizzare una piccola corte medievale irregolare (Vol. II, Tavv. 120-121).

Se il principio stesso della galleria non è nuovo ed appartiene propriamente alla tradizione lionese, tutto, nella messa in opera di questo programma è inedito. Tale opera costituisce il primo esempio di questa facoltà di sintesi, così caratteristica del genio di Philibert de l'Orme, tra le forme ereditate dal medioevo e l'estetica nuova. L'architetto lascia libero corso alla potenza della sua immaginazione all'interno di un universo razionale.

L'ipotesi di Dominique Bonnet Saint-Georges¹⁵⁷, sulla regolarizzazione simmetrica dell'opera del Nostro, da noi rielaborata attraverso un fotomontaggio fotografico, appare interessante e suggestiva (Vol. II, Tav. 127).

Analizzando il testo del trattato è possibile arrivare ad alcune considerazioni curiose sulla possibilità di un progetto originario della galleria diverso da quello realizzato. Nel testo infatti si parla di volte e gallerie (al plurale!) sospese nell'aria, il che fa pensare ad un doppio ordine di galleria sospesa a sbalzo su mensole decorate e non sopra l'arco rampante di infelice raffinatezza estetica. Si è ipotizzata questa interpretazione di una più coerente composizione della facciata, per una più stretta coincidenza tra il testo del trattato e la realizzazione di un'opera di un architetto le cui intenzionalità "regolarizzatrici" sono, ormai, ben evidenti

Je fis faire tel oeuvre l'an 1536, à mon retour de Rome & voyage d'Italie, lequel i'auois entrepris pour la poursuite de mes études & inventions pour l'Architecture. Les deux fufdictes trompes furent faictes pour le general de Bretagne monfieur Billau en la rue de la Iuifrie à Lyon¹⁵⁸.

Ho fatto queste opere nel 1536, al mio ritorno da Roma e dal viaggio in Italia che ho fatto per i miei studi sull'Architettura.

¹⁵⁷ Dominique Bonnet Saint-Georges, *Philibert de l'Orme lyonnais*, Les dossier des Archives Municipales 5, Lyon, 1993.

¹⁵⁸ P. de l'Orme, *op. cit.*, L. IV, cap. II, f. 90 v.

***Le due trompe furono fatte per il generale di Bretagna,
Monsieur Billau, in Rue de la Juiverie a Lione.***

Nel 1536, il ricevitore generale di Bretagna Antoine Bullioud assegna l'incarico al P. D. di progettare ed edificare un'opera destinata a legare tra loro tre corpi di fabbrica acquistati in 8 rue Juiverie.

Philibert, giovane architetto lionese figlio del mastro massone Jehan de l'Orme, ha ventidue anni. Egli è sotto la protezione del cardinale du Bellay, amico d'Antoine Bullioud. L'ascensione sociale di questo giovane massone lionese, nato verso il 1514 e morto a Parigi nel 1570, fu considerevole. Il suo viaggio e soggiorno a Roma tra il 1533-1536 fu un momento decisivo: qui acquisisce le conoscenze tecniche e archeologiche diventando uno degli attori principali del rinascimento francese (Vol. II, Tavv. 238-245).

L'opera lionese è un'opera di gioventù ma che l'architetto rivendica e spiega, nel suo trattato, con grande fierezza. Qui pre-esistono tutti quegli che utilizzerà subito nelle sue opere maggiori.

Quello che gli fu chiesto nel 1536 da Antoine Builloud, notaio generale delle finanze reali in Bretagna, fu una soluzione pratica che unisse ed unificasse tre differenti corpi di fabbrica attorno ad una corte interna molto piccola.

Deolorme perviene ad applicare il principio di una galleria di collegamento come le gallerie di altre corti lionesi che include un programma decorativo simmetrico, ispirato all'architettura antica.

Due *cabinets* d'angolo sono gli elementi creatori della simmetria. Questi sono supportati da trompes per non occupare spazio al suolo. Infine, la decorazione utilizza per la prima volta in Francia la sovrapposizione dei due ordini classici dorico e ionico¹⁵⁹ (Vol. II, Tav. 122 in alto).

¹⁵⁹ Si veda: Yves Pauwels, *Théorie et pratique des orders au milieu du XVI siècle: De L'Orme, Goujon, Lescot, Bullant*, Tours, Centre d'Etudes supérieures de la Renaissance, 1991.

Lione è, alla metà del XVI secolo, la capitale europea del commercio e delle attività bancarie, e la rue Juiverie è il centro finanziario della città.

Con 60.000 abitanti residenti permanentemente e numerosi mercanti che restano spesso anche molto tempo dopo le grandi fiere, Lione è una città importante situata sulla via per l'Italia che affascina i monarchi, artisti e commercianti francesi del XVI sec.¹⁶⁰

A Lione si incontrano idealmente i due poli del Rinascimento francese : l'umanesimo proveniente dal Nord e le Arti e le Lettere originarie d'Italia.

Tra il 1515 e il 1562, Lione, ricca dei suoi mercanti e certa delle stabili imprese francesi in Italia, crede di poter diventare la capitale del reame. Le speranze furono deluse: il grande commercio non si esplica più sul mediterraneo ma si rivolge verso le Americhe; gli stranieri abbandoneranno la città; le guerre di religione, le epidemie, le disdette, decimeranno la popolazione di Lione e della sua regione. Bisogna considerare che nel 1577 il numero della popolazione si dimezzò.

Verso la metà del XVI secolo, in seguito alle epidemie di peste e delle guerre di religione, i banchieri abbandonano la città installandosi a Ginevra. Il quartiere della rue Juiverie inizia a perdere il valore economico dopo la Rivoluzione e ad impoverirsi alla fine del XIX secolo, quando i nuovi capitali si investono nella *presqu'île* della città.

È nel 1964, in seguito alla legge Malraux del 1962, che vieux Lyon nel suo insieme viene classificato primo settore salvaguardato di Francia. La Société d'Economie Mixte du

¹⁶⁰ Drante il corso della prima metà del XVI sec si compie in Francia una considerevole rivoluzione artistica. L'arte gotica, molto viva e sempre feconda di invenzioni straordinarie, diventa, in una generazione, obsoleta o marginale: essa cede il passo ad un sistema di forme fondato su nuovi principi che durerà, attraverso continue trasformazioni, fino al XIX secolo. Questo considerevole cambiamento è il risultato di svariate cause distinte e complementari:

- La scoperta meravigliata dell'Italia suscita all'inizio del secolo una moda italianista;
- L'adozione di forme ispirate all'Antichità e all'alto Rinascimento italiano;
- Infine, la volontà di Francesco I sin dall'inizio del suo regno nel 1515 di creare una nuova arte francese ad ispirazione di quella italiana si concretizza nell'apparizione a Fontainebleau di un centro di influenza internazionale.

Vieux Lyon intraprende gi studi di riqualificazione e di restauro. Il comune (municipalité) stabilisce nel 1977 un programma di alloggi sociali che include l'hotel Bullioud. Dal 1983 al 1986, Jean Gabriel Mortamet, architetto capo dei Monumenti storici, con Michel Allemand, la Società d'HLM (alloggi popolari), realizzano il restauro della Galleria di Philibert de l'Orme e 31 alloggi¹⁶¹.

...le trompe...

*Mais voirement plufieurs pourront demander que ie veaux dire & entendre par ce mot de trompe, pour autant qu'il n'eft vfitè finon qu'entre les ouuriers, & par confequent cogneu de peu de perfonnes, & mefmes d'aucuns nouueaux ouuriers. Qui eft caufe que ie le veux bien declairer, & aduertir le lecteur qu'il mefemble que le nom de trompe, duquel nous vfons icy, eft venu, ou bien a efté prins & vfurpé de la fimilitude que fa ftructure a avecques la trompette, appelée en beaucoup de pais trompe. Car l'une & l'autre eftant large par le deuant, va en eftroiffiffant par le dedans en forme d'une voute*¹⁶².

Ma molti potrebbero domandarsi cosa io voglia intendere quando parlo di trompe, dato che è un termine usato solo dagli addetti ai lavori, e pertanto conosciuto da poche persone e da nessuno dei nuovi costruttori. Perciò voglio ben chiarire, e avvertire il Lettore, che probabilmente il nome trompe, che noi usiamo qui, deriva, o meglio è usato, dalla similitudine della struttura con la tromba, chiamata in molti paesi trompe. Poiché l'una e l'altra sono larghe sul davanti richiudendosi all'interno in forma di volta.

In questo passo, l'autore tenta una similitudine formale con lo strumento musicale, la trombetta (Vol. II, Tav. 96), per chiarire la natura geometrica dell'elemento architettonico che,

¹⁶¹ Jacqueline Salmon Jean Louis Schefer, *8 rue Juiverie-la lumière élargie*, Editions Comp'Act, Lyon, 1989.

¹⁶² P. de l'Orme, op. cit. L. IV, cap. I, f. 89 r.

a quanto pare, a quella data, risultava essere di conoscenza esclusiva di pochi maestri massoni.

A.F. Frézier¹⁶³ nel suo trattato, alla voce *Trompe* riporta:

è comunemente una volta a forma di semicono che si presenta con la sua base (riferimento al solido sezionato con un piano passante per il vertice)... Vi sono diversi tipi di trompe e i loro nomi derivano dalle loro funzioni o dalla forma. Riguardo a quest'ultima vi sono le trompe coniche e sferiche... Quando la faccia di una o dell'altra è convessa si chiama anche Trompe en tour Ronde; se è concava Trompe en tour creuse; se la facciata è interrotta da più superfici piane si chiama Trompe à pan; se le imposte sono ad altezze diverse si chiama Trompe rampante, se la facciata è ondulata e le imposte sono rampanti si chiama Trompe d'Anet. Riguardo invece la configurazione generale, se la trompe è sporgente si chiama Trompe sur le coin, se rientrante Trompe dans l'Angle.

E alla voce *Trompillon*:

è la parte iniziale di una trompe, posta sul vertice del cono nelle trompe coniche e su un polo della sfera nelle sferiche. E' un unico concio di pietra che occupa lo spazio di molti vertici di conci, che altrimenti sarebbero talmente aguzzi da non potersi tagliare senza rischiare di romperli.

Jean-Marie Pérouse de Montclos¹⁶⁴, nel capitolo consacrato alle *trompe* ricorda che questo tipo di costruzione, per andare a ritroso nella data della loro apparizione nell'architettura europea, si sviluppa soprattutto nella seconda metà del XV secolo. Philibert de l'Orme non è dunque il primo ad utilizzarle (trompe de l'hotel Pincé a Angers, o hotel Cluny ad Parigi). Inoltre, e soprattutto, P. D. è il primo a stabilirne una impostazione teorica. È ugualmente il primo a considerarle come differente espressione di un caso generale e, nel

¹⁶³ Amédée-François Frézier, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres*,.. Ed. C.A. Jombert, Paris, 1754. Primo tomo.

¹⁶⁴ Jean-Marie Pérouse de Montclos, op. cit. pp. 122, 125

momento in cui scrive che inventa il "*traict*" sul cantiere della *maison Builloud*, vuole parlare del tracciato geometrico partendo dal quale *...on les peut faire toutes...* è la ragione per cui le *trompe* lionesi rappresentano il ruolo di prototipo.

*Toutes fortes de voutes fe peuuent faire en forme de trompe,
& toutes fufpendues en l'air, fans auoir fondement par le
deffous, finon aux deux coftez qui font l'angle, le tout par vne
mefme methode de trait*¹⁶⁵

***Tutte le volte si possono fare in forma di trompe e tutte
sospese in aria, senza avere sostegni al di sotto, a parte i due
muri che formano l'angolo; il tutto seguendo un unico metodo
di trait,...***

*I'en ay auffi ordonné & conduit long temps y a deux autres à
Lyon beaucoup plus difficiles, & d'affez grande faillie, veu le
petit lieu ou elles font, & auffi que l'une eft biaife, rempante,
foubaiffée & ronde par le deuant: l'autre eftant à l'angle
oppofite fut faicte en fa pleine montée, ronde par le deuant &
de gran faillie. Sur chacune defdictes trompesfurent erigez
des cabinets accompagnez de galleries d'une trompe à l'autre:
le tout eftant furpendu en l'air, à fin de feruir pour al ler d'un
corps d'hoftel à l'autre, & accomoder les cabinet pour les
chambres. Laquelle chofe rend ces deux logis fort aifez &
commodes, qui eftoient autrement trefmal à propos & fort
incommodes, pour n'y pouuoir rien coftruire, à caufe de la
cour qui eftoit fort eftroicte & longue: comme auffi le logis de
grande hauteur, qui me fit trouuer telle inuention*¹⁶⁶.

***Tempo fa, a Lione, ho anche progettato e diretto i lavori di
due altre trompe, molto più grandi e difficili, dato lo spazio
angusto dove sono poste; e se una è rampante, ribassata e
tondeggiante sul davanti, l'altra, all'angolo opposto, è
rotonda sul davanti e di gran mole. Su ambedue furono eretti***

¹⁶⁵ P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. I, f. 89 r.

¹⁶⁶ P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. I, f. 90 r.

dei cabinet, raccordati da gallerie da una trompe all'altra: il tutto sospeso in aria, per poter collegare un corpo dell'edificio all'altro e ricavare dei cabinet per le stanze. La qual cosa rende questi due spazi robusti e comodi, che altrimenti sarebbero disposti a sproposito e scomodi per non poter costruire, a causa della corte che è molto stretta e lunga.

Le due *trompe* erette a sostegno dei *cabinets* (sud e nord rispettivamente a sinistra e destra per chi guarda frontalmente la galleria) sono del tipo *en tour Ronde*: quella sud è un riferimento diretto al tipo, già conosciuto dalle corporazioni *de massons*, de Montpellier, quella nord presenta delle varianti più curiose (Vol. II, Tav. 120).

La *trompe de Montpellier*¹⁶⁷, la cui denominazione appare per la prima volta, senza commento, ne *Livre d'Architecture* de Jean Chéreau del 1567, è una celebre variante della *trompe en tour-ronde*. L'archetipo si trova in *rue de l'Herberie* a Montpellier.

Ricordiamo brevemente alcuni tra i più importanti trattatisti, posteriori al Nostro, che riportano il tipo di *Montpellier*.

Mathurin Jousse, nel suo trattato (cfr. Vol. III), presenta tre varianti di *trompe en tour-ronde*: *trompe en tour-ronde, avec fon Cintre*¹⁶⁸, *trompe en tour-ronde, fous-biffée par Paneaux*¹⁶⁹, e *trompe en tour-ronde, autrement trompe de Mon-pellier*¹⁷⁰ – precise proporzioni

Del primo tipo dice: *Vne Trompe eft dite en Tour ronde, lors que fur la Voute eft fait vn Cabinet, ou chofe femblable en forma ronde.*

Una trompe è detta en Tour ronde, quando sulla volta si costruisce un Cabinet, o qualcosa di assimilabile ad una forma rotonda.

¹⁶⁷ La Jean-Marie Pérouse de Montclos, *op. cit.* p. 125

¹⁶⁸ Mathurin Jousse, *Le secret d'Architecture*, George Griveau, Ville de la Fleche, 1642. f. 102-103

¹⁶⁹ Mathurin Jousse, *op. cit.* f. 104-105

²¹ Mathurin Jousse, *op. cit.* f. 108-109

Del terzo dice: *Cette Trompe est dite de Mon-pellier, par ce qu'en la Ville de Mon-pellier il y en a vne femblable, fort renommée des Ouuriers pout fa beauté & gentilleffe.*

Questa Trompe è detta di Montpellier, perchè nella città di Montpellier esiste una simile, bella e rinomata tra gli scalpellini per la sua bellezza e raffinatezza.

Francois Derand, *L'architecture des vovtes. ov L'art des traits et coupe des vovtes*, Sebastien Cramoisy, 1643, Paris. (cfr. Vol. III)

Jean Baptiste De La Rue, *Traité de la coupe des pierres*, Imprimerie Royale, Paris 1728. trompe di Montpellier tav. XLV (Vol. II, Tavv. 144-145):

...Poichè non vi è nulla di più difficile dell'arrotondamento delle teste dei conci che definiscono la tour ronde, ho creduto di darne qui una spiegazione... precisa il metodo proporzionandone le parti.

Circoscritto il caso-studio, la presente analisi è finalizzata a:

1. Risalire al modello ideale/geometrico o matematico delle trompes della *galerie de l'hôtel Bullioud*, esprimibile con i relativi *traits geometriques* dedotti dal metodo (di seguito analizzato), del *trait* della *trompe d'Anet* proposto da Philibert de l'Orme.
2. Realizzazione del prototipo *trompe* sud della galleria di Lione, con tecnica CAD/CAM (modello virtuale/reale) al fine di operare un programma di verifiche quantitative/qualitative sul metodo (quinto capitolo).
3. Operare l'analisi tensionale informatizzata del modello geometrico, verificando le compatibilità dei formati di scambio dati, al fine di analisi quantitative/qualitative dell'elemento architettonico (quinto capitolo).

3.3.2. Dal rilievo al modello teorico: il modello numerico e il modello matematico-geometrico¹⁷¹

...In ogni modo lo studio delle costruzioni geometriche elementari è proprio indispensabile: non si può senza di esso procedere a quello della prospettiva lineare, e quindi alla imitazione intelligente del rilievo;...e ancora s'ha a cominciare lo studio del rilievo con i solidi geometrici regolari¹⁷²...

Il rilievo della trompe sud della galleria dell'hôtel Bullioud 8 rue Juiverie a Lione, è stato eseguito secondo una metodologia finalizzata al reperimento di punti nello spazio, razionalmente riferibili a coordinate cartesiane attraverso una serie di opportune triangolazioni (Vol. II, Tav. 122 in basso). Per mezzo di tale metodo si è ottenuto il modello numerico dell'intradosso della *trompe* costituito da una struttura discretizzata a *filo di ferro* che interpola i punti spaziali rilevati secondo un collegamento con segmenti di retta.

Tale modello, nel passaggio dall'idea alla realizzazione, si è privato dell'esattezza ideale della sua concezione progettuale arricchendosi di deformazioni costruttive.

A tal proposito, è importante riportare quanto Claudio D'Amato¹⁷³ sostiene:

...Uno dei nodi teorico-pratici del modo di produzione tradizionale dell'architettura è la "distanza" che intercorre fra progettista ed esecutore, che costringe a fare i conti fin dall'inizio con tutte le variabili che intervengono nel vivo della

¹⁷¹ Per modello numerico intendiamo un insieme di coordinate geometriche spaziali che descrivono un elemento architettonico, per modello matematico-geometrico intendiamo la legge geometrica che descrive la forma dell'elemento architettonico. Per opportuni approfondimenti si veda: Riccardo Migliari, *La geometria dei modelli: per una teoria del rilievo e della rappresentazione*. Giornata di studi sull'architettura in pietra da taglio. *Architettura e stereotomia: tradizione e innovazione*. 3-4 giugno 2002, Bari (non ancora pubblicata). Politecnico di Bari Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile e dell'Architettura e Università di Roma "La Sapienza" Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo.

¹⁷² Camillo Boito, *Ornamenti di tutti gli stili*. Ulrico Hoepli, Milano, 1881. pp. 16, 22.

¹⁷³ C. D'Amato, *Modelli per la Progettazione CAD/CAM*. Giornata di studi sull'architettura in pietra da taglio. *Architettura e stereotomia: tradizione e innovazione*. 3-4 giugno 2002, Bari. Politecnico di Bari Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile e dell'Architettura e Università di Roma "La Sapienza" Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo

realizzazione,...: quanto più questa distanza si riduce, tanto più si determinano condizioni per la piena realizzazione dell'opera...

Il modello numerico non descrive in sé la legge dell'impianto progettuale, ma la sua condizione di opera realizzata, quindi, il primo mezzo cognitivo per risalire all'idea di progetto e dunque all'impianto teorico (modello o matematico geometrico) che sottende alla sua realizzazione.

Il principio metodologico che ha regolato l'operazione del rilievo, è stato suggerito dalla conformazione dell'elemento architettonico studiato, la *trompe*, assimilabile ad una particolare volta semiconica.

Nella fattispecie l'elemento stereotomico¹⁷⁴ è assimilabile ad una superficie conica sgheмба¹⁷⁵ (l'altezza del cono non è perpendicolare alla base dello stesso), generata da un semicirconferenza direttrice (che è stata definita dalle analisi successive alla fase di rilievo), e da un segmento di retta generatore e suo vertice contenuti nel piano perpendicolare alla semicirconferenza direttrice (base). La superficie conica è posizionata in modo che gli estremi della semicirconferenza direttrice e il vertice giacciono su di un piano orizzontale, quindi, per quanto detto prima, la base risulta perpendicolare al suddetto piano.

L'intradosso del monumento (superficie conica) mostra chiaramente i giunti di contatto dei vari conci costituenti la *trompe*, assimilabili ai segmenti generatori che giacciono sulla superficie conica stessa.

Lo spazio cartesiano per il reperimento della coordinate dei punti risulta quindi costituito da:

- piano orizzontale passante per il vertice della superficie conica e gli estremi della semicirconferenza di base;

¹⁷⁴ Al fine di assecondare l'intuizione, possiamo dire che: la conformazione geometrica di questa *trompe* è data dall'intersezione di un *particolare* cilindro retto con un *particolare* cono sgheмба.

¹⁷⁵ Si veda: "trompe réglée" *trompe* rigata. A. ch. D'Aviler, *Dictionnaire*, articolo *trompe*.

- superficie conica discretizzata (definita dai giunti di contatto dei conci)

Come da figura, il punto A (punto caratteristico per la definizione della curva di intersezione tra superficie conica e cilindro) è, in tale metodo, univocamente determinato dalla doppia triangolazione AVB, BVD, e/o AVB, BVC (Vol. II, Tav. 122 in basso).

La tabella dati per l'individuazione numerica dei punti di contorno della *trompe* (curva di intersezione) si compone di 3 colonne (individuazione del punto, triangolazione verticale e triangolazione orizzontale) e 17 righe (tante quanti i conci costituenti la *trompe*. Vol. II, Tav. 135 in alto).

Al fine di una puntuale analisi geometrica (tomomorfologica) del monumento, è stata operata una conversione delle coordinate numeriche, espresse dalla tabella, in un modello tridimensionale digitale facilmente analizzabile.

Le successive operazioni di analisi interpretativa del monumento hanno tenuto conto del *metodo* (a seguire), codificato da de l'Orme per la realizzazione della *trompe d'Anet*, deducendo da quest'ultimo il fondamento teorico da applicare allo studio della *trompe* di Lione.

3.3.3. Il metodo delormiano: *trait géométrique* della *trompe d'Anet* codificato ne *Le Premier Tome de l'Architecture*

De la voute a trompe que i ay ordonné a faict faire au chafteau d'Anet pour porter un cabinet à fin de l'accomoder à la chambre ou logeoit ordinairement la meieftè du feu Roy Henry.

Sulla volta a trompe che ho progettato e fatto eseguire al castello di Anet, per portare un cabinet unito alla camera dove soggiornava sua Maestà Re Enrico ...,

*..., & me fembla eftere fort bon d'y faire vne voute furpendue
en l'air, à fin de plus commodément trouuer place à faire ledit
cabinet*

***..., e mi sembrò essere idea molto buona di fare una volta
sospesa nell'aria, per poter comodamente trovare lo spazio
per collocare il cabinet***¹⁷⁶ (Vol. II, Tav. 112).

Philibert de l'Orme dichiara nel suo trattato¹⁷⁷ di aver trovato e inventato l'artificio nell'anno 1536, attraverso metodo e sussidio della Geometria e un grande lavoro d'intelletto.

Il precipitato teorico di tale artificio è rappresentato con magistrale dono sintetico dalla codifica del *trait géométrique* (Vol. II, Tav. 102). Esso assomma in sé la regola teorica e la propulsione progettuale di sottile raffinatezza intellettuale. È qui che risiede il modello geometrico della *trompe*, o meglio di tutte le *trompe* (...in maniera tale che da un solo *trait* e un solo metodo di *trompe*, le si può fare tutte...) potenzialmente realizzabili quali risultato delle infinite combinazioni dei tre elementi di base del *trait géométrique*: due sezioni orizzontali e una sezione verticale.

L'artificio inventato nel 1536, proprio sul cantiere dell'hôtel Bullioud, è sicuramente una sintesi geniale di un più antico metodo già conosciuto dalle maestranze per la realizzazione di *trompe* o altri elementi architettonici. La novità risiede nella più forte e dichiarata capacità di quest'ultimo di prefigurare forme e caratteri architettonici in fase pre-realizzativa: l'accento si sposta sull'atto progettuale e sul controllo razionale dello stesso piuttosto che sull'immediata strategia grafica finalizzata alla risoluzione di un problema pratico.

È di grande interesse sottolineare che nel trattato non è presente il disegno del *trait géométrique* inventato nel 1536, bensì quello successivo, sicuramente più suggestivo, del 1552 per la realizzazione della *trompe* del cabinet del re Enrico II nel castello di Anet (Vol. II, Tavv. 102-119).

¹⁷⁶ P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. I, f. 88 v.

¹⁷⁷ Ivi, cap. II, f. 91 v.

Si nota quindi che il lavoro del 1536 corrisponde ad una prima pubblicazione riassunta di un programma di pietra che, il giovane de l'Orme andrà subito a realizzare in grande, per il re di Francia.

È indubbio che il primo sia servito come leva intellettuale per la costituzione del secondo che, pur rappresentando una versione virtuosa del metodo più generale, possiede una intrinseca capacità esplicativa e comunicativa della precise *potenzialità variazionali*¹⁷⁸ del metodo del *trait géométrique* (Vol. II, Tav. 118-119).

Per risalire, dunque alla regola geometrica che presiede alla realizzazione della *trompe* oggetto della presente analisi si è ipotizzato di seguire il processo deduttivo secondo cui il *trait* della *trompe* di Lione è concettualmente strutturato come il posteriore *trait* d'Anet, quindi: decrittando il modello teorico del secondo (esistente il *trait*, inesistente il monumento) si può interpretare compiutamente il modello numerico del primo (inesistente il *trait*, esistente il monumento).

Si è quindi operata una analisi comparativa finalizzata alla comprensione dei due modelli: uno teorico ed uno fisico. Il primo (anch'esso non privo di deformazioni legate alla stampa su supporto cartaceo) caratterizzato da una opportuna interpretazione critica, il secondo caratterizzato da una attenta rilievo del monumento.

Analizzando il *trait géométrique* della *trompe* d'Anet è possibile avanzare una ipotesi di lettura, del metodo proposto da Philibert de l'Orme, tesa a *cifrare* il grafico, al fine della comprensione puntuale di tutte le parti che concorrono in maniera univoca alla progettazione/realizzazione della *trompe*.

¹⁷⁸ Ricerche in itinere sulla modellazione parametrico-variazionale della *trompe* d'Anet; sottolineiamo che le descrizioni geometrica e tipologica del modello della *trompe* non sono sufficienti da sole a supportare le funzionalità *variable-driven* (modello parametrico, guidato dai parametri di definizione delle feature) richieste ai modellatori, siano essi parametrici, variazionali o parametrico-variazionali; sono necessarie altre funzioni relativamente a ciò che deve rimanere invariante rispetto alla modifica delle variabili: tali aspetti invarianti vengono definiti dall'utente imponendo dei vincoli, che possono essere classificati in geometrici e dimensionali.

Possiamo a tal fine individuare una triplice natura del *trait*:

- *Natura progettuale-compositiva*
- *Natura statico-costruttiva*
- *Natura grafico-operativa*

La natura *progettuale-compositiva* è chiaramente denunciata dalle tre sezioni (due orizzontali giacenti sul proprio piano e una verticale ribaltata sul piano orizzontale) presenti sul grafico, variando le quali è data la possibile configurazione di infinite¹⁷⁹ *trompe* (Vol. II, Tavv. 102-1023).

La prima sezione è quella orizzontale dei due muri, di imposta ad angolo retto (non esattamente ad angolo retto per le deformazioni dovute all'inesatta realizzazione dei muri, cfr. *Le Premier Tome...*), della *trompe*. La seconda è quella orizzontale del corpo (*cabinet du roi*) che la *trompe* è chiamata a sostenere, e che nella fattispecie è una sezione mistilinea.

Il disegno di quest'ultima, secondo Philippe Potié¹⁸⁰ deriva dagli studi sulle piante centrali delle chiese rinascimentali italiane:

...Emancipandosi dalle abituali piante circolari o quadrate utilizzate in quel periodo, Egli cercherà nella sua cultura italiana il principio del suo disegno: la composizione della pianta della Trompe d'Anet è in effetti quella di una pianta centrale...L'impiego di questo modello riservato all'architettura sacra trova senza dubbio la sua ragione nella destinazione di questa edicola. La trompe porta in effetti il cabinet d'Enrico II, santuario della riflessione reale.

Secondo la nostra ipotesi, convalidata da Dominique Bonnet Sain-Georges, il disegno in pianta del *cabinet d'Enrico II* deriva dalla proiezione piana del profilo della conchiglia a sostegno del Baldacchino del pozzo nella prima corte dell'hôtel Bullioud a Lione. Da questo precedente modello

¹⁷⁹ Infinite a tre, quanti sono i parametri che entrano nella "*funzione-trait*"

¹⁸⁰ Philippe Potié, op. cit. pp. 99-100.

formale, si ipotizza la derivazione della trompe d'Anet, anch'essa intesa quale razionalizzazione/astrazione di una conchiglia (Vol. II, Tavv. 110-111).

La terza è quella verticale (ribaltata sul piano orizzontale) dell'intradosso della volta conica, che potremmo assimilare alla curva direttrice dell'intera superficie conica, che nella fattispecie è un arco di ovale ruotato nel piano verticale per essere rampante (Vol. II, Tav. 103).

Come si può ben intuire, l'interpolazione delle tre sezioni, pur concorrendo univocamente alla definizione formale del monumento d'Anet, denuncia esplicitamente l'intrinseca qualità di poter assurgere a metodo generale per la costruzione di *trompe* (Vol. II, Tav. 106).

La natura statico-costruttiva è chiaramente denunciata dalla sezione strutturale dell'arco rampante. È, qui, possibile leggere lo spessore dei conci di quella parte di struttura più sollecitata. Tale sezione è fatta in corrispondenza della maggior luce strutturale, piano oltre il quale la volta lavora a sbalzo. De l'Orme in questa sezione disegna i conci (7 per Anet) con i giunti che con ogni probabilità seguono la perpendicolare alla tangente ai punti di suddivisione dell'arco rampante¹⁸¹. È interessante notare come, per i soli fini della determinazione grafica degli elementi costituenti la *trompe*, tale sezione poteva essere fatta in tutti i piani verticali intermedi contenuti tra il vertice e la nostra sezione, senza comportare alcun problema risolutivo della *trompe*. Acquista, valore di natura statica, la constatazione che tale sezione

¹⁸¹ Analizzando come venga affrontato dalla trattatistica il fondamentale problema della determinazione dell'inclinazione dei giunti in un arco, è possibile individuare due scuole di pensiero pratico-speculativo nell'ambito dei *tailleur de pierre*, entrambe basate su considerazioni geometriche.

- Una prima teoria sostiene che le rette rappresentative della direzione dei giunti debbano convergere in un punto, qualunque siano le curve di intradosso e di estradosso dell'arco. Essa si appoggia sulla semplicità esecutiva dell'utilizzo di una corda per segnare i tracciati dei giunti, ma non tiene conto né di ragioni costruttive né statiche. Forse proprio per la scarsa attenzione ai problemi costruttivi, tale teoria non ebbe grande fortuna.

- Una seconda teoria sostiene la perpendicolarità dei giunti alla linea di intradosso.

D. Aita, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università di Pisa, *Una possibile rilettura del problema dell'arco tra geometria e meccanica*, XV Congresso AIMETA di Meccanica Teorica e Applicata.

strutturale sia stata fatta in coincidenza della maggior distanza tra i piani d'appoggio della volta, là dove, verificata l'ipotesi sullo spessore della volta, si verifica la stabilità di tutto il sistema statico. Si osserva che tale proposizione non assolve totalmente le problematiche di natura statica: mancano le condizioni di verifica sull'oggetto della *trompe*, che non possono in via empirica essere ricondotte a semplici rapporti proporzionali sulle parti (Vol. II, Tavv. 103, 136).

La natura grafico-operativa è chiaramente denunciata dalle tracce grafiche di rotazione e ribaltamento dei segmenti di retta generatrici della superficie conica, al fine della determinazione delle reali lunghezze di quest'ultimi (Vol. II, Tav. 104).

E' possibile individuare ben cinque metodi grafici per il disegno di un arco rampante¹⁸² con proporzioni armoniche tra le parti, nel: *Tratado pràctico de Estereotomia, aplicaciones al corte de piedras, maderas y hierros. Por Francisco Ponte y Blanco, La Coruna, 1921* (Vol. II, Tav. 102, in basso a sin.).

Si osserva, inoltre, che la sezione verticale dell'arco rampante, risulta essere fondamentale per la costruzione delle incavallature della centina a sostegno dei conci nella fase di montaggio della volta. Tali incavallature lignee, al fine di una fedele costituzione della superficie dell'intradosso della volta, devono seguire fedelmente la curva direttrice della volta.

¹⁸² Per la costruzione grafica della sezione verticale, ossia dell'arco rampante della *trompe*, cfr. Tavv. 102-103

3.3.4. Relazione biunivoca tra metodo del *trait géométrique* e rappresentazione prospettica della *trompe d'Anet*.

*..., & digne d'y confiderer comme la nature du traict conduit ce degauchiffement fi eftrange*¹⁸³.

...e in grado di far pensare sul come la natura del trait possa condurre ad uno svolgimento così strano.

*..., le quel i'ay voulu faire de forme eftrange pour renndre la trompe de la voute plus difficile, & belle à voir*¹⁸⁴.

..., che ho voluto fare in forma strana per rendere la trompe più difficile e bella a vedersi.

La rappresentazione prospettica¹⁸⁵ del *cabinet du roi* presentataci da Philibert de l'Orme (Vol. II, Tav. 112), ci permette di avanzare alcune considerazioni sul rapporto che lega il *trait geometrique*¹⁸⁶ alla composizione architettonica del monumento.

Prime fra tutte ammettere o meno se la regola bidimensionale del *trait* sia alla base della progettazione formale del monumento o viceversa se questa sia la conseguenza di una ardita razionalizzazione delle procedure di controllo della fase esecutiva dell'opera.

Questa considerazione nasce dall'osservazione della rappresentazione in prospettiva del *cabinet* (la *trompe* in particolar modo) che non corrisponde, come molti hanno osservato, alla restituzione del *trait géométrique* della *trompe*.

Considerando che il disegno presentato nel trattato è posteriore alla realizzazione del *cabinet* si possono avanzare alcune ipotesi:

¹⁸³ P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. I, f. 88 v.

¹⁸⁴ Ivi, f. 89 v.

¹⁸⁵ Ivi, f. 89 r.

¹⁸⁶ P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. I, ff. 92v.-93r.

1. la rappresentazione in prospettiva, si riferisce ad un possibile disegno del progetto del cabinet, in cui sono evidenti le intenzioni formali del progettista, prima della formulazione del relativo *trait géométrique*, (prospettiva antecedente al *trait*).
2. La rappresentazione in prospettiva è stata fatta sul sito a realizzazione avvenuta, quindi descrive il monumento nelle sue parti che si discostano, per varie motivazioni di natura costruttiva, dalla elaborazione teorico/esecutiva del *trait géométrique*, (prospettiva posteriore al *trait*).
3. La rappresentazione prospettica è stata eseguita dalla mano di un incisore che non comprendeva il *trait géométrique* e che finalizzava il suo disegno ad una semplice rappresentazione dell'opera per il trattato.

Nella prima ipotesi, il *trait géométrique* risulterebbe seguire le volontà spaziali del progettista, rappresentando il mezzo razionale del controllo esecutivo dell'opera.

Nella seconda ipotesi si dovrebbe ammettere la non perfetta aderenza, qualora la rappresentazione prospettica fosse esatta, tra il metodo del *trait géométrique* e la realtà costruita. Ipotesi, quest'ultima, che non coinciderebbe con le concezioni di de l'Orme e, non incontra la tesi del presente studio.

Nella terza ipotesi non c'è, l'esplicita velleità di finalizzare il metodo grafico del *trait géométrique* alla progettazione/invenzione di forme stereotomiche d'architettura. In caso contrario sarebbe stato ben evidente il passaggio omologico¹⁸⁷ tra il *trait* e la rappresentazione prospettica, cosa che in realtà non è!

Le discordanze principali derivano dal presupposto che la *trompe* costruita con il metodo delormiano, in primo luogo, non prevede l'arco sul muro destro (per chi osserva

¹⁸⁷ Siamo di fronte a realtà da considerare omologhe quando è simile la loro struttura ma non la loro forma e la loro funzione; a realtà analoghe quando sono simili struttura e funzione ma non la forma; a realtà isomorfe quando sono simili struttura e forma ma la funzione può essere simile o no (pag. 101). Tomas Maldonado, *Reale e virtuale*, Feltrinelli Editore, Milano, 1998.

frontalmente il monumento, Vol. II, Tav. 115), e poi non ha una suddivisione di conci pari a quella visibile dalla rappresentazione prospettica.

D'avantage par effous le dit cabinet on voit comme la moitié de la voute eft rampante, à fin de gagner vne veue en forme ouale pour donner clairté à vne vis qui eft de l'autre cofté, au lieu marqué P, qui rend la trôpe (trompe) beucoup plus difficile.

Vista da sotto, si nota che una metà della volta è rampante, assumendo una forma ovale, per lasciare spazio alla finestra di una scala a chiocciola che è dall'altra parte del muro, nel luogo marcato P, il che rende la trompe molto più difficile¹⁸⁸.

Jean-Marie Pérouse de Montclos, sottolinea la particolare morfologia della volta conica, derivata da un cono in cui il vertice geometrico non è da confondere con il vertice apparente: esso si trova da qualche parte all'interno del muro di destra; la curva, sul lato del muro a destra di chi guarda la prospettiva, è dunque la curva risultante dalla sezione di tale cono con il piano verticale del muro stesso.

Ancora Philippe Potié, con la preziosa consulenza di Jean Martin e Gilbert Margueritte, Compagnons du Devoir, convalida la tesi del muro che seziona il cono generando la curva visibile nel disegno in prospettiva.

Camillo Trevisan, nei suoi importanti studi sull'analisi della *trompe d'Anet*, sottolinea che l'angolo tra i muri d'imposta della volta è, come specifica de l'Orme stesso, quasi retto precisamente di 91,6 gradi. Considerando il *trait géométrique* costruito su di un angolo retto e montando i relativi conci sulle imposte dei muri a 91,6 gradi, si potrebbe ipotizzare un *aggiustamento* in fase di realizzazione (conseguente al taglio dei conci di destra che si sarebbero compenetrati nel muro) della volta, che produrrebbe l'effetto della prospettiva. Questo è possibile ma presupporrebbe un errato rilievo dei

¹⁸⁸ P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. I, f. 88 r.

preesistenti muri di imposta della volta, visto che una diversa gradazione non avrebbe comportato nessuna rilevanza concettuale nel metodo del *trait*.

Il 1,6 grado di differenza comporta una traslazione, del vertice della superficie conica (Vol. II, Tav. 115 in basso), sulla linea AB di 4,13 cm, il che potrebbe giustificare l'ambiguo allineamento, dei filari dei conci con il vertice della superficie conica della volta, visibile nella rappresentazione prospettica.

Una generica *trompe* conica tagliata da un piano verticale, produrrebbe una ellisse o un arco ellittico.

Altre potrebbero essere le giustificazioni sulla discordanza tra la rappresentazione ed il grafico del *trait*, ma ci limitiamo qui.

Ricordando quanto ha sottolineato J.M. Prouse de Montclos che, nel f. 106v del trattato, lo stesso Philibert de l'Orme si lamenta della modesta qualità dei disegni del suo trattato addossandone la colpa agli incisori, risulta ovvio trarne le conclusioni: *le graveur dont de l'Orme se plaint, n'a pas su représenter l'ouvrage*.

L'ambizione progettuale del *trait* è sottolineata dalla dichiarazione dell'autore, secondo cui da un solo *trait* e da un unico metodo per il tracciamento della *trompe* le si può fare tutte. Da questa dichiarazione deriva la nostra sperimentazione *infografica* sul modello solido parametrico-variazionale della *trompe d'Anet* (Vol. II, Tavv. 118-119).

Philippe Potié¹⁸⁹, sottolinea che, l'ipotesi del progetto delormiano scopre la sua identità nel carattere d'anticipazione dell'*épure* rispetto al progetto spaziale. La forma dell'oggetto proiettato è la conseguenza delle scelte operate sul tracciato costruttivo dell'*épure*.

Bisogna sottolineare, a questo punto, che la "grazia" formale della *trompe d'Anet* è principalmente dovuta alla voluta asimmetria della volta e a quella curva mistilinea risultato dell'intersezione tra la superficie conica e cilindrica.

¹⁸⁹ P. Potié, op. cit. p. 101.

Ora, l'intuizione pre-figurativa di una curva spaziale, quale risultato di una intersezione di superfici o solidi di vario genere, è cosa assai difficile¹⁹⁰ a cui il metodo assicura una risposta razionale sull'esecuzione/realizzazione dell'opera, ma non sul controllo estetico della forma: in quanto non consente la visualizzazione tridimensionale dell'opera bensì la sua razionalizzazione bidimensionale. Manca, in tale relazione biunivoca, un altrettanto efficace mezzo di controllo delle forme. Si può ben immaginare che, le intersezioni di superfici coniche e cilindriche create da direttrici sempre più complesse possano generare curve spaziali (bordo dell'intradosso della trompe) sempre più ardite ed affascinanti (come lo stesso de l'Orme sottolinea), però questo può rappresentare solamente il risultato dell'applicazione di una operazione/metodo e non il raggiungimento di una forma pre-meditata in quanto il metodo non possiede il mezzo per la visualizzazione tridimensionale dell'elemento e quindi la consapevolezza della reale forma da realizzare. È sicuramente credibile che la capacità pre-figurativa, di curve spaziali risultato di intersezioni, aumenta proporzionalmente all'utilizzo del metodo del *trait géométrique*, costituendo un utilissimo mezzo per il dominio delle forme nello spazio; ma risulta altrettanto credibile che l'utilizzo delle moderne tecniche di modellazione parametrico/variazionale ne amplificano gli effetti.

La forte analogia tra il metodo delormiano e le tecniche di modellazione solido/superficiale parametrica, basata su *feature*¹⁹¹, applicata ad elementi stereotomici, assicura la continuità al metodo arricchendone esiti e risultati. La prototipazione degli elementi rappresenta la congrua verifica, a vari livelli del processo, che si muove verso l'ideale di esattezza progettuale e precisione esecutiva.

¹⁹⁰ Bisogna osservare che tra le operazioni Booleane di unione sottrazione ed intersezione tra solidi, quella più lontana dall'intuizione risulta essere la terza, in quanto i punti in comune ai solidi sono interni ai volumi.

¹⁹¹ Questo modo di operare sostituisce le operazioni booleane fra primitive. Una *feature* è un evento di lavorazione del solido e non perde mai le caratteristiche intrinseche. Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali - Università degli Studi di Firenze

Proprio la sinergia forte tra tecniche, procedure e strumenti teorico/applicati, costringe a ripensare il modo con il quale si progetta e si analizza un'opera progettata.

3.3.5. Deduzione del *trait géométrique* "ideale" delle trompe dell'hôtel Bullioud a Lione

Da tutto ciò, applicando il metodo *delormiano* dell'interpolazione delle tre sezioni al fine della composizione univoca delle *trompes* di Lione, possiamo agevolmente risalire all'unico dato non rilevabile direttamente sul monumento: la sezione verticale d'intradosso.

1. sezione orizzontale dell'imposta dei muri: direttamente da rilievo
2. sezione orizzontale del *cabinet* portato: direttamente da rilievo
3. sezione verticale dell'intradosso della volta: ricavata indirettamente

Quest'ultima operazione è stata eseguita sezionando il modello informatico discretizzato restituito del rilievo architettonico (Vol. II, Tav. 122 in basso). Osservando che tale sezione corrisponde quasi esattamente ad un semicerchio discretizzato (numero dei punti corrispondenti ai filari dei conci della *trompe*), si è ipotizzato che nel progetto ideale tale sezione fosse un semicerchio.

La completezza dei dati a disposizione, ci ha permesso di ipotizzare i *traits géométriques* delle due *trompes* di Lione (Vol. II, Tav.123).

È curioso notare la similitudine del *trait* della *trompe* sud con il *trait* di una *pechina tore ridonda enbiaje*, presente nel manoscritto di Alonso de Vandelvira¹⁹² (Vol. II, Tav. 124).

Si è quindi proceduto alla modellazione *infografica* secondo le geometrie ideali delle *trompes* e all'analisi dello scarto tra modello ideale e modello derivato dall'esecuzione dell'opera.

¹⁹² A. de Vandelvira, *Libro de tracas de Cortes de Pietra*, 1575-1590. f. 11 v.

(Vol. II, Tavv. 125-126). Il risultato di tale sovrapposizione ci permette di affermare che i due modelli sono molto prossimi, sottolineando la forte coincidenza tra l'operazione teorica che sottende il progetto e la perfezione esecutiva delle architetture stereotomiche.

Il modello *infografico* ideale è servito, inoltre, per le operazioni di prototipazione della *trompe* sud, a cui si fa rimando al capitolo quinto della tesi.

3.3.6. Studio dei rapporti di scala metrica delle *trompe* d'Anet e di Lione

Defquelles fi ie me fuffe bien affeurè, & que ie les euffe faict faire, au lieu que la voute de la trompe a de faille par le milieu de A à D, dix ou douze pieds, ie luy enffe baillé vingt ou vingt & quatre, ...ou bien ie y euffe erigé vn cabinet dont on fe fufft beaucoup plus esbahy, que lon ne faict encores, de voir fi grande faillie¹⁹³.

Se questi (i muri) mi avessero dato affidamento, io l'avrei fatta lunga nel suo mezzo AD, anziché dieci o dodici piedi, almeno venti ventiquattro....Ebbene, su essa ho eretto un cabinet, del quale sono molto orgoglioso, dato che ancora oggi non è possibile vedere altrove aggetti a sbalzo così grandi.

Attraverso questi indizi è possibile risalire ad una ipotetica dimensione reale della *trompe* d'Anet e quindi fare un confronto fisico con la *trompe* sud di Lione al fine di operare raffronti qualitativi e quantitativi.

Il metodo del *trait géométrique*, così come presentato dall'Autore, assicura la composizione proporzionale della *trompe* ma non il suo rapporto di scala. Attraverso l'operazione di *3D scaling* è possibile riportare il monumento ad una qualsiasi scala, conoscendo almeno una dimensione

¹⁹³ P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. II, ff. 90r-91v.

reale dell'oggetto; nella fattispecie il segmento AD (Vol. II, Tav. 114).

Il *cabinet* è stato modellato in ambiente informatico considerando la pianta (sezione orizzontale mistilinea) quale unico elemento realmente quantificabile. Le altezze dello stesso, le aperture, le cornici, le modanature e la copertura sono state ipotizzate attraverso degli *accostamenti* con il disegno in prospettiva presentato da P. Delorme (Vol. II, Tavv. 112-117).

Quest'ultima rappresenta una fase di analisi tutt'ora in corso, per questo non esaustiva. Il modello elaborato è stato posizionato, attraverso l'inserimento grafico, nell'acquerello di Burgeois che tenta una ricostruzione del castello d'Anet. Il risultato conseguito non mostra errori di proporzioni apprezzabili sulle altezze degli elementi architettonici (Vol. II, Tav. 116).

Sapendo che: 1 tesa francese=1,949metri=6 piedi¹⁹⁴;

Risulta: piede francese=0,3248 metri

La variazione della lunghezza del concio AD (10 o 12 piedi)

risulta: 3,248m<l<3,90m

Considerando AD=12piedi=3,90 metri; risulta (fig. 3):

	Intradosso trompe d'Anet (deduzione da trattato)	Intradosso trompe sud Lyon (da rilievo)
<i>Concio più lungo</i>	3,90 m	2,94 m
Concio più lungo fuori dalle imposte dei muri	2,14 m	1,00 m
h.max dall'imposta dei muri	3,15 m	1,95 m

A proporzionamento avvenuto della *trompe* d'Anet, la nostra ipotesi ricostruttiva può estendersi all'intero *cabinet* considerando che gli elementi che lo conformano sono indirettamente ricavabili.

La nostra analisi, sulle architetture dell'invenzione di Philibert Delorme, prosegue nel Volume II della tesi, "raccontate" dalle

¹⁹⁴ piede francese=0,3248m, piede viennese=0,3161m, piede spagnolo=0,2786m, piede romano=0,297m, palmo romano=0,223m.

tavole descrittive che esaltano le geometrie costruttive, per mezzo della modellazione *infografica* tridimensionale.

Si tratterà l'analisi: della cupola della Cappella del castello d'Anet, della volta a botte del vestibolo d'ingresso dello stesso, della Cappella con Cupola Vetrata (*I vetri che feci fare al castello d'Anet sono stati fra i primi ad essere visti in Francia con émail bianca* – P. D.), e le carpenterie delle *Nuove Invenzioni*.

Dott. Giuseppe Fallacara

VOLUME I. Testo critico

3. Philibert de l'Orme e la codifica
rinascimentale dell'*art du trait*
géométrique

Il paradigma stereotomico nell'arte del costruire.

Dalla natura sincretica della modellazione digitale alla

progettazione/costruzione di elementi architettonici in pietra da taglio.

4. Gli elementi della "stereotomia digitale"

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

Tomàs. Maldonado¹⁹⁵

4.1 La modellazione *infografica* tridimensionale

4.1.1 Modelli *infografici* e modellatori geometrici

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

¹⁹⁵ Tomàs. Maldonado, *Reale e Virtuale*, Feltrinelli Editore, Milano, 1998, p. 104.

raggiungere pari livelli di "aderenza" con l'oggetto reale. Quindi matematiche differenti possono, in determinati casi, produrre geometrie formalmente simili.

Si può, quindi, definire come modellazione 3D il processo che un sistema informatizzato segue per introdurre, guidare e modificare la rappresentazione degli oggetti, con la precisione necessaria alla loro effettiva realizzazione¹⁹⁶.

Fatta questa premessa, possiamo concludere dicendo che la scelta del tipo di modellazione, ad oggi, è ancora legata al tipo di modellatore (CAD) conosciuto o posseduto dall'utente e non da una giusta e ottimizzata corrispondenza tra oggetto e modello *infografico*. Questa cattiva abitudine al lavoro di modellazione *infografica* è ascrivibile all'inerzia dell'utente di sperimentare strade più veloci o alternative, rispetto a quella già conosciuta, per la più giusta risoluzione di un problema. Le soluzioni a questa tendenza sono date "esternamente" dalla presenza, sempre più grande, di convertitori di formati che consentono di passare da una matematica ad un'altra, non senza una sostanziale perdita di informazioni.

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

In definitiva la valutazione del sistema CAD con relativo modellatore geometrico tridimensionale può risultare di fondamentale importanza sia nei processi produttivi che propriamente progettuali. Gli strumenti che il progresso tecnologico e informatico mette oggi a disposizione sono un numero considerevole di software basati sulla tipologia C.A.D. (Computer Aided Design) che ci assistono nella progettazione

¹⁹⁶ Tommaso Empler, *Il Disegno Automatico tra progetto e rilievo*, Officina Edizioni, Roma, 2002, p. 36.

architettonica grazie alla gestione di uno spazio 3D virtuale e quindi alla possibilità di creare modelli tridimensionali. Sono stati creati differenti software CAD che possono essere classificati in base al loro tipo di modellazione. Entrando nello specifico, i modellatori geometrici possono essere sommariamente distinti in¹⁹⁷:

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

I primi costruiscono un tipo di modello aperto, di cui non è possibile calcolarne superfici e proprietà di massa. Il modello *wireframe* (a filo di ferro) è una rappresentazione che consiste di elementi geometrici monodimensionali (punti, linee e curve) descriventi gli spigoli dell'oggetto tridimensionale. Tale tipo di modellazione è, di solito, richiesta come passaggio intermedio dalle operazioni piane a quelle nello spazio nella modellazione superficiale che crea le superfici "appoggiandosi" sui reticoli della costruzione *wireframe*.

I secondi costruiscono il modello superficiale. Esso è una rappresentazione consistente di elementi geometrici bidimensionali descriventi le superfici visibili (o di interesse) dell'oggetto tridimensionale. Tali superfici, di spessore nullo e definite individualmente, sono assemblate dall'utente per ottenere il modello desiderato¹⁹⁸. Questa modellazione è più sofisticata rispetto a quella in *wireframe*, poiché non definisce solo i bordi di un oggetto 3D, ma anche le superfici, che, come vedremo, possono essere distinte in "entità discrete" (modelli poligonali) e "entità continue" (modelli NURBS).

¹⁹⁷ Le nozioni sostanziali del presente paragrafo derivano dagli studi condotti da P. Aspettati, S. Buralli, G. Cascini, P. Rissone, G. Taddei, M. Toderi, *Metodologie di impiego e valutazioni critica di strumenti di prototipazione virtuale per la PMI*.

¹⁹⁸ Risulta importante sottolineare però che se le varie tecniche di modellazione superficiale sono indipendenti dalla matematica delle superfici, non è così per il modello: l'interpolazione di un reticolo spaziale attraverso superfici NURBS di diverso livello o di superfici poligonali porta a risultati diversi tra loro.

I terzi costruiscono il modello solido¹⁹⁹. Esso è una rappresentazione matematica non ambigua e completa di un oggetto fisico. *La modellazione solida consente di generare oggetti tridimensionali dotati di caratteristiche unitarie e sui quali effettuare operazioni che consentono trattamenti omogenei, che identificano l'oggetto come una entità unitaria, che deve mantenere il suo "status" indipendente dal processo dal processo a cui è sottoposto*²⁰⁰. L'enorme vantaggio della modellazione solida consiste nell'utilizzo versatile delle operazioni *booleane* (unione, sottrazione e intersezione) che ci permettono di ottenere delle configurazioni solide in modo semplice ed esatto. Il termine Booleano viene da un riferimento all'algebra booleana, il cuore della logica digitale 0 e 1, e dal matematico inglese del XIX secolo George Boole, che ha ideato quest'algebra.

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

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

¹⁹⁹ Un modello solido può realizzarsi in due modi: tramite una rappresentazione CGS (Constructive Solid Geometry) o attraverso una rappresentazione B-Rep (Boundary Representation). La differenza tra i due approcci sta nel fatto che il secondo tipo di rappresentazione è strutturalmente simile alla modellazione superficiale in quanto la definizione dell'oggetto è data dalla chiusura delle superfici avvolgenti il solido.

²⁰⁰ T. Empler, *op.cit.*, p. 44.

4.1.2 Modelli *infografici* tridimensionali: poligonali e NURBS

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

- *M. Poligonale*
- *M. NURBS*

La modellazione NURBS comprende anche la modellazione *Patch*.

Prima di addentrarci nell'analisi delle singole tipologie di modellazione, sottolineiamo che la moderna generazione di applicazioni CAD consente "agevolmente" il passaggio, di un determinato modello, da un tipo di modellazione ad un'altra.

Fatta questa premessa, occorre ricordare che la differenza sostanziale tra un *modello poligonale* e un *modello NURBS* è che il primo restituisce una *geometria discreta* dell'oggetto reale, mentre il secondo una *geometria continua*. Quindi, se l'oggetto reale da modellare presenta semplici geometrie piane, la modellazione poligonale sarà senza dubbio sufficiente per il nostro scopo; se al contrario l'oggetto reale presenta una complessa geometria superficiale, sarà obbligatorio il passaggio alla modellazione NURBS.

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

Sviluppare uno stile di modellazione è personale.

In un *modello poligonale* il nome indica la sua struttura. E' il tipo base di modellazione 3D, nella quale tutti gli oggetti vengono definiti come gruppi di poligoni. Questi sono composti da vertici uniti in bordi, che formano facce. I modelli poligonali, chiamati anche modelli reticolari, sono il tipo di modello più semplice, composti solo da vertici, bordi e facce. La geometria risulta data dall'approssimazione delle superfici per mezzo di piccole facce planari (con densità della maglia determinata dall'utente), secondo un procedimento simile a quello usato per approssimare una linea curva

tramite piccoli segmenti retti. Dato che un triangolo è sempre planare, le facce che si impiegano per questo scopo sono spesso triangolari, anche se possono essere proficuamente usate facce di altre forme. Per la rappresentazione delle superfici curve, le *reti* di elementi quadrati (discretizzabili in base alle esigenze dell'analisi) sono una alternativa alle facce piane triangolari.

Il modello NURBS (Non uniform Rational B-Spline) opera ad un livello più elevato di modellazione, restituendo la geometria continua dell'oggetto reale, prestandosi benissimo ne casi di *modellazione organica* con geometria fluida dell'oggetto. La modellazione NURBS è una estensione della geometria *spline*²⁰¹ (B) nello spazio tridimensionale. Il termine *spline* deriva dalla costruzione delle navi, in cui veniva data una forma curva a un pezzo di legno per mezzo di due pioli. I matematici hanno preso in prestito la parola per descrivere le curve in termini di funzioni matematiche. In computer grafica una *spline* è una curva definita da funzioni matematiche²⁰² a differenza di un segmento di linea dritto, definito unicamente dalle sue estremità. È al matematico Pierre Bézier (da cui il nome spline di B.) che si deve la formalizzazione matematica delle spline e delle superfici *patch*.

I modelli *patch* sono molto prossimi ai modelli reticolari. Questi hanno caratteristiche più dinamiche, rendendoli eccellenti per superfici lisce, leggermente curve. Tali modelli sono superfici di Bezier, questo significa che le curvature delle loro superfici sono determinate da curve *spline*, non da bordi dritti come quelli dei poligoni regolari. Questo conferisce loro la caratteristica di "regolarità". Anche con i reticolati si possono ottenere superfici lisce e continue ma non così facilmente come con i *patch*.

²⁰¹ Le curve *spline* manipolabili per mezzo di punti di controllo che giacciono sulla curva risultante oppure si trovano scostati su di essa, possono essere utilizzate per creare superfici, anch'esse controllabili attraverso punti di controllo.

²⁰² Una B-spline razionale è definita matematicamente come il rapporto di due funzioni polinomiali. Una B-spline non uniforme (NURBS – Non uniform Rational B-Spline) è una spline in cui l'influenza di una curvatura può essere variata.

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

4.1.3 Modellazione parametrico/variazionale

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

- *Modellatori espliciti*
- *Modellatori variable driven*

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

Tra gli approcci di modellazione di tipo *variable driven* è importante sottolineare l'approccio parametrico/variazionale. Nell'ambito della modellazione parametrica non esiste una netta distinzione tra *dati* e *funzioni*. Nella teoria della modellazione tradizionale, dati e funzioni costituiscono due concetti distinti. I dati sono semplici informazioni, quindi statici; una funzione è un'azione. Una funzione agisce sui dati, generalmente per creare nuovi dati. I dati vengono trasmessi in una funzione, che li elabora per produrre i dati di *output*. La funzione deve contenere "campi di inserimento" cioè i "parametri" della funzione nei quali immettere i dati numerici. Nella teoria orientata agli oggetti, non esiste una netta distinzione tra dati e funzioni, ma i dati e le relative funzioni vengono conglobati in unità definite *oggetti parametrici*²⁰³.

La modellazione parametrica è un sistema in cui gli oggetti mantengono le informazioni sulla propria geometria di base e

²⁰³ Concettualizzazione del *modo parametrico* del software 3D Studio Max, ad opera di Rob Polevoi, *3D Studio Max R3 In Depth*, The Coriols Group, Inc, 1999. Edizione italiana, Apogeo, Milano 2000.

possono essere praticamente modificati in qualsiasi punto variando i parametri che li definiscono. La modellazione solida, *parametrico/variazionale*, è stata individuata dalla comunità ingegneristica come lo strumento di modellazione che più di ogni altro consente di soddisfare i bisogni di una moderna e completa modellazione *infografica*. La variabilità dimensionale del disegno costituisce la principale caratteristica dei sistemi CAD per il disegno parametrico: l'utente può modificare il valore di parametri dimensionali (quali raggi, angoli, distanze) causando la corrispondente variazione dell'entità geometrica tridimensionale cui il parametro è riferito, inducendo inoltre la propagazione di variazioni alle entità geometriche connesse direttamente o indirettamente all'entità modificata. Tramite questo processo di propagazione delle modifiche l'intero disegno si *ri-configura* assumendo nuove forme e dimensioni. Il sistema CAD parametrico rigenera autonomamente l'intera geometria, ricostruendo un nuovo modello geometrico dimensionalmente corrispondente a quanto richiesto dall'utente.

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

4.1.4 Modellazione parametrica con i *modifier*

La modellazione parametrica richiede alti livelli di preparazione dell'utente, che oltre al comune *planning* di lavoro deve analizzare tutti i vincoli compatibili (di natura geometrico/formale) alla base del *planning* di parametricità/variazionale dell'oggetto da modellare.

Un interessante tipo di modellazione parametrica, più agevole da utilizzare, è data dalla teoria della *modellazione con i modifier*.

L'ipotesi è quella di considerare la modellazione come una "scultura flessibile" dei dati digitali 3D: si comincia con una forma semplice, magari un parallelepipedo o una sfera o un insieme di volumi solidi di base e li si modifica per mezzo di

“deformazioni topologiche parametriche” per raggiungere i gradi di complessità propri dell’oggetto finale. Questo sarà, quindi *raggiunto* in modo indiretto, operando semplicemente attraverso le deformazioni e non in modalità diretta, che comporterebbe grosse difficoltà di modellazione tridimensionale.

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

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

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

4.2 La modellazione *infografica* tridimensionale applicata agli elementi della "stereotomia digitale" (cfr. Volume II)

4.2.1 La classificazione e organizzazione degli elementi dell'architettura stereotomica

Il presente paragrafo si sviluppa in parallelo alle *elaborazioni grafiche originali* (organizzate sistematicamente nel Volume II della tesi), e descrive le operazioni di selezione e scelta degli elementi stereotomici, e i processi tecnici utilizzati nel passaggio dal trattato allo spazio digitale.

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

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

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

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

Le singole opere studiate, sono state "illustrate" per mezzo di un elaborato grafico di dimensioni standard che sintetizza le diverse forme di modellazione utilizzate nell'analisi. Fra queste la modellazione vettoriale tridimensionale risulta sicuramente la più proficua perché, oltre a permettere una o più immagini di sintesi, consente la riproducibilità fisica dell'elemento studiato.

Il Volume II, quindi raccoglie trecentoquarantasette Tavole (elaborati grafici) di quasi centocinquanta modelli tridimensionali tutti *prototipabili* (costruibili) fisicamente e usufruibili per future ricerche di diversa natura. Dell'elaborato grafico si riportano una serie di dati utili alla comprensione globale dell'oggetto studiato, tra cui: l'argomento della tavola che inquadra l'argomento, la fonte dell'elaborazione che dà le coordinate del trattato di riferimento, il tipo di modellazione e i software utilizzati valevoli per coloro che si ripropongano di ridisegnare i modelli a scopo formativo.

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

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

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

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

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

Queste sono state ulteriormente suddivise in sottoclassi in luogo della specificità geometrico/morfologica di appartenenza in:

- 1. Architravi e Piattabande:**
 - nel piano;
 - spaziali.
- 2. Volte piane:**
 - a pianta circolare;
 - a pianta quadrata;
 - *trasformazioni geometriche*: piano-cilindro-sfera.
- 3. Archi:**
 - piani;
 - obliqui;
 - spaziali.
- 4. Volte a botte:**
 - retta;
 - obliqua;
 - anulare.
- 5. Arriere-voussure:**
 - a.v. «de Montpellier»;
 - a.v. «de Marseille»;
 - a.v. «de St. Antoine».
- 6. Volte in aggetto:**
 - Trompe coniche;
 - Trompe sferiche;
 - Trompe cilindriche;
 - Trompe a sup. di rotazione;
 - Trompe a sup. rigata.
- 7. Volte a ventaglio:**
 - con intradosso decorato;
 - con intradosso liscio.
- 8. Cupole:**
 - sferiche;
 - ellittiche.
- 9. Volte Composte:**
 - a sviluppo verticale;
 - a sviluppo orizzontale.
- 10. Scale:**
 - elicoidali;
 - spaziali.

L'intento del lavoro è costituire le premesse per un ragionamento organico sull'argomento, piuttosto che creare soluzioni di continuità nella relazione processuale fra tipi. Nell'evoluzione tipologica, quindi, al concetto di piattabanda per estensione seguirà quello di volta piana che, specializzandosi, passerà dal piano alla superficie cilindrica per rifluire al concetto di *porzione seriale minima* dell'arco che, ancora per estensione monodirezionale, si trasformerà in volta a botte (berceau) che abbracciando le varie declinazioni geometriche confluirà, tramite le *penetrazioni*, nel concetto di Arriere-voussure quindi, teorizzando sulle superfici intradossali, nel concetto della trompe per passare alle volte a ventaglio, quindi agli spazi voltati e cupolati e così via, al fine di elidere l'idea di fissità connessa alla nozione di tipo.

4.2.2 Specifiche peculiarità geometrico/morfologiche degli elementi dell'architettura stereotomica

Il tema degli architravi e piattabande apre l'analisi *infografica*. L'interesse è posto nel tipo di ammorsatura dei singoli conci che conformano il sistema architravato, sia nel piano che nello spazio. Sono particolarmente degni di attenzione le soluzioni (Vol. II, Tavv. 7, 8) che presentano i giunti dei letti di contatto verticali a facciavista e i tagli convergenti all'interno del blocco.

Seguono le volte piane, per estensione geometrica *dalla linea al piano*. Facendo ruotare attorno al proprio asse di simmetria, o estraendo normalmente al proprio piano di giacitura una piattabanda, si otterranno rispettivamente una volta piana circolare e rettangolare. Volendo coprire un vano, quadrato o rettangolare, con una volta piana apparecchiata con l'identico concio, si utilizzerà il sistema di *Abeille*. Speculando su di esso attraverso la tecnica di *modellazione parametrica con i modificatori*, di cui si è già detto, si potrà utilizzare la stessa apparecchiatura per volte cilindriche e sferiche (Vol. II, Tavv. 18-25).

La tecnica della *deformazione per piegatura*, per cui da un segmento rettilineo si ottiene un arco di circonferenza, o da un piano un semicilindro, ci conduce al tema dell'arco. Esso potrebbe essere ottenuto dalla *piegatura* di una piattabanda, e qualora quest'ultima presentasse un'apparecchiatura complessa, la stessa si potrebbe facilmente ottenere su un arco o su una volta a botte. È di particolare interesse lo studio condotto sugli intradossi degli archi: conici (coni sghembi e retti) e cilindrici (retti e obliqui). Di quest'ultimi si è indagata la speciale apparecchiatura che, oltre a mostrare un virtuosismo formale, si rende particolarmente valevole per ottimizzare la statica e l'equilibrio dell'intero sistema voltato (Vol. II, Tavv. 33-43). Si è passati quindi dal piano all'analisi morfologica degli archi spaziali. Guarino Guarini ha esposto, in maniera esemplare, le possibili casistiche sul tema, dandone prova in mirabili realizzazioni (Vol. II, Tavv. 44-51). Attraverso un processo di estrusione dell'arco si ottiene una volta a botte. Lo studio si è interessato dell'approfondimento di volte decorate tramite l'uso conci seriali (Vol. II, Tavv. 60-71). La logica è stata suggerita, concettualmente, dall'invenzione di P. Delorme della volta lignea costruita con piccoli pezzi dell'identica dimensione (Vol. II, Tavv. 56-59). In luogo della geometria della *direttrice* e del *percorso* della volta si sono studiate le diverse morfologie della volta a botte (Vol. II, Tavv. 72-82).

Il tema dell'apertura di un continuo murario è stato sviluppato con le arrière-voussure ossia le volte dietro un vano che consentono le soluzioni di continuità nel muro. Tre sono le *arrière-voussure* paradigmatiche: *de St. Antoine, de Marseille e de Montpellier* (Vol. II, Tavv. 83-87). Si tratta di volte la cui superficie intradossale è determinata dall'interpolazione di quattro curve disposte nello spazio: due su piani paralleli al muro su cui creano l'apertura, due sui piani che determinano la strombatura dell'apertura. Tale superficie complessa è si giustifica dallo spazio che una finestra occupa nel suo tragitto di apertura.

L'analisi morfologica delle superfici intradossali delle volte ci conduce al tema delle volte in aggetto, e specificamente alle trompe (Vol. II, Tavv. 96-226). Di queste si è già detto nel precedente capitolo e ci si soffermerà sugli aspetti tecnico/costruttivi nel prossimo. L'interesse si focalizza sulla caratteristica apparecchiatura della volta che permette l'esrtoflèssione in aggetto di un volume lapideo.

Ancora, in luogo della qualità intradossale dello spazio voltato, si è studiato il caratteristico sistema coprente dato dalla volta a ventaglio. Il termine è letteralmente tradotto della nomenclatura francese. Tale sistema è geometricamente determinato dalla combinazione seriale di unità generate da superfici di rotazione. Nella fattispecie, la superficie intradossale della volta è data dalla rotazione, attorno ad un asse verticale, di un quarto di arco di circonferenza. Tale superficie può o meno presentare una decorazione. Se presente, lo studio ha indagato i *principi di suddivisione/scomposizione* dell'intero sistema voltato in unità minime (concio) iterate in serie polare (Vol. II, Tavv. 227-262).

Tali principi sono alla base dell'analisi condotta sugli spazi cupolati ad intradosso decorato. La geometria della decorazione della cupola della cappella d'Anet (Vol. II, Tavv. 238-245), suggerisce il progetto della cupola vetrata con struttura a costoloni elicoidali di P. Delorme (Vol. II, Tavv. 246-251). L'analisi passa alla caratteristica apparecchiatura della cupola ellittica. In questo caso l'iterazione seriale di conci "tipo" si sposta su gradi di complessità molto alti (Vol. II, Tavv. 256-260).

La complessità geometrica degli spazi voltati, data dalla composizione di elementi stereotomici di diversa natura, ha imposto la suddivisione del tema delle volte composte in due categorie: a *sviluppo verticale* e *sviluppo orizzontale*. Del primo gruppo fa parte l'importante tema degli *archi intrecciati* (Vol. II, Tavv. 261-286); nel secondo gruppo rientra il paradigmatico spazio voltato dell'hotel de ville d'Arles (Vol. II,

Tavv. 287-291). L'accento è posto sulla *qualità superficiale* degli spazi voltati.

L'ultimo tema affrontato riguarda *le scale* di natura stereotomica. Lo studio, partendo dalla paradigmatica vis de Saint-Gilles sino alle più disparate scale elicoidali, ha tentato di riunire tutti i casi particolari dentro un'unica soluzione *modellativa*. È stato in pratica individuato unico algoritmo (*Rail Revolve*) capace di restituire qualsiasi tipo di *scala a vite*. Attraverso l'utilizzo di modificatori parametrici, ad esempio la *scalatura monodirezionale*, è stato possibile, inoltre, trasformare scale ad impianto circolare in ellittico (Vol. II, Tavv. 294-336).

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

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

1. Selezione critica degli elementi architettonici di studio;
2. Individuazione dei *folia* nei trattati;
3. Correzione delle deformazioni prospettiche del *folio* connesse alle tecniche di acquisizione dati;
4. *Vettorializzazione* bidimensionale delle sezioni principali (o del *trait géométrique*) dell'elemento architettonico;
5. Individuazione delle geometrie piane *ideali* alla base del tracciamento delle sezioni;
6. Modellazione solida tridimensionale dell'elemento architettonico;
7. Esplicazione delle geometrie solide che conformano l'elemento architettonico;
8. Individuazione di un *campo di variabilità* geometrico/formale, compatibile e generalizzabile, dell'elemento architettonico;
9. Impaginazione delle immagini di sintesi;
10. Predisposizione (creazione di file STL, o progettazione CAM) dei modelli alla *prototipazione* dell'elemento;

In prima battuta si è operata una *selezione critica degli elementi architettonici* da analizzare. Il filtro della selezione si è basato sulle specifiche peculiarità geometrico/morfologiche degli elementi dell'architettura stereotomica, di cui si è sinteticamente detto nel paragrafo precedente. Fra i numerosi

esempi storici, si sono studiati "i modelli della speculazione", quelli ritenuti paradigmatici, più volte esaminati dai trattatisti di epoche diverse.

Si è proceduto, quindi all'individuazione dei folia in cui l'argomento è puntualmente esaminato. Al fine di un esame comparato, si sono ricercate le pagine dello stesso argomento su trattati diversi. In molti casi, la compresenza di un elemento architettonico, nei diversi trattati, ha assegnato il valore paradigmatico all'elemento stesso. Nei casi in cui l'elemento risulta eccezionalmente presente, in un unico trattato, si è attribuito il valore paradigmatico in luogo della ampiezza speculativa dello stesso.

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

La pagina "ritoccata" ha rappresentato la "base" di lavoro dell'operazione di vettorializzazione bidimensionale delle sezioni principali dell'elemento architettonico. Tale fase consente di trasformare i dati digitali di tipo *raster*²⁰⁴ in dati vettoriali. L'operazione, eseguita in maniera "manuale e mirata", prevede una prima individuazione di elementi di simmetria, polare o rettangolare, presenti nella composizione dell'immagine da *vettorializzare* al fine di agire su singole parti ripetibili. Di tali parti verrà scelta quella contenuta nella zone del foglio meno deformata. Si procederà quindi alla "costruzione" degli enti geometrici (linee, archi di cerchio o ellisse, ecc..) cercando, sin dall'inizio, di individuare quelle geometrie piane *ideali*, alla base del tracciamento delle

²⁰⁴ Immagine computerizzata costituita da informazione relative al colore di ogni pixel

sezioni. Un lavoro, quindi, non di sterile ricopiatura di dati, bensì di creativo e colto atto ri-progettuale.

I *luoghi geometrici*²⁰⁵ che compongono i profili, le sezioni (orizzontali e verticali) e gli impianti geometrici (centri, assi, ecc..) che strutturano l'insieme architettonico, creano le premesse per il passaggio alla modellazione solida tridimensionale dell'elemento architettonico.

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

Nel primo caso si utilizzeranno gli strumenti di *protrusione*, *booleani* e *taglio di solidi*, che consentono di costruire "oggetti" relativamente complessi, agendo sempre su geometrie solide. Con il generico termine di protrusione²⁰⁶ si indica la realizzazione di un solido (sottile o pieno) partendo da un insieme di profili disgiunti; i diversi tipi di protrusioni sono stati classificati in: lineare (estrusione di un profilo lungo una direttrice rettilinea), circolare (estrusione di rivoluzione attorno ad un asse), elicoidale (estrusione del profilo lungo una direttrice elicoidale – con particolare attenzione ai vincoli di perpendicolarità), sweep (estrusione del profilo lungo una direttrice di forma qualsiasi), loft (realizzazione di un solido da un insieme ordinato di profili disgiunti).

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

²⁰⁵ Alcune sezioni o profili, possono esser ricavati a posteriori sezionando il modello solido per mezzo di piani su cui non era possibile operare la *vettorializzazione*.

²⁰⁶ P. Aspettati, S. Buralli, G. Cascini, P. Rissone, G. Taddei, M. Toderi, *op. cit.* (cfr. nota 197)

architettonici solidi molto complessi (*arriere-voussure*, *trompe*, volte ellittiche, ecc).

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

Si è proceduto, a parametri esplicitati, all'individuazione di un campo di variabilità geometrico/formale, degli stessi, per comprendere la possibile generalizzazione formale dell'elemento architettonico. Tale modalità operativa fa riferimento ai processi di modellazione parametrico/variazionale di cui si è detto. L'interesse è quello di "manipolare" creativamente la forma, codificata storicamente, per giungere a nuove speculazioni progettuali.

I risultati delle operazioni sin qui descritte, sotto forma di icone esplicative, hanno dato luogo all'impaginazione di immagini di sintesi in tavole standard che costituiscono il Volume II della tesi. Tale operazione di sintesi, ha comportato lo studio dei processi di conversione dei diversi formati di lavoro in un unico formato di immagine di tipo *raster*.

Da modello solido di ogni elemento esaminato, oltre alla creazione di infinite immagini di sintesi è stato possibile creare la predisposizione dei modelli alla prototipazione dell'elemento. Tale operazione è stata strutturata in due fasi. In una prima fase si è creato il file di formato *stl* per la *prototipazione rapida* dell'elemento. Tale tecnica ha consentito la comprensione immediata delle problematiche morfologiche relative all'insieme geometrico del sistema architettonico.

Nella seconda fase, attraverso l'interscambio dati di formato *iges*, si sono letti i modelli di "diversa provenienza" nel software CAM. Si è proceduto alla "lavorazione virtuale" dell'elemento/concio e, a verifiche ultimate, si è predisposto il

file post-script CN per la lavorazione del concio, con macchina a CNC a 5 assi per *asportazione del truciolo*.

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

5. Tecniche costruttive stereotomiche a confronto: tradizione/innovazione, tre casi-studio

*L'affare consiste nel rendere stabili le costruzioni, il gioco sta
nel ricercare l'illusione che renda l'edificio contraddittorio
rispetto ai suoi stessi criteri di stabilità.*

Robin Evans²⁰⁷

5.1. Progettazione/Costruzione di una *trompe* di pietra con tecniche tradizionali: stage presso la *Fondation de Coubertin*, Parigi, febbraio 2003.

5.1.1. Presupposti dello *stage-trompe*

Nel mese di marzo 2003, si è presentata l'interessante occasione di poter partecipare allo stage *trompe* organizzato dalla *Fondation de Coubertin* nel quadro della formazione e perfezionamento professionale di giovani *tailleur de pierre du tour de France*.

Tale opportunità è nata dall'incontro, al *First International Congress on Construction History*, tenutosi a Madrid nel Gennaio 23-24 2003, con il *compagnon tailleur de pierre* Luc Tamborero²⁰⁸ con cui si sono confrontate vantaggiosamente metodologie e tecniche di ricerca sul comune tema della stereotomia.

L'ipotesi di poter sviluppare una proficua sperimentazione all'interno del "mondo delle *trompe*" si è subito concretata a Parigi durante un seminario teorico/pratico per gli "aspiranti" itineranti *compagnons*. L'entusiasmo nasceva dalla curiosità di far intersecare saperi e metodologie lavorative di diversa estrazione e natura all'interno di uno stesso tema di ricerca: nella fattispecie, la costruzione delle volte coniche.

Da un lato la ricerca della forma ed il suo dispiegarsi costruttivo all'interno di metodologie "costruttive" virtuali,

²⁰⁷ R. Evans, *The projective Cast*, Mit Press, 1995, p. 192.

²⁰⁸ Luc Tamborero, Saint Gilles du Gard - 1978, *compagnon tailleur de pierre*, chiamato la *perseverance d'Arles* per la realizzazione della maquette di una parte della volta dell'Hotel de Ville di Arles (cfr. Vol. II, Tavv. 287-281, - lavoro di accettazione presso l'Association).

dall'altro la spinta, alla ricerca del virtuosismo costruttivo, scisso o comunque secondario alla riflessione sull'esito formale dell'opera. Le regole del costruire stereotomico proprie di una tradizione centenaria, sapientemente tramandate sul luogo dell'opera, si sono trovate, quindi, a fare i conti con un altrettanto "costruttivo" luogo di lavoro: la modellazione *infografica* tridimensionale. Lo scopo dello stage è stato quello di poter valutare comparativamente le due tecniche di lavoro, tradizionale/innovativa, al fine di tracciare una riflessione critica sui punti di forza e debolezza di entrambe.

Nella presente trattazione si cercherà di descrivere l'intera esperienza in maniera sincronica, dalla scelta dell'elemento architettonico, alla sua "manipolazione" informatica, al tracciamento manuale in scala, alla suddivisione in parti e loro realizzazione, al montaggio dell'opera e alla sua messa in carico.

Il ruolo di chi scrive, all'interno del seminario, è stato quello di *animateur dans le cadre de la recherche sur la stéréotomie CAO/DAO* (coordinatore, nell'ambito della ricerca sulla stereotomia, di Progettazione Assistita Informatica /Disegno Assistito Informatico). Ciò ha permesso di rivestire una mansione-chiave e "soft" all'interno di un mondo, ancora maldisposto ai processi di "ammodernamento" delle tecniche costruttive, e fatto di sottili regole gerarchiche di stampo massonico. Un delicato ruolo di guida e riferimento per il giovane scalpellino, chiamato a tagliare il blocco di pietra, tramite le informazioni geometriche impartitegli, assolutamente non ambigue, e direttamente finalizzate all'esecuzione dell'opera.

La convinzione di poter apprendere molto, dallo stretto contatto con la realizzazione del manufatto e con i suoi artefici esecutivi, è stato il motivo principale che ha mosso la mia indagine a riflessioni più ampie sulla possibilità di una miglior comprensione della stereotomia, sia come disciplina che regola la prefigurazione progettuale, sia come sicuro tramite per la realizzazione dell'opera.

I giovani itineranti, di età compresa tra i venti e i ventisei anni, tutti di formazione scolastica media, attraverso il continuo esercizio pratico della costruzione di elementi stereotomici dalle più svariate complessità geometriche e di taglio della pietra, si sono, infatti, dimostrati capaci di gestire mentalmente e praticamente i *luoghi geometrici* più astrusi, delineandone criticamente ogni problematica.

5.1.2. La *Fondation de Coubertin*, Saint-Rémy-lès-Chevreuse, Parigi

La *Fondation de Coubertin* nasce dall'incontro di due forti personalità: quella di Jean Bernard, rinnovatore del *Compagnonnage de Tour de France*, e di Yvonne de Coubertin erede del demanio omonimo in Saint-Rémy-lès-Chevreuse. Yvonne de Coubertin nasce il 29 Agosto 1893, figlia del barone Paul de Coubertin, uomo colto, appassionato d'arte e di teatro, e nipote di Pierre de Coubertin, l'iniziatore dei Giochi Olimpici moderni.

Jean Bernard, nasce nel 1908, è il nipote di un *tailleur de pierre* e figlio di uno scultore Joseph Bernard che ridarà onore alla scultura detta "en taille directe".

Riceve *le Grand Prix des Métiers d'Art* nel 1983. E' sotto il suo impulso, fondando l'Associazione operaia dei *Compagnons du Devoir* che presiederà fino al 1969, che il *Compagnonnage du Devoir*²⁰⁹, riforma il suo *Tour de France* e intraprende lo studio dei suoi riti e del loro simbolismo, oltre alla riflessione sul suo ruolo sociale. Grazie a Jean Bernard parte il grande progetto dell'Enciclopedia dei mestieri la cui redazione persegue tutt'oggi. Egli muore il 12 maggio 1994.

²⁰⁹ Per notizie sull'Association ouvrière des Compagnons du Devoir du Tour de France si consulti il sito ufficiale www.compagnons-du-devoir.com; per le attività di ricerca sulla lavorazione della pietra si consulti il sito ufficiale dell'Institut supérieur de recherche et de formation aux métiers de la pierre www.institut-de-le-pierre.com. Per approfondimenti sulla stereotomia ad opera dei compagnons: *Encyclopédie des métiers, La maçonnerie et la taille de pierre*. Per gli studi sociali: Assegond, Christele, *Socialisation du savoir, socialisation regard et d'usages techniques et sociaux de la géométrie et de la stéréotomie chez les Compagnons tailleur de pierre*. Tesi di sociologia, Université François Rabelais, Tours, 2002.

La Fondazione è stata creata per trasmettere ai giovani: *"une tradition de valeurs morales et spirituelles pour qu'ils la perpétuent dans le milieu qui est le leur, et qui aujourd'hui est appelé à prendre une place prépondérante, celui du travail"*²¹⁰. (una tradizione di valori morali e spirituali affinché - i giovani - la perpetuino nel loro ambiente, e che oggi è chiamata a prendere un posto preponderante, quello del lavoro). Nel quadro della formazione professionale, la Fondazione accoglie e organizza gli stage di formazione e perfezionamento per giovani *operai*. L'originalità della Fondazione proviene soprattutto dai suoi *ateliers de maîtrise: les Ateliers Saint-Jacques et la Fonderie de Coubertin*. Lo scopo degli atelier è quello di permettere la conservazione delle tecniche e del saper fare, perseguendo la ricerca d'innovazione tecnologica all'interno dei mestieri tradizionali. Veri laboratori di ricerca, essi rimettono costantemente in causa le tecniche utilizzate riversando il profitto delle ricerche in tutti gli ambiti lavorativi a queste collegati.

5.1.3. Articolazione e sviluppo dello stage: il progetto esecutivo della *trompe*

Lo stage si è svolto in tre settimane dal 10 al 30 febbraio 2003. L'articolazione del lavoro ha visto alternarsi tre momenti cardine, di cui il primo storico/teorico, il secondo teorico/applicato il terzo finalizzato alla realizzazione dell'opera. L'obiettivo è stato quello di concentrare in tempi relativamente brevi e serrati il massimo degli apporti teorico/pratici sul tema delle volte coniche, cercando di toccare con mano tutti i punti critici sottesi a tali elementi architettonici.

A tal fine si è ipotizzata sin dall'inizio la volontà di progettare e realizzare un complesso "oggetto" architettonico, sia dal punto di vista geometrico che costruttivo.

La scelta dell'elemento architettonico è stata fatta da Luc Tamboréro, *maître de stage*, previa una selezione analitica

²¹⁰ Articolo 1 dello Statuto.

di alcune trompe, dal trattato di De La Rue, decidendo nella fattispecie di apportare qualche leggera variazione, alle *trompe* presentata dall'autore nelle *planche* 37 e 38 (Vol. II, Tav. 156).

Trattasi di una *trompe biaise en talus rampante dans un encoignure surbiaise*, ovvero di una *trompe* obliqua sul piano orizzontale di proiezione ortogonale, in un muro a scarpa, rampante sul piano ortogonale al precedente, in un angolo rientrante e ribassata (l'arco sul piano verticale è ribassato). Più semplicemente: per la definizione geometrica intradossale-estradosale della volta si tratta di superfici coniche sghembe tagliate da piani non ortogonali.

Fatta la scelta dell'elemento architettonico, si è passati al ridisegno in scala reale in proiezione ortogonale (Vol. II, Tav. 160).

È utile sottolineare che, la genesi geometrica di tali superfici, all'interno della conoscenza teorica dello scalpello, non nasce da una visione precostituita dell'oggetto da realizzare (anche se quest'ultima viene formarsi presto) ma dal fissarsi processuale di curve direttrici già in proiezione ortogonale. Nella fattispecie, il riferimento costante in tutte le operazioni di disegno manuale della *trompe* è la doppia proiezione ortogonale in pianta e alzato. Quindi, come è facile intuire, la spazialità dell'oggetto architettonico, indi la sua natura estetico/plastica è fortemente condizionata da scelte fatte su curve piane che giacciono su piani.

Ancora, è lecito ipotizzare che, nel metodo tradizionale (disegno a mano) di genesi della forma, il risultato è la conseguenza e non il fine di una operazione creativa. Ne dà prova di ciò, ad esempio, il fatto che nel disegno ortografico della nostra *trompe*, la ghiera che nello spazio è contenuta all'interno di archi di ellisse, è stata aprioristicamente disegnata nella deformazione proiettiva in archi di cerchio. Il processo di genesi della forma, nelle tecniche stereotomiche della tradizione, per la necessità del passaggio alla bidimensionalità, molto spesso ci costringe ad accettare risultati finali non cercati ma ottenuti!.

Si è allora, in prima istanza fissato, in vista ortografica, l'arco di cerchio alla base della definizione dei conci di testa della volta conica; si è quindi optata la suddivisione in conci dell'arco; si è scelto di far traslare il vertice del cono sulla verticale passante per il centro dell'arco ad una altezza tale da rendere ribassato l'arco; da tale vertice si è condotto il piano inclinato (piano di imposta della *trompe*) perpendicolare al piano ortogonale che ha reso la *trompe* rampante; ancora dal vertice del cono si è determinata la dimensione del *trompillon* (elemento lapideo monolitico che conforma il vertice della *trompe* e accoglie i conci della stessa).

Si è quindi passati alla definizione *icnografica* dell'elemento architettonico; in corrispondenza proiettiva si è determinato l'angolo e le dimensioni del muro rientrante a sostegno della *trompe*. Considerando l'identica pendenza del muro a scarpa e l'obliquità in pianta del cono, si è ricavata quindi la proiezione in pianta della ghiera della *trompe*. Con tali elementi coerenti ma "deformati-proiettivamente", attraverso una serie lunga e meccanica di ribaltamenti, si sono determinate le reali dimensioni dei conci costituenti la *trompe*, al fine della creazione dei *panneaux* (sagome corrispondenti alle superfici reali che avvolgono il concio) di ogni concio.

Nel metodo tradizionale, tale operazione, nella pratica corrisponde al disegno in scala 1:1 della doppia proiezione ortogonale e successivi ribaltamenti, su di un piano in legno abbastanza ampio da contenere l'intero sviluppo del disegno. Per la creazione dei *panneaux*, vuol dire quindi, ricalcare su carta trasparente, a disegno completo, tutte le facce di involuppo precedentemente ricavate. Tale operazione presuppone una precisione molto alta e una perizia del tratto estrema. La possibilità dell'errore è grande e la somma mutua degli errori può inficiare in maniera determinante la riuscita dell'opera. La sovrapposizione delle linee, nelle operazioni di ribaltamento sul piano delle linee spaziali, è tale da confondere molto facilmente i diversi singoli tratti di assi e segmenti.

Al fine di condurre la sperimentazione a buon termine nella esecuzione dei *panneaux*, si è modellata, ad opera di chi scrive, la *trompe* in ambiente CAD partendo dalle stesse definizioni geometriche dimensionali del disegno manuale. Ciò ha consentito di trarre una puntuale analisi critica sui due metodi, sottolineandone i punti deboli e di forza.

Oltre all'enorme differenza di tempo per l'esecuzione dei due metodi di disegno, la differenza che segna sostanzialmente il passo è concettuale, in ragione della tridimensionalità operativa del CAD. In sostanza l'operatore CAD percorre a priori le fasi di taglio della *trompe* nello spazio virtuale le cui regole possono presupporre operazioni sincroniche e compenetrazione di masse volumetriche. Questo agevola tutto il processo, pieno di ripetizioni meccaniche nel caso della tecnica tradizionale, avendo sempre presente il modello solido-unitario alla base di tutte le possibili operazioni.

Il modello *infografico* solido dell'elemento architettonico, raggiunta la completezza di informazioni morfologiche, può a tutti gli effetti rappresentare la sintesi compiuta della comprensione del problema stereotomico. Da tale modello, infatti, si possono ricavare separatamente tutti i grafici (quali elementi derivati) a servizio delle successive fasi di costruzione dell'opera (Vol. II, Tavv. 157-158).

La tecnica di taglio dei conci utilizzata nella realizzazione della *trompe* è chiamata: *methode beveaux*²¹¹/*par panneaux* – *fausse equerre* (metodo con squadra regolabile – *beveaux*, per pannelli o cartoni – e falso squadra). Tale tecnica di taglio rientra nei metodi di taglio tradizionali tra cui ricordiamo i più antichi metodi di origine medievale: *par équarissement*, o *par dérobement* (per squadratura o per scontornatura).

La tecnica di taglio utilizzata, che d'ora in poi chiameremo semplicemente *par beveaux*, consente di ricavare, da un blocco lapideo con almeno una faccia piana, qualsiasi conformazione geometrica del concio. Questo, a condizione di possedere da calcolo proiettivo il numero opportuno di

²¹¹ Dal latino *bivium*, bivio, strada biforcata.

panneaux (o cartoni) delle facce dei conci, e gli angoli mutui tra facce adiacenti, calcolati sulle rette perpendicolari agli spigoli a queste appartenenti (Vol. II, Tav. 162).

Analizzando in dettaglio la tecnica, se immaginiamo un qualsiasi concio-tipo, isolato dall'insieme/trompe, di questo si ricavano le tre facce (cartoni sviluppati sul piano) costituenti il diedro intradosso/testa/letto, e gli angoli tra i piani delle facce presi sul piano delle rette appartenenti a tali facce e perpendicolari agli spigoli di facce consecutive. Con tali elementi è possibile il trasferimento dal disegno al blocco lapideo senza ambiguità o incertezza. Gli elementi, facce e angoli, regolano processualmente il meccanismo di taglio e ne assicurano il controllo dell'esatta corrispondenza tra elaborato grafico e blocco realizzato.

Per la determinazione dei cartoni nel disegno tradizionale, partendo dalla definizione dell'elemento in doppia proiezione ortogonale, si opera il ribaltamento sul piano di ogni faccia del concio considerato in maniera da ottenere la reale dimensione della stessa. Tali facce vengono quindi ricalcate su carta trasparente e sono pronte per l'uso. In ambiente CAD tale operazione può programmarsì attraverso una verticalizzazione di operazioni/routine, in maniera da ottenere agevolmente tutte le facce dei singoli conci: ordinate, numerate, quotate e pronte per la stampa in scala reale.

Il due metodi (tradizionale-manuale e CAD) per ottenere i cartoni, non differiscono molto dal punto di vista teorico: il primo opera più difficilmente sulle tracce proiettive per i ribaltamenti, il secondo più "consapevolmente" sugli enti spaziali, con maggiore o minore automazione della routine (Vol. II, Tav. 157).

Di contro, il metodo per l'ottenimento degli angoli nei due metodi è molto diverso: il metodo informatico opera ancora in maniera diretta sul modello tridimensionale, il metodo tradizionale utilizza una tecnica multiproiettiva sul piano. Tale metodo è ben riportato da J. Adhémar nel *Cours de Mathématiques a l'usage de l'ingénieur civil, applications de Géométrie Descriptive. Coupe des pierres, Paris, 1858*. Esso

consiste nel disegnare il diedro sviluppato sul piano e operare una serie di operazioni proiettive che consentano di ottenere gli angoli cercati (Vol. II, Tav. 158, in basso). Esecutivamente si opera nel seguente modo: si compongono sul piano i tre cartoni, ottenuti in precedenza, facendoli coincidere nel vertice e negli spigoli, uno di essi si troverà nello sviluppo sul piano disegnato due volte pur essendo lo stesso spigolo; su una delle due tracce dello spigolo coincidente si sceglie un punto qualsiasi che viene riportato sulla seconda traccia usando il compasso puntato sul vertice ed il punto scelto. Da questi due punti (coincidenti nel diedro) si disegnano due segmenti perpendicolari alle due tracce che intersecando gli allungamenti degli altri due spigoli del diedro individuano due punti su cui puntare il compasso rispettivamente con apertura presa sui due punti ricavati inizialmente. L'intersezione dei due archi determina il punto che unito con i due punti ricavati dall'intersezione delle perpendicolari agli spigoli coincidenti e agli allungamenti degli altri due spigoli, individuano l'angolo cercato. Esattamente l'angolo crea le perpendicolari allo spigolo rappresentato dalle due tracce. Bisogna sottolineare che tra gli infiniti angoli calcolabili tra due facce, si sceglie quello tra le rette perpendicolare agli spigoli perché tale vincolo ci permette, senza esitazione, di ricondurlo sul blocco lapideo, a spigolo e perpendicolare disegnati (Vol. II, Tav. 162).

Il metodo tradizionale, nella gravosa ripetizione del disegno, restituisce l'angolo "geometrico"; il metodo informatico quello "numerico" (tramite l'elaborazione di tabelle ordinate) che, verrà riportato in cantiere, per mezzo di un semplice goniometro su di un *beveau*, ovvero su di una sagoma che consente di restituire gli angoli.

La *trompe*, in qualità di "oggetto paradigmatico", rappresenta un importante momento dimostrativo della capacità teorico/pratica del *compagnon tailleur de pierre*. Nella sua progettazione e realizzazione sono contenuti gran parte dei saperi di cui il giovane aspirante deve prendere piena

consapevolezza e competenza tecnica. Quest'ultima segue, al pari di altri saperi, una evoluzione costante che mediata con la conoscenza storica è costantemente tesa all'aggiornamento della propria "portata" tecnica. L'aggiornamento disciplinare, dovuto all'avvento dell'informatica, ha colto in pieno le aspettative di chi fa, di un mestiere fortemente legato alla tradizione, il proprio *modus vivendi*.

Il "*compagnonnage*" lavora attualmente ad una continua ricerca di ammodernamento critico del proprio sapere teorico/applicato, con una grande attenzione ed apertura verso chi, parallelamente, in altri ambiti e competenze di ricerca, lavora nella stessa direzione.

In questa ottica si è creata, all'interno dello stage, un interessante scambio di conoscenze finalizzato alla sperimentazione/dimostrazione di "soluzioni stereotomiche".

L'idea, a tal fine, è stata quella di realizzare una incisione in altorilievo del blasone dell'*Ateliers Saint Jacques* nell'intradosso della volta conica della trompe. Il blasone è rappresentato dalla famosa conchiglia di San Giacomo. Tale incisione, al fine di un corretto inserimento sulla superficie conica intradossale della volta, è stata progettata per mezzo di un processo proiettivo in anamorfosi, per cui, ad una percezione visiva da un qualsiasi punto dello spazio, escludendo quello perfettamente frontale, corrisponde un apparato scultoreo in deformazione. L'altro punto di forte interesse è stato quello di dimostrare l'opportunità di lavorazione della scultura su porzioni intradossali distinte dei singoli conci che, a montaggio della volta ne restituiscono l'intero apparato.

In sintesi, attraverso la modellazione *infografica* tridimensionale, è stato possibile spingere l'indagine su di un campo speculativo più alto:

- la determinazione geometrica *anamorfotica* di una immagine e la sua realizzazione;
- la scomposizione/composizione di un apparato scultoreo in altorilievo e la verifica di compatibilità del processo lavorativo.

La determinazione geometrica in anamorfosi della conchiglia è stata ottenuta mediante il processo di proiezione cilindrica sull'intradosso della volta, del profilo indeformato della stessa (conchiglia) appartenente ad un piano perpendicolare all'asse della superficie conica della volta (Vol. II, Tav. 159). Tale proiezione con centro improprio può essere vista come l'intersezione del *cilindroide* con base il profilo della conchiglia con la superficie conica intradossale della *trompe*. La curva spaziale, risultato della intersezione, appartiene alla superficie conica che quindi in luogo della sua *svilupparabilità* può essere ricondotta sul piano e può essere misurata nelle sue reali dimensioni. Ciò permette di poter riportare, sui cartoni intradossali dei conci della volta, le opportune porzioni del rilievo della conchiglia senza possibilità di errore.

5.1.4. Articolazione e sviluppo dello stage: la costruzione e il montaggio della *trompe*

Prima di passare alla fase di realizzazione dell'elemento architettonico si sono predisposti tutti quegli elementi che concorrono in maniera organica alla costruzione dell'opera, nell'ordine:

1. cartoni intradossali dei singoli conci della volta riportanti la geometria dell'altorilievo,
2. cartoni di tutti i letti di contatto dei conci della volta,
3. cartoni di tutti i conci di testa della ghiera della volta,
4. tabella numerica o geometrica di tutti gli angoli calcolati sulle perpendicolari agli spigoli dei diedri costruiti sui tre cartoni per concio,
5. dime per l'esecuzione della reale curvatura dell'intradosso della volta,
6. cartoni di sviluppo delle superfici cilindriche e coniche costituenti il *trompillon*.

Il *trompillon*, ovvero il concio situato al vertice della volta, non risponde a compiti di natura statico/strutturale bensì a

quelli costruttivi, esso serve ad accogliere la parte terminale (angoli molto acuti) dei singoli conci che in sua assenza, sarebbero troppo fragili e deboli *in punta* con seri problemi di rottura.

Esso è un semicilindro che presenta alla base superfici coniche di raccordo con la superficie della *trompe* (Vol. II, Tav. 164). Delle due superfici coniche di raccordo, una (interna alla volta) serve per evitare lo scorrimento sul piano e quindi la fuoriuscita dello stesso dal sistema, l'altra (esterna) serve per conformare l'apice del cono e segnarne il vertice. Tutte le superfici che concorrono alla determinazione di tale elemento sono sviluppabili e quindi apprezzabili nelle reali dimensioni su opportuni cartoni.

Lo scalpellino è ora in grado di cominciare il taglio dei blocchi. Le fasi ordinate nella tecnica di taglio *methode beveaux/par panneaux – fauste equerre* consistono in:

1. Scelta della pietra in base alla compatibilità di lavorazione (Vol. II, Tav. 161);
2. Determinazione dei blocchi grezzi in grado di contenere il concio finito (Vol. II, Tav. 161);
3. Realizzazione, sul blocco grezzo, di almeno una superficie piana di partenza per il taglio (Vol. II, Tav. 162);
4. Applicazione, sulla superficie piana del blocco del cartone intradossale del concio (qualunque concio) (Vol. II, Tav. 162);
5. Riporto dei contorni del cartone e scelta dello spigolo relativo alla faccia da tagliare (Vol. II, Tav. 162);
6. Tracciamento su tale spigolo di un segmento perpendicolare quale guida per l'applicazione del *beveaux* (l'angolo da calcolo tra le due facce contigue serve per la determinazione dell'angolo supplementare di guida per il taglio) (Vol. II, Tav. 162);
7. Predisposizione del *beveaux*, con angolo supplementare, in corrispondenza della traccia

- perpendicolare allo spigolo e perpendicolare alla faccia piana del blocco (Vol. II, Tav. 162);
8. Taglio con disco (o sega,...) della faccia contigua del concio (ad es. testa del concio) seguendo l'angolo fissato dal *beveaux* (Vol. II, Tav. 162);
 9. Applicazione del cartone di testa del concio sulla faccia piana ricavata, e tracciamento degli spigoli del cartone (Vol. II, Tav. 163);
 10. Determinazione delle perpendicolari sui due spigoli comuni all'individuazione della terza faccia di chiusura del diedro (cartone del letto del concio) (Vol. II, Tav. 163);
 11. Taglio dei due letti del concio con la stessa tecnica;
 12. Finitura della curvatura intradossale del concio per mezzo della dima sagomata (Vol. II, Tav. 163);
 13. Determinazione delle intersezioni del concio con il *trompillon* (Vol. II, Tav. 163);
 14. Realizzazione della scultura in altorilievo (scelta a priori dell'altezza totale dell'altorilievo da sommare allo spessore di calcolo del concio finito) seguendo i contorni della sagoma riportati sull'apposito cartone (Vol. II, Tav. 165);
 15. Predisposizione ordinata di tutti i conci al fine del montaggio.

Il processo diacronico delle predette fasi consente la realizzazione di tutti i conci della volta da montarsi su una opportuna centina che restituisce la geometria intradossale della *trompe*.

Nella fattispecie, al fine del montaggio del manufatto, è stata realizzata una base d'appoggio in pietra dura dello spessore di tre centimetri su cui è stata riportata l'incisione del nome della speciale tipologia di *trompe* realizzata (Vol. II, Tav. 166). Su questa è stata innalzato il piano d'imposta della volta e quindi i conci della stessa, fino alla chiusura del sistema con la giusta disposizione della chiave di volta (Vol.

II, Tav. 167). Il sistema è entrato in carico a centina e sostegni eliminati.

La particolare pendenza del piano d'imposta della volta ha subito mostrato l'inesatta previsione d'equilibrio statico, infatti il concio più basso della volta è fortemente caricato e tende a scorrere sul piano inclinato.

La resa *anamorfotica* è stata verificata, infatti, nell'esatto punto di calcolo proiettivo, la conchiglia viene restituita nelle reali proporzioni, di contro osservandola dal basso e a distanza ravvicinata essa viene percepita nella sua reale deformazione (Vol. II, Tav. 168).

La pietra scelta per l'altorilievo, molto tenera e facilmente lavorabile, ha consentito di apprezzare le difficoltà inerenti alle lavorazioni scultoree di alta precisione. Il risultato raggiunto è stato notevole nella capacità di condurre a dimostrazione compiuta le ipotesi di esattezza progettuale e precisione esecutiva (Vol. II, Tav. 169).

5.2. Ri-progettazione *infografica* e prototipazione CAD/CAM con macchina a CNC della *trompe* sud de l'hôtel Bullioud a Lione: risultati delle elaborazioni svolte presso il laboratorio CAD/CAM del Politecnico di Bari

5.2.1. Processo di modellazione CAD/CAM e prototipazione della *trompe*

L'analisi che segue rappresenta un approfondimento sperimentale della tesi, relativo alle analogie teorico/pratiche tra il ruolo del tradizionale *trait géométrique* e gli odierni metodi di modellazione/realizzazione "informatizzati".

Questa parte della trattazione, così organizzata per rispondere all'esposizione ordinata dei tre casi studio, deve essere letta in continuità con quanto già detto nel capitolo terzo, dedicato a *Philibert de l'Orme e la codifica rinascimentale dell'art du trait géométrique*. In particolare come appendice dimostrativa dello studio su: P. de l'Orme e l'invenzione del *trait géométrique* nel cantiere *de la galerie de l'hôtel Bullioud* a Lione (Cfr. Vol. I, Cap. 3).

Fatta questa premessa, entriamo nel vivo dell'argomento comparando frammenti del testo di de l'Orme sulla *trompe d'Anet* con le ipotesi della nostra indagine sulla *trompe* di Lione.

Nella puntuale descrizione dei processi costruttivi della *trompe d'Anet*, Philibert de l'Orme²¹² riporta:

Sur ladicte ligne BF, vous faictes vn arc rempant comme vous le voiez figuré de fept pieces reprefentées par autant de nombres. Tutefois vous pourrez faire ledict arc d'autant de pieces que vous voudrez, car plus il y en aura, plus la voute de la trompe fera forte, & beaucoup plus ayfé à adoucir le traict.

²¹² P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. III, f. 92v.

***Sulla linea BF farete un arco rampante, come lo vedete
raffigurato, formato da sette pezzi identificati con numeri.
Tuttavia voi potrete fare l'arco di quanti pezzi vorrete, perché
più numerosi saranno più la volta della trompe sarà
resistente e più ne sarà addolcito l'andamento.***

Il metodo proposto da de l'Orme, per la costruzione della *trompe*, presuppone la discretizzazione (*..fare l'arco di quanti pezzi vorrete..*) della superficie conica intradossale della volta "sospesa nell'aria". Tale condizione, che trova una spiegazione logica nel processo di semplificazione delle fasi costruttive (costruzione della *doyle platte*), è chiaramente denunciata dall'autore: *più numerosi saranno più la volta della trompe sarà resistente e più ne sarà addolcito l'andamento*. Al tracciamento della sezione verticale (della *trompe d'Anet*. cfr. Cap. III, p....), ossia dell'arco rampante, quale combinazione di luoghi geometrici (ovale costituito da archi di cerchio), segue una fase involutiva dal punto di vista teorico del procedimento: il passaggio dal continuo al discreto (nella realizzazione, appunto, si segmentano le curve). Tale sezione viene suddivisa in un numero finito opportuno di punti con la conseguenza che la "dolcezza" della superficie intradossale della volta risulta direttamente proporzionale alla quantità dei punti. Anche la resistenza statica della volta aumenta, all'aumentare della suddivisione in conci della sezione stessa (al diminuire della loro dimensione) per una ovvia maggior "resistenza propria" (a compressione e trazione) del concio di minore dimensione.

Per la particolare esperienza di modellazione *infografica* della *trompe* di Lione, si è risaliti in primo luogo alla regola geometrica dedotta dal *trait géométrique* della *trompe d'Anet*, come si è in precedenza ampiamente detto (cfr. Cap. III, p...) e quindi processualmente alla modellazione in ambiente CAD (Vol. II, Tavv. 122-129).

Come abbiamo avuto modo di osservare nel capitolo precedente, possiamo distinguere, in ambiente informatico

due modalità teorico/pratiche distinte: *discreta* e *continua* (mesh o poligonale e nurbs. Cfr. cap. 4).

La prima rappresenta la geometria della *trompe* attraverso una suddivisione in facce triangolari della superficie conica; la seconda senza soluzioni di continuità superficiale della volta (Vol. II, Tav. 130, in alto a sin.). Ancora: la prima approssima il luogo geometrico della seconda.

Nell'esecuzione manuale dei conci della *trompe*, si segue il metodo discreto per la determinazione della reale lunghezza dei conci, riconquistando la continuità intradossale della volta attraverso l'utilizzo di modani e altri strumenti di controllo della curvatura, come un speciale tipo di *biveaux* (da un lato curvo e dall'altro rettilineo).

In ambiente informatico è possibile e agevole operare in entrambi i modi, tentando gli opportuni confronti critici al fine di stabilire quali siano i limiti estetici di tolleranza, connessi al processo di discretizzazione, in facce triangolari, di una superficie curva.

In ogni caso il CAD tridimensionale consente di definire, senza ambiguità, il modello geometrico che è alla base di tutte le attività successive per la prototipazione della *trompe* (Vol. II, Tav. 130).

Per la realizzazione del prototipo della *trompe* sud con tecniche CAD/CAM e macchina a CNC si è operato in *modalità discreta* in maniera da aderire al metodo *delormiano*, al fine di verificarne direttamente la qualità estetica dell'elemento.

Si è, quindi, passati dal modello discretizzato della superficie conica intradossale/estradosale alla suddivisione in conci lavorabili della *trompe* (Vol. II, Tav. 131).

Operando con differenti modellatori *infografici* risulta possibile, tramite formati di esportazione dati (per es. IGES=Initial Graphics Exchange Specification), importare nel software Mastercam (la soluzione CAD/CAM da noi adottata), la conformazione geometrica tridimensionale dell'elemento e procedere quindi in tutti i successivi passaggi.

Primo fra tutti il ridimensionamento e posizionamento dei conci sul piano/macchina.

Il ridimensionamento proporzionale della *trompe* è stato eseguito considerando la massima dimensione realizzabile in rapporto ai limiti di lavorazione della macchina a CNC utilizzata: EASY 11 TU²¹³ a 5 assi. In base a tale considerazione il rapporto di scala ottimale è risultato 1:4,7.

Il prototipo risulta, quindi, essere quasi cinque volte più piccolo dell'originale con le conseguenze che anche la scelta del materiale²¹⁴ per la prototipazione ha dovuto seguire tale riduzione di scala, per non inficiare le verifiche estetico/qualitative.

In fase di progettazione CAM, nella fattispecie, risulta importante il problema del fissaggio sul piano macchina del materiale grezzo da lavorare. In questo contesto assume particolare rilevanza il *sottopezzo*, ossia l'elemento, interposto tra il piano macchina e il blocco di materiale da lavorare chiamato al bloccaggio di entrambi (Vol. II, Tav. 132). Il sottopezzo può assumere conformazioni geometriche molto complesse, nel caso in cui l'elemento da prototipare non presenti alcuna faccia piana di appoggio.

⁵ La macchina a CNC fa parte della strumentazione del Dipartimento ICAR del Politecnico di Bari – Laboratorio CAD/CAM.

Essa è il tipo: EASY 11 (E=struttura aperta a tavola mobile inclinata 30°, I=tavola singola, 1=unità operatrice con elettromandrino singolo).

È una macchina a controllo numerico per la lavorazione di particolari termoformati o in materiale composito.

Movimenti:

Il movimento longitudinale (asse X) è effettuato dalla tavola mobile che scorre su una doppia guida posta sul basamento.

Il movimento trasversale (asse Y) e verticale (asse Z) sono realizzati da due carri ortogonali sovrapposti che scorrono sul ponte fisso.

Piano di lavoro:

Il piano di lavoro è costituito da una tavola in alluminio con inserti filettati in acciaio per il posizionamento e bloccaggio delle attrezzature di lavorazione.

Caratteristiche di lavoro:

corsa asse X= 1000mm

corsa asse Y= 1200mm

corsa asse Z= 650mm

corsa asse C= 450°

corsa asse B= +/-160°

velocità massima=24000 giri/min

⁶ Per la galleria Bullioud, Philibert sceglie una pietra locale, calcare oolitico conosciuta sotto il nome di pietra di Lucenay. Le cave situate ad una ventina di chilometri da Lione sono state da sempre utilizzate per la costruzione di edifici raffinati, la grana fine della pietra si presta a lavori di scultura e modanature eleganti. Il materiale scelto da noi per la prototipazione è stato il polistirolo di densità di 30kg/mc.

In tale ottica, si potrebbe leggere un qualsiasi concio della *trompe*, modellata sia in *modalità continua* che *discreta*, come segue: superfici intradossale/estradosale coniche in *modalità continua*, piane in *modalità discreta*, superfici di testa del concio cilindriche in entrambe le modalità, letti di contatto dei giunti piani in entrambe le modalità (Vol. II, Tav. 131, in basso). Da quanto detto risulta evidente che, lavorare in *modalità continua*, comporta un più complesso studio del sottopezzo, conformato in superficie conica, nella parte superiore che serve per l'appoggio del concio (Vol. II, Tav. 132, in alto a sin.).

Operando in *modalità discreta* le superfici intradossale/estradosale della volta si riducono a facce piane (sufficientemente ampie per garantire un idoneo ancoraggio al piano macchina) direttamente posizionabili su di un semplice sottopezzo di forma parallelepipedica (Vol. II, Tav. 132, in alto a sin.). Nella fattispecie, al fine della ottimizzazione del processo (di realizzazione dei singoli conci), è stato progettato un sottopezzo "flessibile" di dimensioni 76,75X27X5 cm, per consentire l'ancoraggio di tutti i 17 conci della *trompe* di dimensione (la lunghezza in questo caso) $32,43\text{cm} < l < 60,86$.

Il sottopezzo è realizzato con opportune canalizzazioni al suo interno, che permettono la creazione del vuoto pneumatico. Il metodo di bloccaggio mediante pompa del vuoto risulta essere il più flessibile poiché consente l'utilizzo di grezzi di varie dimensioni purché aventi almeno una faccia d'appoggio piana. Per tale motivo, all'interno dello spessore del sottopezzi di legno sono state create delle canalizzazioni a tenuta stagna per la creazione del vuoto (Vol. II, Tav. 132, in basso a sin.).

Si è proceduto, quindi, alla scelta degli utensili²¹⁵ adeguati ai vari parametri richiesti dal programma (Mastercam), in base

²¹⁵ Tipologie di utensili:

- Fresa per forma (contornatura e incisione)
- Cilindrica (lavorazioni sul lato del tagliente)
- Sferiche (lavorazioni sul lato e di testa del tagliente)

Le frese per forma vengono utilizzate generalmente in fase di finitura e nell'esecuzione di contornature e incisioni.

a: natura geometrica dell'"oggetto", tipo di lavorazione, materiale utilizzato, velocità di avanzamento e rotazione della fresa, e così via. Il tipo di lavorazione, nella fattispecie, è riassumibile in tre fasi:

1. Spianatura del blocco grezzo a 3 assi per conseguire lo spessore del concio (Vol. II, Tav. 132, in alto a des.);
2. Lavorazione 5 assi per le superfici cilindriche di testa del concio (Vol. II, Tav. 132, al centro a des.);
3. Rotazione del versore per lavorazione dei letti di contatto dei conci e lavorazione per contornatura con lato fresa cilindrica (Vol. II, Tav. 132, in basso a des.).

Effettuate tutte le parametrizzazioni CAM si è elaborato il file *postprocessato* CN direttamente leggibile dal controller della macchina Easy 11 TU a 5 assi utilizzata per la lavorazione.

Ogni concio è stato lavorato alla velocità di circa 20' l'uno: 15' di montaggio del grezzo e 5' di asportazione del truciolo. L'insieme dei conci è stato montato, sul *trait géométrique* riportato su di un supporto di forex (come piano d'imposta orizzontale della volta), restituendo fisicamente la qualità spaziale del sistema voltato (Vol. II, Tav. 133).

La restituzione fisica delle superfici, elaborate in ambiente informatico, ha risposto pienamente agli obiettivi preliminari che lo studio si era posto.

La *trompe* è pertanto ben giudicabile in tutta la sua complessità morfologico/costruttiva (Vol. II, Tav. 134).

Questi utensili sono caratterizzati da un corpo cilindrico (universale) e da una serie di taglienti intercambiabili rispondenti alla forma finale che si intende realizzare.

Le frese sferiche e cilindriche sono utilizzate sia in fase di sgrossatura sia in fase di finitura.

Le prime avendo la testa sferica sono utilizzate prevalentemente di testa in tutte le lavorazioni dai 3 ai 5 assi.

Le frese cilindriche hanno la testa piatta per cui queste vengono utilizzate prevalentemente sul lato del tagliente in tutte le lavorazioni a 3 assi.

Per le lavorazioni del modello in scala della *trompe* sono state utilizzate una fresa cilindrica ($\varnothing$ 18) per la sgrossatura, ed una fresa sferica ($\varnothing$ 10) per la finitura.

Le caratteristiche degli utensili da lavoro variano in relazione a tre parametri principali:

- tipologia di lavorazione (fase di pre-sgrossatura, fase di sgrossatura, fase di finitura);
 - caratteristiche geometriche del pezzo da realizzare;
 - caratteristiche fisiche del materiale da lavorare;
- velocità di avanzamento e rotazione della fresa.

5.2.2. Analisi tensionale della trompe: approccio continuo FEM

La particolare condizione statica della trompe, elemento lapideo che si estroflette, supportando carichi a sbalzo, ci ha spinti ad una analisi tensionale globale del sistema voltato.

Ricordiamo brevemente che, dal punto di vista statico, la trompe ottimizza le prestazioni dell'aggetto, rispetto al comune uso della mensola.

Da queste, anche de l'Orme prende le distanze:

Qui font bien d'autre façon que les furpentes des cabinets qu'on voit ordinairement fe conduire & pratiquer tant à Paris qu'en autres diuers lieux: ou lon fait des faillies, qu'ils appellent cul de l'ape, pour porter lefdicts cabinets fur les coings & angles des maifons, à fin d'accomoder les logis, & leur donner beauté & aifance: mais telle façon n'a point d'art, & moins de fçauoir, car ce n'est qu'ouurage de longues pierres qui auacent l'une fur l'autre, & font ainfi difpoées par lea maiftres maçons, qui fe cõfient à la force defdictes pierres, & les plus fouuét aux grâdes barres de fer & ferrures qu'ils y mettent, & ne feruét que de charge & porter d'omage aux baftiments, pour-autant qu'ils ne durét tant en leur entier, cõme ils feroient fans cela²¹⁶.

Dato che sono ben altra cosa rispetto ai cabinet sospesi che vediamo tanto a Parigi che in altri luoghi: dove sono state fatte delle costruzioni a sbalzo, che si chiamano cul de lampe, per sopportare questi cabinet sugli spigoli e angoli delle case, allo scopo di regolarizzare le logge e donare loro bellezza e slancio: ma queste costruzioni non hanno arte, e ancora meno conoscenza, poiché non sono altro che lunghe pietre poste a sbalzo l'una sull'altra e sono tuttavia posate da maestri Muratori che confidano nello spessore delle pietre e più sovente in grandi sbarre di ferro che spesso danneggiano gli edifici, nonostante non siano necessarie.

²¹⁶ P. de l'Orme, *op. cit.* L. IV, cap. II, f. 90v.

Intuendone le qualità statiche, della *trompe*, de l'Orme afferma²¹⁷:

*Car la force & pefanteur tombe toufiours fur l'angle, & n'a
garde de fencliner par le deuant pour voploir tomber, quand
encores le tout ne feroit bien conduit.*

***...poiché tutto il peso e le forze si scaricano sempre
sull'angolo, anche inclinandole in avanti, senza crollare, se
tutto è stato ben condotto.***

Ancora, e in riferimento alla specifica *trompe* studiata de
l'Orme afferma²¹⁸

*Je fuis bien affeuré que tous les ouuriers de ce royaume
n'auoient iamais ouy parler de femblable trompe à celle que
ie fis faire à Lyon, eftant (ainfi que nous auons dict)
foubaiffée, fiaife & rempante, & quafi les trois parts de fa
rondeur en faillie.*

***Ho constatato che nessun operaio di quel luogo aveva mai
sentito parlare di trompe simili a quelle che feci fare a Lione –
ribassate, oblique o rampanti – e con quasi tre quarti della
circonferenza in aggetto.***

Occorre osservare che nel caso della *trompe d'Anet*, il concio
più lungo sulla generatrice AD, ha più della sua lunghezza
fuori dalla proiezione dei muri di imposta (zona di
compressione degli elementi), fatto assai rimarchevole per
una struttura lapidea (Vol. II, Tav. 136).

Attraverso la descrizione discreta della *trompe* sud di Lione,
espressa dalla tabella che segue è possibile costruire la
superficie intradossale della volta con una successione di
facce triangolari, di cui si può controllare il comportamento
statico locale (Vol. II, Tav. 122, 135).

Trompe conica di vertice $V=0,0,0$ (*trompe* di Lione)

²¹⁷ Ibidem

²¹⁸ Ivi, f. 91v.

A	X = 0.2187	Y = -1.7477	Z = 0.0000
B	X = 0.2569	Y = -1.7592	Z = 0.3417
C	X = 0.3315	Y = -1.7785	Z = 0.5917
D	X = 0.4252	Y = -1.7973	Z = 0.8066
E	X = 0.6348	Y = -1.8175	Z = 1.1567
F	X = 0.7593	Y = -1.8157	Z = 1.3213
G	X = 0.9146	Y = -1.7989	Z = 1.4972
H	X = 1.1191	Y = -1.7515	Z = 1.6878
I	X = 1.4474	Y = -1.6064	Z = 1.9023
L	X = 1.7230	Y = -1.3972	Z = 1.9773
M	X = 1.7976	Y = -1.3207	Z = 1.9739
N	X = 1.9110	Y = -1.1796	Z = 1.9389
O	X = 2.0237	Y = -0.9938	Z = 1.8470
P	X = 2.1017	Y = -0.8137	Z = 1.7149
Q	X = 2.1515	Y = -0.6443	Z = 1.5529
R	X = 2.1853	Y = -0.4279	Z = 1.2840
S	X = 2.1872	Y = -0.2019	Z = 0.8882
T	X = 2.1690	Y = -0.0481	Z = 0.4338
U	X = 2.1600	Y = 0.0000	Z = 0.0000

Con opportune tecniche di conversione-dati del formato vettoriali è stato possibile, quindi, "leggere" le geometrie della *trompe* di Lione in un software agli elementi finiti, e operare una serie di analisi²¹⁹.

Il modello di "trompe" è stato analizzato, ai fini della individuazione del comportamento statico globale, con l'ausilio di un software di analisi agli elementi finiti.

In particolare è stata effettuata un'analisi statica della struttura tridimensionale, avendola discretizzata in elementi quadrangolari di tipo *shell*, a comportamento elastico lineare. L'aver assunto l'ipotesi di comportamento elastico lineare per gli elementi lapidei può essere giustificata considerando il basso stato tensionale cui sono sottoposti gli stessi, è che è confortata dai risultati dell'analisi effettuata.

Il software basa i suoi fondamenti teorici sull'impiego del metodo di analisi matriciale delle strutture, impiegando elementi finiti bidimensionali di "tipo guscio" sottoposti

²¹⁹ Tale analisi è stata condotta con l'importante collaborazione dell'ing. Girolamo Fallacara (utilizzo del software Nolian), e l'ing. Giuseppina Uva (utilizzo del software Sap 2000), ricercatrice del Dipartimento Icar del Politecnico di Bari.

all'azione di forze superficiali direttamente assegnate o derivate dalle reazioni di incastro perfetto degli elementi.

Per la definizione delle caratteristiche elastiche degli elementi, si è fatto riferimento a quelle di un comune materiale lapideo avente modulo di elasticità pari a $E = 200.000 \text{ Kg/cm}^2$, peso specifico pari a $P = 2.800 \text{ Kg/m}^3$, soggetto solo al peso proprio.

Il modello è stato sviluppato con ipotesi di vincolo ad incastro perfetto sulle sezioni terminali di attacco della volta, e l'analisi statica, eseguita in forma automatica, determina il calcolo e l'assemblaggio delle matrici di rigidezza dei singoli elementi sulla memoria di massa disponibile sull'elaboratore.

Dai diagrammi tensionali. ottenuti si osserva la presenza di due effetti concomitanti: nella direzione radiale le tensioni normali che insorgono sono principalmente legate ad un comportamento a "mensola" che induce trazioni all'estradosso della trompe, massime nella zona centrale in prossimità dell'incastro (di entità comunque modesta). Nella direzione circonferenziale, si evidenzia l'effetto di inflessione trasversale (Vol. II, Tavv. 122, 135).

La spazialità del sistema, in effetti, consente di scaricare una parte del carico che altrimenti cimenterebbe i conci soltanto nella direzione radiale, aggravandone la sollecitazione a trazione.

In parole semplici, si può dire che si instaura un effetto arco che veicola il carico sulla parte esterna dei sostegni verticali. Nel caso in cui vi sia un carico concentrato al lembo esterno della *trompe*, tali benefici effetti si riducono. Da queste considerazioni emerge che, restando comunque entro rapporti dimensionali limite (in funzione della condizione di carico), è possibile ottenere un buon funzionamento del sistema, che riesce ad avere luci superiori a quelle solite delle strutture a sbalzo in elementi lapidei monolitici.

5.3. Progetto di un belvedere temporaneo "locus finis terrae" in località Punta Ristola a S. Maria di Leuca – Comune di Castrignano del Capo (Le)

Il presente caso-studio analizza le principali fasi di progetto/costruzione, dell'opera stereotomica "locus finis terrae", elaborate dal prof. Claudio D'Amato con la collaborazione di chi scrive e di un gruppo di dottorandi²²⁰ della Facoltà di Architettura del Politecnico di Bari.

Si prevede la realizzazione dell'opera per l'estate del 2004.

L'aspetto innovativo dell'opera risiede nella volontà di sperimentare le potenzialità estetico/statiche, connesse al riutilizzo contemporaneo della tradizionale volta conica massiva (volta sospesa nell'aria), ottimizzandone il comportamento statico/strutturale tramite la previsione di idonee armature metalliche in acciaio inox, nelle zone di trazione della struttura, secondo i principi e le tecniche della *pietra armata*.

Nella fattispecie si tratta della più grande *trompe* mai progettata con il suo sbalzo di circa 3,00 m. e il suo concio in chiave di circa 5 m. di lunghezza (sebbene progettato in due pezzi in ragione della speciale apparecchiatura intradossale) Per l'analisi ed il comportamento strutturale dell'opera sono stati necessari specifici studi condotti dal Prof. Ing. Amedeo Vitone con la collaborazione degli ingg. F. Palmisano (Studio Vitone) e R. Greco (dip. ICAR).

5.3.1. Descrizione dell'intervento

Si tratta di una struttura monumentale interamente realizzata in pietra da taglio con tecniche costruttive stereotomiche (Vol. II, Tavv. 170, 171).

La pietra è quella leccese proveniente dalle vicine cave di Cursi. Per la particolare tecnica costruttiva ed il particolare sistema statico strutturale, tale pietra è idonea alle esigenze di progetto.

²²⁰ Nicola Parisi, Michele Circella e Valeria Loliva, Dottorato di ricerca in Progettazione architettonica per i paesi del Mediterraneo XVIII ciclo

Le caratteristiche tecnico/costruttive dell'opera possono essere ripartite in sequenza in:

- realizzazione dell'attacco a terra del monumento (fondazione),
- struttura portante (volta conica *trompe*),
- struttura portata e collegamento verticale (scala, muratura d'ambito e rinfiando della volta),
- coronamento ed elementi di plastica secondaria (parapetto/balaustra, seduta sottoposta alla volta conica).

Il *modello* che sottende l'insieme dei diversi tipi di lavorazione è la perfetta descrizione geometrica degli elementi che concorrono alla realizzazione del tutto (Vol. II, Tavv. 172, 173). Questi elementi, progettati e calcolati *a priori* concorrono alla caratterizzazione del particolare tipo di messa in opera del monumento: il montaggio "a secco" del monumento. Questa tecnica di montaggio è resa possibile grazie alla assoluta assenza di ambiguità geometrica dei conci, e alla loro (necessaria) perfetta esecuzione

Il processo di definizione geometrica del belvedere e della sua scomposizione in elementi-concio è stata resa possibile dalla modellazione solida tridimensionale in ambiente CAD e dalla successiva verifica fisica attraverso la realizzazione di un prototipo di legno in scala 1:10 (Vol. II, Tavv. 179-181).

Il basamento che accoglie il monumento è pensato in qualità di un livellamento del terreno sottostante da realizzarsi con blocchi di pietra opportunamente sagomati in *situ* tali da rimodellare in maniera non invasiva l'habitat naturale ovviamente da preservare. Tale basamento consentirà di regolarizzare, portandolo a livello, il piano di imposta della volta conica e di consentire una agevole operazione di montaggio dei blocchi costituenti il corpo superiore alla volta, quindi la scala.

La volta conica, elemento di forte caratterizzazione progettuale del monumento, è la vera struttura portante il piano di calpestio e sosta del belvedere. Essa pur trovandosi in continuità con le volte a tromba della tradizione

stereotomica prettamente francese, segna il passo in avanti grazie alla innovativa tecnica di produzione dei conci opportunamente progettata sulla base delle dimensioni da record di cui la volta è costituita (Vol. II, Tavv. 174-175).

La conformazione geometrica della volta è data dalla definizione delle superfici coniche di intradosso e estradosso della volta sezionate verticalmente dai piani laterali del monumento. La loro genesi è data da un arco di circonferenza, quale direttrice della superficie conica, appartenente al piano perpendicolare al piano di imposta della volta e al piano di simmetria del monumento. L'apparecchiatura della volta prevede la suddivisione in conci i cui letti, sulle generatrici, giacciono sui piani di fascio proprio il cui asse è la retta passante per il vertice del cono ed il centro dell'arco di cerchio della direttrice. Le teste di tali conci si trovano su piani obliqui opportunamente costruiti al fine di costituire una giusta ammorsatura tra le parti. La volta, a conci esattamente montati entra in carico nel momento in cui la centina di supporto al montaggio viene smontata. Quest'ultima ricalca perfettamente la superficie conica intradossale della volta, ne regola l'esatto montaggio assicurando l'esatta curvatura di progetto. Essa nel rispetto della sua conformazione geometrica potrà essere di acciaio o legno, entrambe opportunamente calcolate.

La volta entra in carico raggiungendo il regime tensionale di calcolo nel momento in cui tutta la parte superiore alla stessa viene montata. L'intera struttura risulta unicamente compressa, evitando problematiche connesse ad ammorsature bagnate, esaltando così il facile processo di montaggio/smontaggio delle parti.

Sulla faces esterna superiore è ricavata la scalinata che conduce alla piccola piattaforma di osservazione attraverso un lavoro di asportazione di materia. Essa è distanziata dai bordi per ovvie questioni di sicurezza. La protezione alla salita si costituisce in negativo piuttosto che con un parapetto sui fianchi della scala.

L'intero volume poggia su sulla trompe, è in blocchi di pietra da taglio nell'involuppo esterno: in particolare la conformazione dei conci/gradini della scala sono sagomati in maniera da ricavare sui fianchi della stessa canali di gronda per un efficiente deflusso delle acque piovane.

Il coronamento del belvedere è costituito da una parapetto creato da balaustre di sezione quadrata disposte con i fianchi allineati al bordo del volume superiore (Vol. II, Tav. 185). La sua natura fortemente plastica è tesa ad esaltare la massa lapidea attraverso il dispositivo chiaroscurale delle ombre e dei vuoti, consentendo la rapida lettura del luogo/podio proteso nel vuoto.

Le scale laterali del monumento, ridisegnando il percorso discendente alla volta aerea, segnano in maniera netta le linee di intersezione tra i piani verticali dei fianchi del belvedere e i gradini. Tramite queste si raggiunge la seduta all'ombra della grande volta da cui poter ammirare l'orizzonte.

5.3.2. Progettazione e programmazione delle fasi di costruzione/montaggio della volta sospesa nell'aria.

L'icnografia dell'intera opera, la scelta quindi della pianta triangolare, deriva dalla precisa volontà di marcare, in maniera netta, la direzione del monumento (Vol. II, Tavv. 174-175). Al pari dell'ago di una bussola, ma in maniera diametralmente opposta, il vertice del triangolo punta a Sud. La scelta risulta ovvia se si considera la particolare posizione geografica dell'opera: *luogo a sud ove finisce la terra*. L'aspirazione di questa architettura è di voler "artificialmente" creare una prosecuzione alla terra senza soluzione di continuità con essa. L'artificio che caratterizza l'intervento consiste nella costruzione di un enorme sbalzo lapideo che metaforicamente rappresenta il salto verso il vuoto. Fuor di metafora il grande oggetto è reale, ed è stato progettato fedelmente ai dettami delormiani del *trait géométrique*.

Occorre, qui, ripetere che la tecnica del *trait géométrique*, vero nomogramma algoritmico, si basa sulla definizioni di tre sezioni piane, due orizzontali ed una verticale:

1. sezione orizzontale del piano di imposta della volta;
2. sezione orizzontale del corpo sostenuto dalla volta;
3. sezione verticale dell'intradosso della volta (direttrice della superficie conica della volta).

La sezione orizzontale del corpo sostenuto dalla volta corrisponde al triangolo che delinea perimetralmente il monumento. La sezione orizzontale corrispondente al piano di imposta della volta ed il suo punto di partenza sono stati definiti dalla previa determinazione plastica dell'aggetto della volta. I parametri che entrano in gioco sono: l'angolo tra i muri sottostanti la volta (nella fattispecie 120°) e le coordinate dell'aggetto in proiezione piana (3,00 metri.). La sezione verticale, considerata sul piano perpendicolare all'asse del cono e passante sui punti estremi del piano di imposta della volta, è un arco di circonferenza ribassato. Quest'ultimo è stato dimensionato in maniera da ottenere una altezza pari a 2,50 m dal punto più alto dell'intradosso della volta al piano di imposta della stessa. Il rapporto tra la dimensione della corda e l'altezza dell'arco risulta essere quasi quattro a uno. La corda dell'arco risulta 5,5 volte lo spessore dei conci determinato su dimensioni tali da soddisfare la proporzione della ghiera della volta sulle *faces* esterne.

La partizione dei conci è stata ottenuta mediante la suddivisione in tredici parti del suddetto arco, quindi sul tracciamento del prolungamento dei segmenti costruiti unendo i singoli punti di suddivisione con la mezzera della corda dell'arco. La scelta di quest'ultimo come centro di proiezione, piuttosto che il centro reale dell'arco di circonferenza è scaturito da una riflessione di natura statico/strutturale: infatti la proiezione da un centro più alto rispetto al centro reale comporta nel concio in chiave della volta una maggiore dimensione degli angoli di incuneo dello

stesso, che assume particolare importanza nei punti più
distanti dal vertice della volta.

A seguito della compiuta progettazione della volta si è passati
ad una prima verifica di natura statica della stessa e
dell'insieme volta/corpo sostenuto (Vol. II, Tav. 176). In
questa prima fase si è verificato semplicemente l'equilibrio
meccanico degli elementi. Si è proceduto al calcolo del
centroide sia nella test della sola *trompe* sia nell'insieme
trompe-corpo sostenuto. Quest'ultimo considerato
unicamente sulla proiezione della volta al fine di computare la
situazione più sfavorevole.

Ne risulta che nel caso della sola *trompe* l'applicazione della
forza gravitazionale nel suo centroide cade al di fuori dell'asse
di rotazione del corpo quindi l'equilibrio globale è instabile;
nel caso dell'insieme *trompe*-corpo sostenuto l'applicazione
della forza gravitazionale nel suo centroide cade all'interno
dell'asse di rotazione del corpo di 34,32 cm quindi è escluso il
ribaltamento del corpo; un terzo caso analizzato riguarda il
precedente maggiorato di un volume, di altezza pari a 200
cm, rappresentante il peso di esercizio che gravita sulla
piattaforma di osservazione. In quest'ultimo caso la
proiezione del centroide è ancora interna all'asse di rotazione
ma di soli 11,60 cm, con esclusione di ribaltamento.

Ovviamente, a queste analisi di primo approccio
statico/strutturale, seguono di necessità indagini più
approfondite sul regime tensionale interno dei conci, che non
sono qui descritti (si rinvia ad altra esposizione) per la
specifica natura della seguente trattazione. Infine
accenniamo, brevemente alla ipotesi prevista di armare il
sistema voltato²²¹, per supplire la mancanza di carico
(superiore) per la *trompe* (che per necessità statica ha
bisogno di essere fortemente caricata!). Nell'ipotesi della
pietra armata, il carico superiore di compressione della volta
si "trasforma" parzialmente in trazione dei cavi di acciaio.

²²¹ Ipotesi strutturali del Prof. Ing. Amedeo Vitone

Le fasi che saranno di seguito descritte, rappresentano una sintesi delle complesse operazioni realizzative dell'opera. Sottolineiamo che rispetto a siffatti progetti, in pietra massiva strutturale, la letteratura tecnica e la manualistica di settore è quasi del tutto priva di riferimenti normativi. A tal proposito, si è ritenuto utile, riportare in nota²²² un estratto del

²²² A cura di Roberto De Santis. La descrizione seguente è estratta dal "Manuale della qualità. Realizzazione strutture ad arco in materiale lapideo" predisposto dal Consorzio (Consorzio che riunisce al 50% le imprese di costruzione impegnate nella realizzazione del progetto: la Ciuffreda di Foggia e la Dioguardi SPA di Bari) Fabbrica della Nuova chiesa di Padre Pio a S. Giovanni Rotondo, progettata da Renzo Piano. Per la realizzazione dei grandi archi strutturali della chiesa, i blocchi di pietra calcarea a grana fine e media, una volta estratti, vengono inviati nelle fabbriche specializzate di Carrara per essere lavorati con grande cura, ricorrendo alle specifiche tecnologie che le antiche imprese marmifere di quella zona detengono. Riportati poi in cantiere vengono assemblati con speciali resine, così da realizzare le strutture complesse che danno origine agli archi. Si è dovuta eseguire inoltre una serie di prove di resistenza su modelli in scala reale, complesse e onerose in quanto l'opera viene realizzata in una zona potenzialmente soggetta a scosse sismiche. Ciò ha imposto al Consorzio di progettare e realizzare sofisticate attrezzature di prova, che consentono di verificare la perfetta rispondenza degli archi ai requisiti richiesti. Il progetto di massima iniziale prevedeva l'utilizzo di materiale lapideo locale ed in particolare di pietra di Apricena (Foggia). Dalle cave della zona di Apricena vengono tuttavia estratte numerose varietà di pietra, per cui in base a motivazioni sia di tipo estetico, sia di disponibilità delle quantità necessarie è stato individuato nel Bronzetto il materiale idoneo alla realizzazione delle strutture ad arco per l'Aula liturgica "Padre Pio". Le diverse varietà di Bronzetto disponibili sono poi state classificate e selezionate in base soprattutto al comportamento strutturale del materiale: il modulo elastico, la resistenza a compressione, a compressione dopo gelività, a taglio, a flessione, a trazione indiretta. L'estrazione dei blocchi di materiale avviene attraverso lavorazioni successive. Viene effettuato un primo lavoro di sbancamento degli strati superiori di ricoprimento, spesso con caratteristiche non idonee ad alcun utilizzo se non per la produzione di materiale inerte di piccola pezzatura. Una volta raggiunto lo strato dal quale estrarre i blocchi, si prosegue con l'utilizzo di mezzi meccanici come le seghe a catena o a filo diamantato, che riescono a tagliare interamente lo spessore dello strato stesso senza indurre alcun tipo di sollecitazione che possa alterare le caratteristiche meccaniche del materiale estratto. Sul blocco grezzo così estratto si eseguono tre prime verifiche:

- verifica della compatibilità dimensionale del blocco con il pezzo finito di destinazione,- verifica visiva del blocco tendente a escludere la presenza di macrodifetti (piani di fratturazione non ricementati, piani di sedimentazione non omogenei, cavità),
- verifica della omogeneità interna percuotendo il blocco con una massa metallica e ascoltandone il suono prodotto.

A questo punto sul blocco grezzo viene eseguito un taglio di squadratura lungo le sei facce, ottenendo un semilavorato di dimensioni tali da circoscrivere il pezzo finito con un "franco" di circa 4 centimetri, necessario alle esigenze di lavorazione finale. Viene quindi fatta una ulteriore verifica visiva per confermare l'assenza di difetti che possano mettere in crisi l'impiego di tipo strutturale del materiale lapideo. L'esecuzione di queste fasi e verifiche è a carico del cavatore il quale si assume, certificandolo per ogni blocco, la responsabilità di averle eseguite. Prima di avviare il blocco alla lavorazione finale si esegue una verifica con tecnica a ultrasuoni, che oltre a controllare la omogeneità interna del materiale consente una misurazione delle sue caratteristiche meccaniche. Infatti gli ultrasuoni possono essere impiegati per prove non distruttive tendenti a stabilire lo stato di fratturazione e il grado di alterazione del materiale lapideo, nonché per correlare la velocità delle onde elastiche longitudinali con la resistenza a compressione e il modulo elastico. Su alcuni blocchi vengono poi effettuate prove distruttive per verificare la costanza dei valori di resistenza a compressione e poterli correlare con le velocità ultrasoniche rilevate sugli stessi prima della rottura. Un ulteriore elemento che condiziona l'accettazione del blocco è il colore di fondo, che deve corrispondere a quello dei campioni di riferimento. Dai risultati di queste misurazioni, fatte in contraddittorio con il cavatore, è determinata o meno l'accettazione del blocco, che viene marchiato e avviato alla lavorazione finale. La fase di trasporto del blocco semilavorato dalla cava di estrazione (Apricena) allo stabilimento di lavorazione (in Toscana) non ha particolari esigenze dal punto di vista dell'imbragatura in quanto il peso dei blocchi stessi fornisce ampia garanzia di stabilità durante il trasporto. Per ciò che

riguarda invece il trasporto del blocco finito dallo stabilimento di lavorazione al cantiere per l'assemblaggio e la successiva posa in opera, è importante che il pezzo venga opportunamente imballato mediante fasciatura con telo in polietilene, con particolare cura per la protezione degli spigoli da urti accidentali tramite angolari in polistirolo. La fase di lavorazione è suddivisa in una serie di operazioni, ciascuna delle quali prevede un controllo:

- rettifica con fresa a controllo numerico di una delle due facce di contatto fra i blocchi che compongono l'arco, la quale diventa piano di riferimento per il taglio delle cinque facce successive. Per tale fase è richiesta la massima precisione di planarità in quanto essa condiziona il resto della lavorazione nonché il montaggio in opera dei blocchi (tolleranza minore di 0,5 mm);
- taglio con sega a filo diamantato a controllo numerico delle altre cinque facce. Per questa lavorazione è sufficiente una precisione inferiore (± 2 cm) in quanto tali facce non condizionano con la loro planarità la precisione del montaggio;
- ulteriore rettifica mediante fresa a controllo numerico della faccia opposta a quella di riferimento, per ottenere la maggior precisione richiesta per le facce di contatto fra i blocchi; le facce dei miniconci che costituiranno le testate dei maxiconci vengono successivamente rese scabre mediante scalpellatura manuale per migliorare l'aderenza della malta con cui si realizzano i giunti fra maxiconci;
- verifica delle precisioni ottenute, nel rispetto delle tolleranze massime;
- esecuzione dei fori necessari all'infilaggio delle guaine per contenere i cavi di precompressione e di armatura;
- verifica delle posizioni dei fori, nel rispetto delle tolleranze massime;
- esecuzione della bisellatura degli spigoli mediante fresatura manuale;
- acidatura delle superfici a vista mediante applicazione di soluzione in acido ossalico e successiva neutralizzazione con soluzione basica; infine lavaggio con abbondante acqua per eliminare eventuali residui;
- verifica finale del ciclo di lavorazione;
- imballaggio del pezzo lavorato con protezione degli spigoli e stoccaggio in attesa del trasporto per il cantiere.

La realizzazione di archi in pietra di grandi dimensioni con funzione strutturale, oltretutto in zona sismica, ha richiesto da parte della Direzione tecnica del Consorzio Fabbrica della chiesa uno studio approfondito del problema, portando ad individuare metodi e tecnologie costruttive innovative e mai utilizzate prima.

La fase di assemblaggio dei miniconci in pietra per realizzare i maxiconci che compongono ogni arco avviene in cantiere, in una area adeguatamente attrezzata, e richiede l'utilizzo di attrezzature speciali realizzate in base a specifiche esigenze della particolare lavorazione che si va ad eseguire.

L'assemblaggio è costituito dalle seguenti fasi di lavorazione:

- Scarico del blocco lavorato (miniconcio) dall'automezzo che ha effettuato il trasporto mediante l'uso di un sollevatore idraulico e posizionamento su due cavalletti opportunamente predisposti;
- verifica dimensionale del blocco lavorato e della rispondenza a quanto previsto dal progetto esecutivo;
- verifica ad ultrasuoni del blocco lavorato che viene nuovamente testato mediante tecnica ad ultrasuoni al fine di verificare che durante la fase di lavorazione non si siano arrecati danni interni al blocco tali da comprometterne la funzione strutturale,
- preparazione della struttura di sostegno, su cui sarà eseguito l'assemblaggio dei miniconci, costituita da una struttura di quattro montanti in legno o acciaio, opportunamente controventati e posti in verticale ai vertici di un basamento, anch'esso in legno, con funzione di banco di appoggio;
- sollevamento del primo miniconcio, con apposito apparecchio di aggancio a doppio cilindro ad espansione che sfrutta per la movimentazione la presenza nel blocco dei due fori centrali attraverso cui passeranno i cavi di precompressione; questo per poter posare un blocco sull'altro senza impegnare la faccia inferiore, di contatto con il blocco precedente; posizionamento del primo miniconcio sul basamento della struttura di sostegno;
- pulizia del blocco, spazzolatura meccanica delle superfici da incollare e eliminazione della polvere con lavaggio; protezione degli spigoli della faccia di contatto con il miniconcio successivo mediante nastro adesivo di carta al fine

-
- di proteggere le facce in vista del miniconcio da eventuali colature durante la fase di incollaggio;
 - preparazione della resina epossidica bicomponente utilizzata per l'incollaggio;
 - applicazione della resina sulla faccia di contatto mediante l'uso di una cazzuola americana dentata in maniera tale da ottenere uno spessore omogeneo di 3 mm di collante su tutta la superficie di incollaggio, necessario a colmare eventuali imperfezioni di planarità tra le due facce di incollaggio, sia pure entro le tolleranze consentite;
 - posizionamento di distanziatori costituiti da fascette in acciaio inox di 2 mm di spessore distribuite sulla faccia in maniera tale da ottenere, ad incollaggio ultimato, il previsto spessore del giunto;
 - sollevamento del secondo miniconcio con l'apposito attrezzo e posizionamento in corrispondenza della superficie di incollaggio;
 - verifica dell'allineamento con il miniconcio precedente mediante strumentazione ottica e bloccaggio meccanico in posizione definitiva mediante contrasti in legno;
 - attesa del tempo di presa della resina epossidica;
 - ripetizione delle operazioni precedentemente descritte per i successivi miniconci fino al completamento dell'assemblaggio dell'intero maxiconcio (composto a seconda dei casi da cinque o sei miniconci);
 - esecuzione di fori mediante carotatrice e fissaggio, mediante resina epossidica, di bocche in acciaio inox per il sollevamento del maxiconcio;
 - verifica visiva finale della fase di assemblaggio;
 - sollevamento e stoccaggio per il successivo montaggio in opera

La fase di montaggio degli archi, inoltre, richiede particolari procedure al fine di rispettare le tolleranze richieste da esigenze di tipo strutturale. La fase di montaggio dei maxiconci che compongono gli archi è costituita dalle seguenti operazioni:

- getto dei piedi di appoggio in cls con fissaggio della prima piastra in acciaio che interviene i maxiconci;
- regolazione degli appositi bulloni distanziatori allo spessore previsto del giunto, al fine di preparare l'appoggio al primo maxiconcio da montare;
- montaggio della struttura di sostegno con l'impiego di un sistema di puntellazioni a torre, costituito da telai metallici tubolari di forte spessore, opportunamente collegati da traversi orizzontali e diagonali; in sommità la struttura è completata con traverse metalliche e rulli di acciaio che costituiscono la superficie ideale di appoggio dei maxiconci e ne consentono lo scivolamento e accostamento perfetto durante la fase di avvicinamento alla definitiva posizione in opera;
- verifica con strumentazione laser autotracciante del corretto posizionamento della struttura di sostegno.
- ribaltamento del maxiconcio con l'utilizzo di una macchina speciale, appositamente realizzata per questo scopo, portando il pezzo dalla posizione verticale (posizione in cui è stato assemblato unendo, a seconda dei casi, cinque o sei miniconci) fino a quella con inclinazione pari alla prevista posizione del maxiconcio in opera;
- aggancio del maxiconcio con una speciale struttura di sollevamento, anch'essa appositamente studiata e realizzata, dotata di bracci regolabili che vanno a inserirsi sulle quattro boccole applicate al maxiconcio;
- inserimento delle guaine metalliche necessarie alla precompressione all'interno dei fori presenti nei maxiconci;
- sollevamento del maxiconcio e posizionamento sulla struttura di sostegno sfruttando la presenza dei rulli in acciaio per eseguire millimetricamente l'accostamento in posizione definitiva; - verifica del corretto posizionamento del maxiconcio con strumentazione laser con lettura delle sue coordinate nello spazio;
- applicazione di casseri di contenimento in listelli di legno con rivestimento in neoprene lungo il perimetro tra piastra in acciaio e blocco in pietra, in modo tale da contenere il successivo getto di malta;
- getto del giunto con malta fibrorinforzata;
- getto di malta nello spazio tra guaina e foro;
- posizionamento della piastra di acciaio successiva al maxiconcio già posato, con regolazione mediante distanziatori;
- verifica delle coordinate del giunto di innesto dei puntoni metallici necessari a sostenere la copertura in legno lamellare;

"manuale di montaggio operativo e di controllo della qualità"

messo a punto per la realizzazione della nuova chiesa di Padre Pio a San Giovanni Rotondo progettata da Renzo Piano. La puntuale descrizione delle fasi di gestione della realizzazione dei grandi archi strutturali in pietra-armata portante della chiesa, può sicuramente rappresentare un valido riferimento per l'odierna costruzione in pietra.

La tecnica di taglio per la realizzazione dei conci della *trompe* è stata studiata per l'utilizzo di una macchina a disco orientabile su banco orizzontale (Vol. II, Tavv. 177-178). Tale macchina da lavoro consente di poter tagliare conci dello spessore massimo pari al raggio del disco che monta. I parametri predisposti per questo tipo di lavorazione, consentono di poter tagliare il blocco lapideo anche attraverso l'utilizzo di altri tipi di macchine che lavorano per tagli piani.

La descrizione del metodo di taglio del blocco, qui riportata, è tesa ad evidenziare i concetti fondamentali, di natura geometrica, che consentono la completa comprensione delle principali problematiche connesse allo specifico lavoro, piuttosto che una pedissequa descrizione del funzionamento delle specifiche performance delle macchine. Questo al fine di poter rendere flessibile e creativa l'arte del taglio svincolata da specifiche strumentazioni, esaltando quindi l'impostazione metodologica della disciplina stereotomica.

La tecnica di taglio, messa a punto per il monumento *locus finis terrae*, ha come presupposto l'utilizzo di sistemi CAD integrati per la determinazione di tutti gli elaborati di natura bidimensionale, finalizzati alla realizzazione del progetto

-
- il montaggio prosegue per tutti i maxiconci successivi al primo e in senso alternato dalle parti destra e sinistra dell'arco, fino al posizionamento del maxiconcio centrale.

Ad ultimazione del montaggio dei maxiconci che compongono un arco si esegue l'infilaggio meccanico dei cavi in acciaio di precompressione nelle guaine; prima di effettuare le operazioni di tesatura dei cavi di precompressione si procede ad un abbassamento della carpenteria di sostegno dell'arco di circa 2 cm, al fine di consentire eventuali deformazioni elastiche della struttura. Successivamente viene effettuata la tesatura dei cavi mediante martinetti idraulici comandati da relativa centralina; ad ultimazione della tesatura all'interno delle guaine viene eseguita una iniezione con malta al fine di rendere solidale tutta la struttura con le armature; verifica finale del montaggio dell'arco con lettura strumentale delle coordinate dei giunti sferici e ad anello per il successivo montaggio in opera.

attraverso il metodo misto *par équarissement* e *par beveaux*. Questa tecnica mista prevede la squadratura perfetta del blocco che circonda il concio finito (nella fattispecie le facce degli intradossi ed estradossi giacciono su due lati paralleli del blocco circoscritto) e la determinazione di tutti gli angoli, considerati sulle perpendicolari agli spigoli, tra la faccia di estradosso del concio e le facce laterali dello stesso.

La predisposizione dei blocchi parallelepipedici che inglobano i conci, assicura il perfetto appoggio degli stessi sul banco della macchina, condizione essenziale per l'enorme peso dei blocchi. Quindi il calcolo degli specifici angoli viene trasferito all'inclinazione del disco che su specifiche traiettorie porterà al finito in un'unica soluzione le diverse facce del concio. Le specifiche traiettorie sono disegnate direttamente sul blocco parallelepipedo grazie ai *panneaux* ricavati in precedenza. Rispetto ai *panneaux* "liberi" vengono qui utilizzati *panneaux* "vincolati" all'interno della faccia rettangolare del blocco parallelepipedo. Si procederà quindi con le seguenti fasi²²³:

1. Determinazione CAD dei blocchi che circoscrivono perfettamente i conci finiti della *trompe* facendo corrispondere le facce di intradosso/estradosso con la basi del parallelepipedo;
2. Determinazione CAD degli opportuni angoli;
3. Stampa (su supporti trasparenti, indeformabili e resistenti all'acqua) in scala 1:1 dei *panneaux*;
4. Taglio dei blocchi secondo squadratura parallelepipedica;
5. Predisposizione del blocco squadrato sul banco da lavoro;
6. Disegno per mezzo dei *panneaux*, sulla faccia superiore del blocco squadrato, delle facce di intradosso/estradosso del concio evidenziando la faccia che giace sul piano superiore;
7. Determinazione della corsa di taglio del disco sugli allineamenti individuati dai disegni/guida del taglio,

²²³ Le operazioni descritte nel seguito sono le ipotesi per la realizzazione dell'opera, che saranno sottoposte all'impresa costruttrice.

rispettando la stretta relazione percorso/angolo di taglio;

8. Controllo, a mezzo degli opportuni *panneaux*, dell'esatta corrispondenza delle facce ricavate dal taglio con le sagome dei *panneaux* stessi.
9. Verifica degli angoli determinati, per mezzo di *beveaux*, nel caso di mancata corrispondenza delle facce realizzate con i *panneaux*.

Tutti i conci finiti vengono numerati progressivamente in ordine del reale montaggio, disponendo lo stesso numero progressivo sui letti corrispondenti di contatto dei conci in successione. Opportunamente stoccati i conci sono pronti per il montaggio. Questa ultima fase comporta una serie di delicatissime operazioni che se sottovalutate inficierebbero l'intero lavoro.

L'aspetto particolarmente *delicato* dell'assemblaggio è direttamente connesso alla concetto del montaggio a secco di elementi lapidei finiti, geometricamente "*inflessibili*". Questa caratteristica risulta evidente dal presupposto geometrico dell'intera opera il cui valore simbolico/costruttivo ne descrive l'essenza. La geometria è inflessibile in quanto la tolleranza del montaggio è quasi inesistente, errori millimetrici comportano difformità ben evidenti dell'opera causando rischi anche sul piano statico.

L'installazione di elementi lapidei finiti, con alte probabilità di rottura fragile, elimina la possibilità di "ritocchi" a piè d'opera sottolineando l'enorme "responsabilità" di tale operazione. In ciò consiste l'ideale teorico dell'intero intervento, che inizia, da quando esso è costretto a calarsi nella realtà fenomenica, e cioè fin dall'inizio del *progetto/costruzione*. Tutto ciò che la mente ha elaborato viene restituito dalla realtà fisica secondo un nuovo schema la cui "distanza" dallo schema originario segna la qualità della riuscita dell'intervento.

La volta sarà montata con l'ausilio di una centina che si potrà rimuovere allorquando l'intera opera sarà conclusa, in quanto,

ripetiamo, l'equilibrio della *trompe* è assicurato dalla presenza del corpo superiore (Vol. II, Tavv. 182-184).

La movimentazione dei singoli conci, dal piano di stoccaggio in cantiere all'esatto posizionamento all'interno del sistema voltato, presuppone un attento calcolo dei punti sul blocco in cui si prevede l'ancoraggio dei cavi di sospensione della gru. Questi punti calcolati in numero di due sulla massima lunghezza del concio devono trovarsi sulla sezione del concio con il piano verticale passante per il centroide del concio e il vertice di intradosso della superficie conica. Tale posizione dei cavi impedisce la rotazione attorno alla *generatrice baricentrica* del concio, consentendo la giusta discesa dello stesso fino a far perfettamente combaciare i letti corrispondenti. Tutto ciò al fine di impedire sovrapposizioni dei conci casuali che comporterebbero rotture egli spigoli dei conci e fastidiosi spostamenti dei conci mal sovrapposti.

Le operazioni sin ora descritte sono state "anticipate", con tutte le ovvie differenze di scala, su un modello ligneo in rapporto 1:10 (Vol. II, Tavv. 179-181). Ciò ha consentito di verificare la sequenza della fasi di taglio del metodo esposto e la coerenza geometrica del montaggio dei blocchetti/conci. Il modello ligneo rappresenta lo strumento più immediato di comunicazione e di esposizione di gran parte delle problematiche connesse al "mondo delle volte aeree", amplificando il processo di osservazione e riflessione di tutti coloro che pur non conoscendo l'argomento sono catturati dall'*enigma* geometrico, costruttivo e statico.

5.4. Punti critici a confronto

Volendo, in conclusione, raffrontare le tre tecniche presentate, esprimendone un giudizio sintetico attraverso i livelli di "difficoltà" delle singole fasi del processo costruttivo stereotomico, divise in *determinazione dei panneaux e dei beveaux*, *taglio di superfici piane*, *taglio di superfici complesse*, risulta utile commentare la seguente tabella:

	Determinazione dei panneaux e beveaux	Taglio di superfici piane	Taglio di superfici complesse
- Progettazione manuale - Costruzione manuale	<i>Difficoltà alta</i>	<i>Difficoltà media</i>	<i>Difficoltà alta</i>
- Progettazione CAD - Costruzione semi-manuale	<i>Difficoltà media</i>	<i>Difficoltà bassa</i>	<i>Difficoltà media</i>
- Progettazione CAD - Costruzione CAM	<i>Non serve</i>	<i>Difficoltà alta</i>	<i>Difficoltà bassa</i>

Le tre tecniche considerate riguardano:

1. *progettazione/costruzione manuali*,
2. *progettazione CAD e costruzione semi-manuale*²²⁴,
3. *progettazione/costruzione CAD/CAM*.

Al fine della determinazione dei *panneaux* e dei *beveaux*:

la prima tecnica presenta una *difficoltà alta* dell'esecuzione perché presuppone una competenza geometrica specifica nelle fasi di tracciamento in scala della forma dell'elemento architettonico; la seconda tecnica, presupponendo un livello medio di conoscenza dei comuni CAD, presenta una *difficoltà media* dell'esecuzione se questa deriva da una modellazione bidimensionale dell'elemento, mentre una *difficoltà bassa* se i *panneaux* derivano da una modellazione tridimensionale dello stesso; la terza tecnica non ha bisogno del tramite di *panneaux* e *beveaux* per la costruzione dell'elemento.

Al fine della costruzione di conci conformati da facce piane, quindi per il *taglio di superfici piane*:

²²⁴ Per costruzione semi-manuale intendiamo tutti quei processi che fanno uso di strumenti, per il taglio della pietra anche informatizzati nel loro funzionamento interno ma per l'uso dei quali la "manualità" è importante: seghe a disco di vario genere, martelletti pneumatici, ecc..

la prima tecnica presenta *difficoltà media* dell'esecuzione se gli utensili di lavoro sono quelli della tradizione, assolutamente non meccanizzati; la seconda tecnica presenta *difficoltà bassa* in quanto con utensili meccanizzati di uso manuale è possibile operare facilmente tagli diretti e con differente angolazione tra le facce contigue del concio; la terza tecnica presenta *difficoltà alta* quando si utilizzano macchine con utensili a rotazione (ad es. impossibilità di realizzare spigoli vivi concavi) o quando il concio presenta sottosquadri tra facce contigue (il blocco subisce continue roto-traslazioni sul piano macchina, al fine di lavorare le parti sottosquadro, che inficiano il risultato finale della lavorazione).

Al fine della costruzione di conci conformati superfici curve, quindi per il *taglio di superfici complesse*:

la prima tecnica presenta *difficoltà alta* dell'esecuzione se gli utensili di lavoro sono quelli della tradizione, incorrendo facilmente in errori di realizzazione delle superfici; la seconda tecnica presenta *difficoltà media* dell'esecuzione in quanto l'utensile meccanizzato è comunque "guidato" dalla mano durante il taglio il che può comportare inesattezze nella realizzazione; la terza tecnica presenta *difficoltà bassa* in quanto la lavorazione, totalmente informatizzata, può essere mirata a quelle pari del concio che presentano la complessità superficiale (lavorazione mirata).

Da quanto detto, appare chiaro che la realizzazione di un concio (e quindi il sistema di cui fa parte) progettato *stereotomicamente*, deve essere sempre preceduta da una attenta valutazione critica delle diverse tecniche costruttive, al fine di ottimizzare i processi produttivi e garantire la giustezza morfologica dell'elemento lapideo.

Dott. Giuseppe Fallacara

VOLUME I. Testo critico

5. Tecniche costruttive stereotomiche
a confronto: tradizione/innovazione,
tre casi-strudio

Il paradigma stereotomico nell'arte del costruire.

Dalla natura sincretica della modellazione digitale alla

progettazione/costruzione di elementi architettonici in pietra da taglio.

6. Considerazioni conclusive

...e che la disciplina è molto difficile da professare e mettere in opera. Perché non la si può facilmente insegnare attraverso la lettura e la scrittura. Per la quale mi si potrà scusare, se in tutti questi discorsi non sia stato capace di spiegare bene e far intendere, come avrei voluto e desiderato: dato che mi impegno con tutte le mie forze e la piccola grandezza di spirito. Ma voi sapete che tutte le nuove scritture e invenzioni non sono mai esenti da grandi difficoltà e lavoro.

Philibert de l'Orme²²⁵

6.1. Metodologia "dimostrativa" dell'analisi

Nella convinzione che non c'è storia che si faccia una volta per tutte, dalla più ampia e monografica alla più piccola, le presenti considerazioni conclusive riportano alcune riflessioni contenute nella trattazione della tesi, con l'auspicio che possano servire per ricerche o analisi future ad implemento o complemento della stessa.

La volontà della "dimostrazione" metodologica e pratica a corredo di ogni argomento trattato, dalle analisi storiche alle sperimentazioni contemporanee, è stato il cruccio imperativo della tesi.

I risultati conseguiti, non assumono certamente il valore di assoluta compiutezza, soprattutto nei casi della "giovane" sperimentazione sul carattere *sincretico* della modellazione *infografica* tridimensionale, ma tracciano alcune strade di ricerca, tanto proficue quanto poco battute che meriterebbero approfondimenti multidisciplinari più marcati.

L'aver assunto la metodologia dimostrativa, come mezzo diretto nell'analisi della disciplina stereotomica, si è dimostrata tappa obbligata sin dall'inizio della ricerca. Possiamo ora dire, con cognizione di causa, che è possibile "parlare" di stereotomia solo ed esclusivamente se supportati da un grande "esercizio applicato", tra disegno e costruzione (reale o virtuale), vera anima storica della disciplina.

²²⁵ P. de l'Orme, *Le Premier*. cit., Libro IV, Prologo, f. 87v

La conoscenza della geometria, del disegno in scala o del tracciamento sul blocco lapideo, delle tecniche di taglio della pietra, rappresentano alcuni fra i termini basilari della "dimostrazione" dell'analisi disciplinare.

La forte affinità, concettuale/operativa, tra stereotomia e modellazione *infografica* solida, ha permesso di trasformare i termini della "dimostrazione", da *fisici* a *virtuali*, restituendo singolari aggiornamenti nella speculazione disciplinare. Il processo di *smaterializzazione*, delle peculiari azioni di costruzione stereotomica, slegandosi dai vincoli fisico/materici, ha concesso maggiore libertà riflessiva alle analisi riguardanti: lo spazio, la forma, la composizione volumetrica, la scomposizione in parti, l'apparecchiatura, la decorazione, la costruzione, il montaggio, la statica e la meccanica di corpi rigidi.

La riflessione teorica, nella fattispecie, ha sempre seguito i risultati di una dimostrazione applicata, non potendosi allontanare da questa senza incorrere nel rischio di ricalcare luoghi comuni o conoscenze ampiamente assodate.

L'intera tesi, all'interno delle differenti argomentazioni, si è basata su due tipi di dimostrazioni: *una diretta*, e *una indiretta*. Alla prima fanno capo tutte quelle "prove" direttamente fornite sia con l'ausilio dei mezzi informatici, sia attraverso la realizzazione fisica degli "oggetti". Tale dimostrazione diretta ha consentito una chiarezza oggettiva dell'argomentazione e ha permesso valutazioni critiche non ambigue. Alla seconda fanno capo tutte quelle prove o indizi forniti in maniera indiretta attraverso la lettura/interpretazione dei trattati storici sulla disciplina stereotomica. Tale dimostrazione ripropone oggettivamente alcuni "fatti storici", ovviamente non prodotti direttamente, a cui si è dato valore grazie al metodo del confronto con altri "fatti storici" che ripropongono la stessa argomentazione.

Nel corso dell'intero sviluppo della tesi, riassumendo, si è fatto maggiormente uso di *dimostrazioni dirette* quando si è analizzato rigorosamente, uno o più elementi dell'architettura stereotomica, e precisamente nei capitoli III, IV, e V (del

Volume I), ove sono state "create" direttamente le prove della "dimostrazione"; mentre si è fatto maggiormente uso di *dimostrazioni indirette* quando si sono formulate le ipotesi storico/relazionali dell'architettura in pietra da taglio, precisamente nei capitoli I e II (del Volume I).

Un approccio, quindi *dimostrativo diretto* per tutto ciò che non ha ancora storia, che ha bisogno di prove per essere convalidato; un approccio *dimostrativo indiretto* per tutto ciò che è commento critico di *documenti* storicamente prodotti.

6.2. Nodi critici dei singoli capitoli della tesi

Ripercorrendo con ordine l'intero sviluppo della tesi, occorre dare rilievo ai riverberi e ai punti di forza di ogni singolo capitolo, al fine di, consegnare un chiaro e utile testimone agli studi futuri, tentando di attuare un "ponte metodologico" di continuità su cui far incamminare le prospettive di ricerca.

- Il primo capitolo, ripercorrendo storicamente le tappe notevoli dell'architettura in pietra da taglio, propone una lettura dell'architettura *sub specie stereotomica*. Tale categoria interpretativa, applicata all'analisi di un monumento architettonico (sistema/parte/elemento), è finalizzata a decrittare la genesi geometrica delle forme e i processi tecnico/realizzativi delle stesse. Questa, potrebbe estendersi in maniera creativa, oltre l'arco temporale già indagato, allo studio del costruito pre-moderno, rilevando interessanti quanto inaspettate filiazioni stilistiche dirette dalla disciplina. Ciò dimostrerebbe l'assoluta vitalità della "lezione stereotomica" sino alle soglie della metà del novecento.
- Il secondo capitolo, delineando il "profilo" odierno delle ricerche sulla stereotomia, ipotizza una strutturazione teorico/pratica della disciplina, direttamente rivolta al carattere multidisciplinare della Progettazione architettonica contemporanea. I principali termini della speculazione disciplinare, oltre a implicare i più ampi

margini della *concettualizzazione della progettazione stereotomica*, racchiudono i temi dell'*aggiornamento delle tecniche stereotomiche* attraverso sistemi informatici CAD/CAM; *i materiali della costruzione stereotomica* tra risorse naturali e riutilizzi di scarti di cava; e *l'approntamento di tecniche di calcolo strutturale* compatibili con strutture discontinue lapidee. L'aggiornamento di queste tematiche rappresenta un percorso di ricerca, tanto arduo quanto ricco di risorse, per l'avvenire della Costruzione in pietra.

- Il terzo capitolo, indagando sull'origine della codifica dell'*art du trait géométrique chez Philibert Delorme*, propone metodicamente i "passaggi chiave" dello studio interpretativo di specifici *folia* del trattato. Contenuti, nella fattispecie nel Libro IV (*Le Premier Tome de l'Architecture*) in cui si descrive la tecnica del *trait géométrique*, finalizzata alla progettazione/costruzione della trompe, elemento cardine della storia della stereotomia. L'attenzione, anche quando l'analisi è fortemente immersa nel dato storico, è sempre rivolta alla potenziale *generalizzabilità* concettuale della problematica, criticamente individuata.
- Il quarto capitolo, proponendo una breve sintesi "tipologica" del mondo della modellazione *infografica* tridimensionale, presenta una personale strutturazione/classificazione degli elementi della "stereotomia digitale", modellati e organizzati secondo il principio di "continuità geometrica" fra le "forme" stereotomiche. La volontà di disvelare "l'impalcatura geometrica" nascosta nell'architettura è la principale preoccupazione di questo capitolo, che è a commento del Volume II della tesi.

Per descrivere il valore didattico/formativo, connesso ai processi di analisi e modellazione solida degli elementi dell'architettura stereotomica, riportiamo

quanto Andrea Giordano²²⁶ sostiene nel suo studio, molto vicino alle nostre intenzioni, attinente alla lettura del ruolo che le superfici svolgono in sede configurativa e geometrico-strutturale degli spazi architettonici:

La conoscenza e lo studio delle superfici (n.d.a. che avvilluppano e definiscono i solidi della composizione architettonica) stimola dunque lo sviluppo delle capacità creative, poiché, allargando il campo delle possibili scelte figurative, favorisce l'invenzione di nuove intersezioni e mutue relazioni tra le parti; ma non solo in sede progettuale appare indispensabile quella conoscenza, poiché consente altresì di osservare, comprendere e quindi comunicare l'architettura già costruita.

- Il quinto ed ultimo capitolo, individuando e descrivendo dettagliatamente tre tecniche di costruzione in pietra da taglio, dalla più tradizionale alla più "informatizzata", trasmette alla progettazione odierna in pietra, un sostanziale quanto implicito invito a riflettere sulle potenzialità connesse all'aggiornamento delle ragioni stereotomiche. Con il progetto *Locus finis terrae* si lancia una "sfida" alle capacità progettuali/realizzative contemporanee, sottolineando la necessità ed il bisogno programmatico di sperimentare e normare, il "modo stereotomico" della progettazione architettonica.

Concludendo, il presente lavoro, in continuità con altre ricerche, già sviluppate o in corso d'opera, nel dipartimento ICAR sotto la direzione del prof. Claudio D'Amato, è teso a colmare una lacuna esistente all'interno della letteratura scientifica sui rapporti tra stereotomia e architettura, per lo più ancorata alle letture di architetture storiche, o alla comprensione di quesiti geometrici.

²²⁶ A. Giordano, *Cupole volte e altre superfici. La genesi e la forma*, Utet, Torino, 1999, pp. 3-4.

Questa tesi, corredata di immagini inedite, tutte realizzate da chi scrive, oltre a sottolineare lo stretto legame che intercorre tra pensiero scientifico ed espressione artistica, vuole proporsi come guida figurata a una più profonda conoscenza della disciplina.

Essa infine è un piccolo quanto personale omaggio alla mirabile opera di Philibert de l'Orme.

*Doncques ie vous veux bien protefter que ce que i'en efcris ne
tend à autre fin qu'à iuftruire & apprendre les hommes de
bonne volonté, & fignamment les ignorants, aufquels ie defire
de bon cueur communiquer le talent lequel Dieu m'a
liberalment donné en ce peu de cognoiffance que i'ay de l'art
d'Architecture.*

*(L'auteur n'efcrire pour gloire, mais bien pour enfeigner les
ignorants)²²⁷*

***Dunque voglio ben chiarire che quello che scriverò non tende
ad altro fine che ad istruire e ad insegnare agli uomini di
buona volontà, e specialmente agli ignoranti, ai quali io
desidero di buon cuore comunicare i talenti che Dio mi ha
donato liberamente per questa piccola conoscenza che ho
sull'arte dell'Architettura.***

(L'autore non scrive per la gloria, ma per insegnare agli ignoranti)

Philibert de l'Orme

²²⁷ P. de l'Orme, *op. cit.*, Libro IV, cap. I, f. 88r.

7. Bibliografia ragionata:

7.1. Stereotomia: fonti primarie:

7.1.1. Manoscritti

- Boye, Blaise, *L'Architecture des voutes*, ms inv. Ms. 619 Bibliothèque Municipale Bordeaux, 1741.
- Chéreau, Jean, *Livre d'architecture*, ms n. 2280 biblioteca municipale Gdansk (Danzica), 1567-74.
- La Hire, Philippe de, *Traité de la coupe des pierres*, ms n. 1596 Bibliothèque de l'Institut de France, Paris.
- Villard de Honnencourt, *Disegni*, ms. Biblioteque Nationale Paris (ed. it. a cura di AA.VV., Jaca Book, Milano 1988).

7.1.2. Trattati

- Adhémar, Joseph-Alphonse, *Traité de la coupe des pierres*, II ed., Colin, Paris 1840.
- Blanchard, Edme, *Traité de la Coupe des Bois pour le revêtement des Voutes, Arrières-Voussures, Trompes ...*, Josse et Jombert, Paris 1729.
- Bosse, Abraham, *La Pratique du Trait a preuves de Mr. Desargues Lyonnois, pour la Coupe des Pierres en l'Architecture*, Paris 1643.
- 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 Coursus seu mundus mathematicus*, Lugduni, ex officina Anissoniana, 1674.
- Delorme, Philibert, *Le premier tome de l'architecture...*, Paris 1567 (succ. 1568, 1576, Rouen 1648, 1894, Bruxelles 1981, Paris 1988).
- Delorme, Philibert, *Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Paris, 1561.
- 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.
- Douliot, J.-P., *Traité spécial de coupe des pierres*, Dunod, Paris 1825.
- Frézier, Amédée-François, *Eléments de stéréotomie à l'usage de l'architecture puor 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).
- Guarini, Guarino, *Architettura civile*, postuma, 2 vol., Torino 1737 (succ. London 1964, Milano 1968).
- 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).
- Jousse, Mathurin, *Le Secret d'Architecture, decouvrant fidèlement les traits Géométriques, Coupes & Dérobemens nécessaires dans les Bastimens*, La Flèche 1642 (privilege del 1635).
- 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.

- 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.
- Pillet, Jules-Jean, *Traité de stéréotomie, charpente et coupe des pierres : texte et dessins*, Delagrave, Paris 1887.
- Ponte Francisco y Blanco, *Tratado práctico de Estereotomia, aplicaciones al corte de piedras, maderas y hierros*. La Coruna, 1921.
- 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.
- 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.

7.2. Stereotomia: fonti secondarie:

7.2.1. Studi dei trattati

- 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.
- Camerota, Filippo, *Prospettiva aedificandi. Ottica, stereotomia e architettura obliqua*, tesi del dottorato di ricerca, Firenze 1994.
- Chasles, Michel, *Aperçu Historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, Paris 1837, pp. 331-4.
- Damisch, Hubert, *L'origine de la perspective*, Paris, Flammarion, 1987.
- Deforge, Yves, *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*, Editions du Champ Vallon, 1981, pp. 48-55.
- Evans, Robin, *The Projective Cast*, MIT Press, Cambridge Mass. 1995, pp. 179-239.
- Fourrey, Emile, *Notions de stéréotomie*, 1955.
- Giordano, Andrea, *Cupole volte e altre superfici. La genesi e la forma*, Utet, Torino, 1999.
- Guillaume, Jean, *Philibert Delorme: un traité différent*, in "Les Traités d'Architecture de la Renaissance", Picard, pp. 347-54.
- 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.
- Mueller, Werner, *The authenticity of Guarini's Stereotomy in his Architettura Civile*, in "Journal of Society of Architectural Historians", n. XXVII (1968), pp. 202-8.
- Palacios, José Carlos, *Trazas y cortes de cantiera en el Renacimiento espanol*, Madrid, 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.

- Poitié, Philippe, *Philibert Delorme: figures de la pensée constructive*, Parenthèses, Paris 1996.
- Poitié, Philippe, *Philibert Delorme : la théorie du projet architectural à la Renaissance*, thèse de doctorat, Paris, Ecole des Hautes Etudes en Sciences sociales, 1984, multig.
- 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.
- 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'Histoire de la Géométrie Descriptive*, Paris 1954.

7.2.2. Biografie e monografie

- Blunt, Anthony, *Philibert Delorme*, London 1958 (trad. francese, Paris 1963).
- Bonnet Saint-Georges Dominique, *Philibert de l'Orme lyonnais*, Les dossier des Archives Municipales 5, Lyon, 1993.
- Clouzot H., *Philibert Delorme*, Paris, 1910.
- Dhombres, Jean; Sakarovitch, Joël, *Desargues en son temps*, Blanchard, Paris, 1994.
- Ivins, William, *A note on Girard Desargues*, in "Scripta Mathematica", vol. 9 1943, pp. 33-48.
- Pfnor, Rodolphe, *Monographie du château d'Anet, construit par Philibert de l'Orme en MDXLVIII*, Paris 1867.
- Pérouse de Montclos J.-M., *Philibert de L'Orme, architecte du roi(1514-1570)*, Paris, 2000, 388 p. ill.
- Portoghesi Paolo, *Bernardo Vittone. Un Architetto tra illuminismo e Rococò*, Edizioni dell'Elefante, Roma, 1966.
- Poudra, Noël Germain, *Ouvres de Desargues*, 2 vol., Leiber, Paris 1864.
- 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.
- Taton, René, *L'Oeuvre Scientifique de Monge*, Paris 1951.
- Taton, René, *L'œuvre mathématique de G.Desargues (1951)*, Lyon, 1988.
- Vachon M. , *Philibert de l'Orme*, Paris s.d. (1887).
- Yturbe C. De, *Le château d'Anet*, Ingersheim, 1993.

7.2.3. Studi tematici

- Chappuis, René, *Géométrie et structure des coupoles sur pendentifs dans les églises romanes entre Loire et Pyrénées*, in "Bulletin monumental" (1962), pp. 7-39.
- Chatelet-Lange L., *Philibert de L'Orme à Montceaux-en-Brie.Le pavillon de la grotte, Architectura*, 1973-2, p.p. 153-170.
- Chatenet, Monique, *Le château de Madrid au bois de Boulogne*, Paris, Picard, 1987.
- Chevalier (Abbé), *Lettres et devis de Ph. De l'Orme*, Paris, 1864.
- Deshoulières, François, *Les trompes des coupoles romanes en France*, in "Bulletin archéologique" (1927), pp. 367-78.
- Dobson, Edward, *Masonry and Stonecutting*, 12^a ed., London 1903.
- Du Colombier, Pierre, *Les chantiers des cathédrales, ouvriers, architectes,sculpteurs*, Paris, Picard, 1953.
- Epron, Jean-Pierre, *L'édifice idéal et la règle constructive*, Paris, 1980.

- Evans, Robin, *La trompe di Anet*, in "Eidos" n. 2 (1988), Asolo Arti, pp. 50-7.
- 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.
- Grashoff E., *Die schlosskapelle von Anet und die deutsche Barockarchitektur*, Zeitschrift des deutschen Vereins für Kunstwissenschaft, VII, 1940, p.123 et svtes.
- Guillaume, Jean, *De L'Orme et Michel-Ange*, in *Il se rendit en Italie : études offertes à André Chastel*, Paris, edizione dell'Elefante-Flammarion, 1987.
- Hauteceur, Louis, *De la trompe aux moukarnas*, in "Gazette des Beaux-Arts" (1931), pp. 27-59.
- Héliot P., *documents inédit sur le château d'Anet*, Mémoires de la société des antiquaires de France, 1951, pp.257-269.
- Herbert F., *Les travaux de Philibert Delorme à Fontainebleau*, Annales de la société d'histoire et d'archéologie du Gatinais, 1894, p.p.6-8.
- 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.
- Mayer M., *Le château d'Anet*, 1952, nouv.éd. remise à jour par Ch.de Yturbe, Anet, 1989, 88 p.
- Mouton B., *Crypto-portique d'Anet*, Monuments historiques, 164, Chateaux du Val-de-Loire, juillet-aout 1989, pp.30-33.
- Mueller, Werner, *Guarini e la stereotomia*, in "Guarino Guarini e l'internazionalità del barocco", Torino 1970, vol.1 pp. 531-56.
- Pauwels, Yves, *Philibert de L'Orme et l'ordre inique* in *L'Emploi des ordres dans l'architecture de la Renaissance*, Paris, Picard, 1992 (colloque de Tours des 9-14 juin 1986 sous la direction de Jean Guillaume).
- Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *Philibert de L'Orme en Italie*, in *Il se rendit en Italie : études à André Chastel*, Paris, edizione dell'Elefante-Flammarion, 1987.
- Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *La charpente à la Philibert de L'Orme, réflexions sur la fortune des techniques en architecture*, in *Les chantiers de la Renaissance*, Paris, Picard, 1991.
- Pérouse de Montclos J.-M., dir., *Anet, Le guide du patrimoine, Centre-Val de Loire*, Paris, 1992, pp. 112-123.
- Pérouse de Montclos J.-M., *Anet (Eure-et-Loir). Château, Philibert de L'Orme, architecte du roi (1514-1570)*, Paris, 2000, pp.254-275.
- Picon, Antoine, *Architectes et ingénieurs au Siècle des Lumières*, Marseille, Parenthèses, 1988.
- Porcher J., *Les premières construction de Philibert Delorme au château d'Anet*, Bulletin de la société de l'histoire de l'art français, 1939, pp.6-17.
- Roux A., *Le château d'Anet*, M.E. Lefèvre-Pontalis (dir.), Paris, s.d. (1911), 134 p. (petites monographies des grands édifices de la France).
- Roy, Maurice, *Anet*, in "Bulletin de la Société de l'histoire de l'art français" (1924), pp. 122-80.
- Salmon Jacqueline Jean Louis Schefer, *8 rue Juiverie-la lumière élargie*, Editions Comp'Act, Lyon, 1989.
- Siguret, Philippe, *Les voûtes plates*, in "Gypsum" (1963), pp. 94-8.
- Vaquier J., *Anet, les anciens chateaux de France*, IV série, L'Ile-de-France, Paris, 1922, pp.1-8.

7.2.4. Sul rinascimento francese

- Androuet Du Cerceau, Jacques, *Le premier volume des plus excellents bastiments de France*, Paris 1576-79.
- Babelon J.P., *Anet, Chateaux de France au siècle de la Renaissance*, Paris, 1989, p.p.419-428.
- Brière Mme G., *Le tombeau de Diane de Poitiers et sa restitution au château d'Anet*, *Bulletin de la société de l'histoire de l'art français*.1966, p.23-47.
- De Laborde L., *Comptes des batiments du roi(1528-1571)*, Paris, 1877-1880.
- Gébelin F., *Les chateaux de la Renaissance*, Paris, 1927, 304.
- Gilles, Bertrand, *Les ingénieurs de la Renaissance*, Paris, Hermann, 1964 (rééd.Paris, Seuil, 1978).
- Guiffrey, Jules, *Artistes parisiens du XVI et XVII siècles*, Paris, 1915.
- Guillaume, Jean, (sous la direction de), *Les chantiers de la Renaissance*, Paris, Picard, 1991 (actes des colloques se Tours 1983 et 1984).
- Hautecoeur, Louis, *Histoire de l'architecture classique en France*, Paris, Picard, 1965, livre I.
- Mignot C. *Le triomphe des ordres d'architecture. Du Louvre aux Tuileries, Histoire de l'art, Temps modernes, XV-XVIII siècles*, Paris, 1996, p.214.
- Palustre L. , *La Renaissance en France*, Paris, 1879-89, 3 voll.
- Pauwels Y., *Les Français à la recherche d'un langage : les ordres hétérodoxes de Philibert Delorme et Pierre Lescot*, *Revue de l'art*, n.112, 1996-2, p.p. 9-15.
- Pérouse de Montclos J.-M., *Le château d'Anet, histoire de l'architecture française de la Renaissance à l Révolution*, Paris, CNMHS, 1989,pp.104-108.
- Roy, Maurice, *Artistes et monuments de la Renaissance en France*, Paris, 1929, p.p. 160-390.
- Von Geymuller H. , *Die Baukunst der Renaissance in Frankreich*, Stuttgart, 1898-1901, 2 voll.

7.2.5. Altri Trattati

- Boito Camillo, *Ornamenti di tutti gli stili*. Ulrico Hoepli, Milano, 1881.
- Borrel, Jean (Buteus)-*Apologia adversus epistolam Jacob Peletarii*. Lione, Iovio, 1562.
- Lévi-Strauss, Claude, *Anthropologie structurale*, Paris, Plon, 1974.
- Lévi-Strauss, Claude, *La voie des masques*, Paris, Plon, 1979.
- Peletier, Jacques-*Disquisitiones geomerticae*. Lione, Tournes, 1567.
- Vittone Bernardo, *Istruzioni Elementari*, Torino, 1760.
- Vittone Bernardo, *Istruzioni Diverse*, Torino, 1766.

7.3. Modellazione infografica

7.3.1 Contributi teorici

- Aspettati P., S. Buralli, G. Cascini, P. Rissone, G. Taddei, M. Toderi, *Metodologie di impiego e valutazioni critica di strumenti di prototipazione virtuale per la PMI*.
- Baker R., *Designing the future. The computer transformation of reality*, Thames & Hudson, Hong Kong, 1993.
- Booch, G. "Object oriented design". The Benjamin/Cummings, Redwood, CA. 1991.
- Empler T., *Il Disegno Automatico tra progetto e rilievo*, Officina Edizioni, Roma, 2002.
- Farin G.E. "Curves and Surfaces for Computer-Aided Geometric Design ", A Practical
- Gallarini S., *La realtà virtuale*, Xenia Edizioni Milano, 1994.
- Jacobs, S. "The Cad design studio. 3d modelling as a fundamental design skill". Mcgraw-Hill. New York, NY. 1991.
- Madrazo, L. "Design education with Computers". CAAD Futures '91, In G. Schmitt (ed.), Zürich. 1991.
- Maldonado T., *Reale e virtuale*, Feltrinelli Editore, Milano, 1998.
- Mitchell, W. Liggett, R. e Kvan T. "The art of computer graphics programming", Van Nostrand Reinhold, New York, NY. 1987.
- Migliari R., *Fondamenti della Rappresentazione Geometrica e Informatica dell'Architettura*, Edizioni Kappa, Roma, 2000.
- Mitchell, W. Liggett, R., Pollalis, S. e Tan, M. "Integrating shape grammars and design analysis". CAAD Futures '91, In G. Schmitt (ed.), Zürich. 1991.
- Mortenson M.E. "Geometric Modeling", Ed. John Wiley & Sons, 1997.
- Polevoi R., *3D Studio Max R3 In Depth*, The Coriols Group, Inc, 1999. Edizione italiana, Apogeo, Milano 2000.
- Roller D.C., F. Shonek, and A. Verroust. *Dimension-driven geometry in CAD: a survey*. In: Theory and Practice of Geometric Modeling, Springer-Verlag, Berlin FRG, 1989.
- Salvioni G., *Architettura & Computer. Strumenti digitali per la gestione e redazione del progetto di architettura*, Edizioni Kappa, Roma, 2000.
- Scolari, Massimo, *L'idea di modello*, in "Eidos" n. 2 (1988), pp. 22-3.
- Vanier, D. "Hypertext: A computer tool to assist building design". The Electronic design studio, In M. McCullough, W. Mitchell e P. Purcell (eds.). MIT Press, Cambridge, MA. 1990.

7.3.2. Modellazione infografica parametrica

- Aldefeld B., H. Malberg, H. Richter, and K. Voss. *Rule based variational geometry in Computer Aided Design*. In: D.T. Pham, editor, Artificial Intelligence in Design, pp. 27-46, Springer-Verlag, Berlin FRG, 1991.
- Chung J.C.H., and M.D. Shussel. *Comparison of variational and parametric design*. In Proceedings of AutoFact 89, 1989.
- Cugini U., C. Devoti, and P. Galli. *A system for parametric definition of engineering drawings*. In: Proceedins of MICAD 85, Hermès, Paris France, 1985.
- Cugini U., F. Folini, and I. Vicini. *A procedural system for the definition and storage of technical drawings in parametric form*. In: D.A. Duce and P. Jancene, editors, Eurographics 88: Proceedings of the European Computer Graphics Conference and Exhibition (Nice France, 12-16 September 1988), pp. 183-196, Eurographics, North-Holland, Amsterdam NL, 1988.

- Chen, C.C. Kramel, H. "BAU: A knowledge-based system for the investigation of a basic architectural unit". CAAD Futures '91, In G. Schmitt (ed.), Zürich. 1991.
- Eastmann, C. e Lang, J. "Experiments in architectural design development using Cad". CAAD Futures '91, In G. Schmitt (ed.), Zürich. 1991.
- Folini F., and I. Vicini. *Un sistema per la descrizione e manipolazione di disegni tecnici in forma parametrica*. In: Proceedings of AICA 87 annual conference (Trento Italy, 30 September 2-October 1987), pp. 203-222, AICA, October 1987.
- Gobetti, E. e Turner, R. "Object-oriented design of dynamic graphics applications". New trends in animation and visualization In N. e D. Thalmann (eds.). John Wiley and Sons, New York, NY. 1988.
- Light R.A., and D.C. Gossard. *Modifications of geometric models through variational geometry*. Computer Aided Design, 14(4):209-214, July 1982.
- McMahon C.A., K. Lehane, J.H.S. Williams, and G. Webber. *Observations on the application and development of parametric-programming techniques*. Computer Aided Design, 24(10):541-546, October 1992.
- Shah J.J., M. Mantyla: " Parametric and Feature-Based CAD/CAM ", concepts, techniques, applications, Ed. John Wiley & Sons, 1997.
- Verroust A., F. Schonek, and D.C. Roller. *Rule-oriented method for parametrized computer-aided design*. Computer Aided Design, 24(10):531-540, October 1992.