

IL MODELLO IN ARCHITETTURA

cultura scientifica e rappresentazione



a cura di
Emma Mandelli
e *Uliva Velo*

MATERIA E GEOMETRIA
18/2010

COLLANA DELLA SEZIONE
ARCHITETTURA E DISEGNO
DEL DIPARTIMENTO
DI ARCHITETTURA - DISEGNO, STORIA, PROGETTO
DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

Direttore:
EMMA MANDELLI

Consiglio di redazione:
M. TERESA BARTOLI MARCO BINI
ROBERTO MAESTRO ROBERTO CORAZZI

© copyright ALINEA EDITRICE S.R.L. - Firenze 2010
50144 Firenze, via Pierluigi da Palestrina, 17/19 rosso - Tel. 055/333428 - Fax. 055/331013

tutti i diritti sono riservati; nessuna parte può essere riprodotta in alcun modo
(compresi fotocopia e microfilms)

e-mail: ordini@alinea.it
info@alinea.it
http://www.alinea.it

ISBN 978-88-6055-571-7

in copertina: Guarino Guarini, Cupola della Chiesa di San Lorenzo a Torino
fotografia di Giulia Galeotti

Publicato con i fondi:

Ricerca MIUR (ex 40%)

Progetto di ricerca COFIN 2007 dal titolo generale *Metodologie integrate per il Rilievo, il Disegno, la Modellazione dell'Architettura e della Città*

Coordinatore nazionale: *Mario Docci*

Unità di Ricerca dell'Università degli Studi di Firenze, titolo ricerca:

Il modello in architettura: cultura scientifica e rappresentazione

Coordinatore e Responsabile scientifico: *Emma Mandelli*

e con il parziale contributo relativo al

Convegno Internazionale AED *Disegnare il tempo e l'armonia. Il disegno di architettura osservatorio nell'universo*, Firenze, 17-19 settembre 2009

Coordinatore e Responsabile scientifico: *Emma Mandelli*

Comitato di redazione:

Emma Mandelli, Gaia Lavoratti, Uliva Velo

Realizzazione del progetto editoriale:

Uliva Velo

Finito di stampare nel settembre 2010

-

stampa: Genesi Gruppo editoriale s.r.l. - Città di Castello (Perugia)

IL MODELLO IN ARCHITETTURA
cultura scientifica e rappresentazione

a cura di *Emma Mandelli e Uliva Velo*

Scritti di:

Laura Aiello

Maria Teresa Bartoli

Carlo Battini

Michela Bigagli

Giuseppe Conti

Roberto Corazzi

Carmela Crescenzi

Sara D'Amico

Sergio Di Tondo

Filippo Fantini

Giulia Galeotti

Erica Ganghereti

Francesca Grillotti

Stefania Iurilli

Marco Jaff

Gaia Lavoratti

Emma Mandelli

Alessandro Merlo

Marcello Scalzo

Uliva Velo

Giorgio Verdiani

Firenze, settembre 2010

Il presente volume raccoglie gli scritti del gruppo dei ricercatori della Unità fiorentina facente parte della ricerca ministeriale dal titolo: Metodologie integrate per il Rilievo, il Disegno, la Modellazione dell'Architettura e della Città, Coordinatore nazionale Mario Docci.

Nello scritto di copertina della ricerca precedente, pubblicata nel volume n° 17/2007 di Materia e Geometria, si faceva un chiaro riferimento alla necessità di continuare a studiare il problema del Modello geometrico in quanto vero riferimento per ogni tipo di rappresentazione dell'architettura. Tutte le esperienze svolte avevano messo allora in evidenza che non era la pratica e l'uso dei sistemi a disposizione il problema attuale della rappresentazione, ma la costruzione di un modello che permettesse di passare dalle idee alla vera visualizzazione e comprensione scientifica dell'oggetto trattato.

Partendo da questo presupposto, ben noto a tutti i partecipanti della ricerca, l'Unità fiorentina ha affrontato lo studio dal titolo Il modello in architettura: cultura scientifica e rappresentazione. Appare interessante il fatto che essendo i ricercatori già addentro all'argomento si sia ritenuto necessario, e denunciato nel titolo, l'obiettivo di fare un punto sui concetti speculativi di partenza, una sorta di verifica a ritroso sui significati del modello, definizione interpretazione storica e linguaggi attuali.

Molto ci sarebbe da indagare sull'argomento in generale, ma la scelta è stata quella di creare delle note sintetiche di riferimento teorico, di esporre in parallelo le esperienze svolte dai partecipanti che hanno stretto maggiormente il tema, nelle scale operative obiettivo del programma, e studi specifici sui programmi informatici di interesse.

Il concetto di modello qui si è svelato nei suoi aspetti di contenuto e di mezzo per la comunicazione visiva. Tralasciando tutti quegli esempi di altre aree scientifiche e tecnologiche, interessanti anche per l'architettura, ma con soluzioni finali non congruenti ad essa, i temi affrontati si sono concentrati per la maggior parte sulla soluzione della ricerca dei modelli virtuali discreti (e densi) per conciliare rappresentazioni ed informazioni scientifiche adeguate per tutte le elaborazioni possibili.

Come sempre, ed anche in questo caso, le ricerche si pongono come un percorso che si annoda ai risultati precedenti e lascia aperta la strada a considerazioni che, si auspica, permetteranno la prosecuzione della ricerca stessa nel prossimo futuro.

E.M.

INDICE

INTRODUZIONE

<i>Emma Mandelli</i>	11	Modello/idea ... modello/riferimento ... modello/rappresen- tazione ...
----------------------	----	--

I MODELLI E GLI ESEMPI

Architettura

<i>Maria Teresa Bartoli</i>	21	Palazzo Vecchio a Firenze: la firmitas
<i>Marco Jaff, Michela Bigagli</i>	33	Dal reale al virtuale - I modelli della sala di Bona in Palazzo Pitti e del salone scomparso di Palazzo Guadagni di San Clemente: due casi a confronto
<i>Marcello Scalzo</i>	51	Rinascimento tra disegno e modello: Baccio d'Agnolo e l'esempio per la chiesa di San Giuseppe
<i>Sergio Di Tondo</i>	61	Modelli digitali per la comprensione dell'aspetto originario del manufatto: architettura e apparato decorativo del Teatro Marittimo a Villa Adriana

Elementi di architettura: i sistemi voltati

<i>Roberto Corazzi</i>	73	Cupola di Santa Maria del Fiore - Teorie ricerche
<i>Carmela Crescenzi</i>	83	La Real Chiesa di San Lorenzo. L'architettura della struttura
<i>Giuseppe Conti</i>	93	Modelli geometrici per l'architettura: spirali, eliche ed elicoidi

per la Scuola Nazionale di Dottorato

Emma Mandelli

- 103 Cupole / Riflesso del cielo
- 104 La cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze: studi sulla genesi geometrica
di *Laura Aiello*
- 107 La volta a ombrello di Cappella Pazzi a Firenze
di *Gaia Lavoratti, Piero Salemi*
- 113 Brunelleschi e le volte a ombrello: modelli e loro evoluzione
di *Erica Ganghereti*
- 116 Il rilievo come strumento per la ricerca di geometrie. La volta a ombrello della Sacrestia Vecchia di San Lorenzo a Firenze
di *Sara D'Amico*
- 119 La trasformazione del modello: la sacrestia di Santo Spirito a Firenze
di *Francesca Grillotti*
- 121 Il rilievo *laserscan* per la lettura del modello geometrico
di *Giulia Galeotti*

Ambiente e tessuto urbano

Alessandro Merlo

- 127 Dal "Modello" della città ai Sistemi Informativi Urbani 3D

Giorgio Verdiani, Gaia Lavoratti, Stefania Iurilli

- 137 Modelli digitali per lo studio del Patrimonio Intangibile: il caso di Carloforte, Sardegna

TECNICA E RAPPRESENTAZIONE

- Filippo Fantini* 149 *Image Based Data Processing (IBDP): la restituzione attraverso displaced subD a partire da rilevamento laser scanner*
- Carlo Battini* 159 *Navigare l'architettura: la realtà virtuale come strumento per la conoscenza*

APPUNTI TEORICI

- Uliva Velo* 169 *Alcune considerazioni sul significato di modello d'architettura*

ATTIVITÀ

- 187 *Sintesi dell'attività di ricerca*

La volta a ombrello di Cappella Pazzi a Firenze

Gaia Lavoratti, Piero Salemi

La genesi geometrica della volta

I dati acquisiti in seguito ad una approfondita campagna di rilievo integrato dell'ambiente interno di Cappella Pazzi a Firenze hanno permesso la formulazione di differenti ipotesi sulla genesi geometrica della volta ad ombrello¹ posta a copertura e l'immediata comparazione di queste ultime con il modello a nuvola di punti frutto del rilievo digitale².

Partendo dal presupposto che il peculiare assetto assunto dalla struttura progettata dal Brunelleschi non possa prescindere da fattori tecnico-strutturali relativi ai materiali impiegati ed allo spessore della volta³, le teorie indagate hanno tentato di relazionare coerentemente struttura e forma assumendo i piani di allettamento dei mattoni come ipotetici piani di sezione a cui fare appartenere gli archi generatori (verticali, orizzontali o obliqui) delle "vele" della volta a ombrello.

Nonostante tale premessa restringa già notevolmente il campo delle ipotesi plausibili e verificabili, il passaggio dalla forma concettuale al modello digitale di ciascun caso indagato ha richiesto un'ulteriore riduzione delle variabili di partenza. Una significativa semplificazione ha riguardato infatti la geometria generale della volta, suddivisa in dodici parti uguali e composta da costoloni assimilati ad archi di circonferenza appartenenti alla stessa semisfera che sorreggono le "unghie" a doppia curvatura dell'ombrello.

Partendo da tali presupposti è stato quindi possibile prendere in esame una "vela campione" e valutare la possibilità di una genesi a due archi direttori (i soli spigoli della "vela") o tre archi direttori (gli spigoli e la linea di chiave della "vela", assunta per semplicità come arco di circonferenza) ed un profilo generatore (appartenente ai piani di sezione del modello virtuale, nonché ai piani di allettamento della struttura reale) costituito da un arco di cerchio a raggio costante o variabile⁴, dando luogo ad un'ampia casistica:

1. Piani verticali: piani di allettamento verticali perpendicolari al piano d'imposta;
2. Piani orizzontali: piani di allettamento orizzontali paralleli al piano d'imposta;

3. Piani obliqui: piani di allettamento obliqui con possibile asse di rotazione parallelo alle corde degli archi direttori e appartenente al piano d'imposta (rialzato, ribassato o passante per il centro degli archi direttori). Tra essi si distinguono:

3.1 Piani obliqui diametrali: l'asse di rotazione appartiene al piano d'imposta e passa per il centro degli archi direttori. I piani obliqui diametrali, a loro volta, possono risultare:

3.1.1 Piani obliqui diametrali con inclinazione variabile: si ipotizza che il piano di giacitura dei mattoni non coincida con la corda determinata dal piano obliquo, ma abbia un'inclinazione variabile rispetto ad essa;

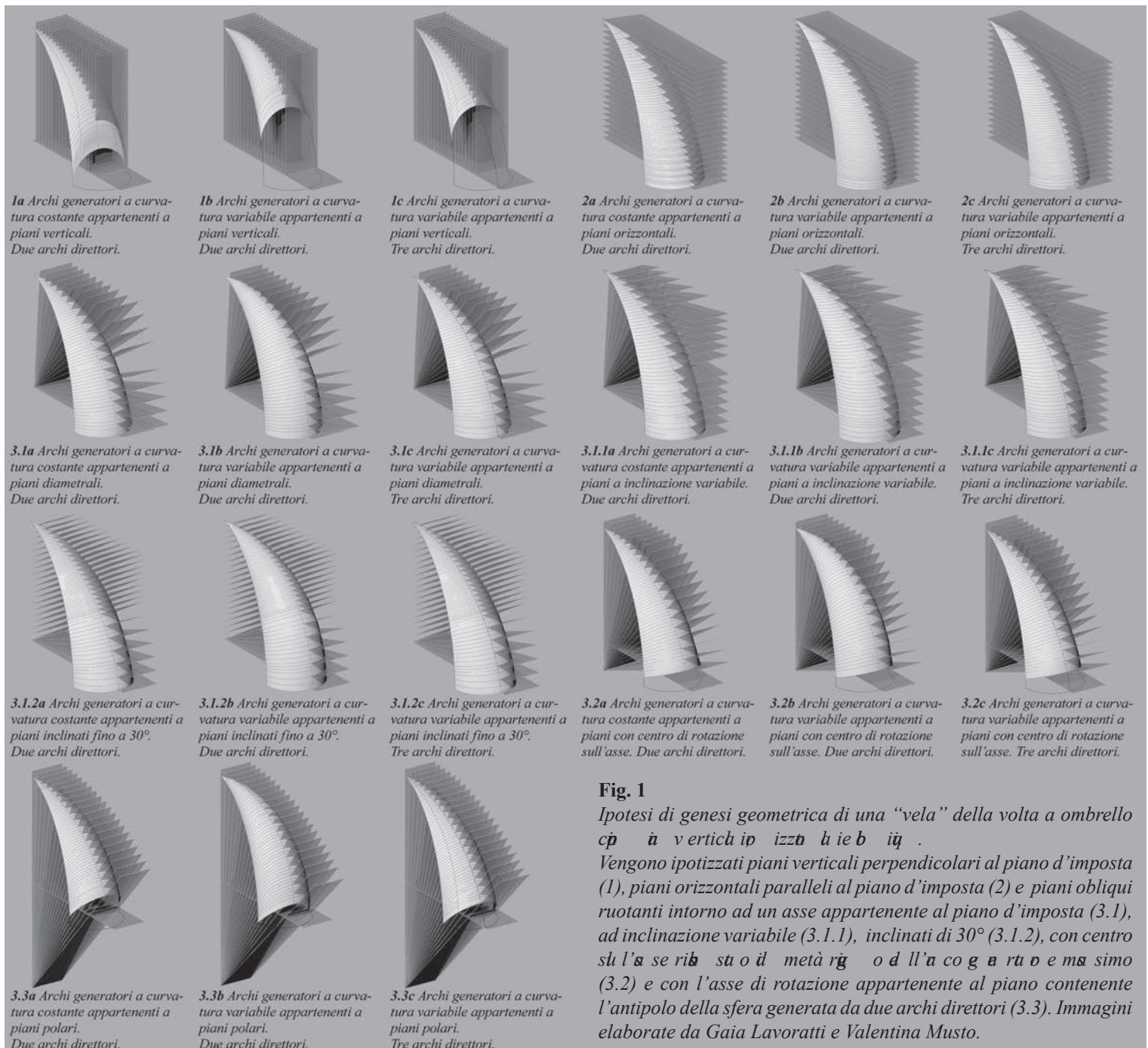
3.1.2 Piani obliqui diametrali con inclinazione a 30°: si ipotizza che il piano di giacitura dei mattoni coincida con il piano obliquo fino ad un'inclinazione di 30° e poi proceda parallelamente ad esso;

3.2 Piani obliqui con centro sull'asse: l'asse di rotazione interseca quello della sfera ad una quota variabile ed è parallelo al piano d'imposta. Nel caso in esame l'intersezione fra i due assi è ribassata di un quarto del diametro;

3.3 Piani obliqui polari: teoricamente l'asse di rotazione appartiene al piano contenente l'antipolo della sfera generata da due archi direttori.

Il confronto tra il modello digitale elaborato per ciascuna ipotesi e la mesh elaborata a partire dalla nuvola di punti fornita dal rilievo digitale è avvenuto per sezioni effettuate in punti notevoli della volta e secondo piani orientati in maniera analoga a quelli individuati nella genesi degli esempi di studio, in modo da facilitare l'immediata lettura dei risultati. Sebbene una maggiore sovrapposibilità delle curve sia rintracciabile nel caso dei Piani obliqui diametrali con inclinazione a 30° (3.1.2), non è possibile fornire una risposta definitiva alla questione relativa all'effettiva genesi geometrica della volta ad ombrello in esame in quanto le "scollature" evidenziate tra la struttura reale (tradotta in mesh) e la sua ricostruzione virtuale risultano ancora al di sopra delle tolleranze di misurazione dello strumento e non possono essere ricondotte unicamente alla necessaria discrepanza tra modello reale e modello geometrico.

Gü l u o t i

**Fig. 1**

Ipotesi di genesi geometrica di una “vela” della volta a ombrello cp a vertici ipizzobli e b iù.

Vengono ipotizzati piani verticali perpendicolari al piano d’imposta (1), piani orizzontali paralleli al piano d’imposta (2) e piani obliqui ruotanti intorno ad un asse appartenente al piano d’imposta (3.1), ad inclinazione variabile (3.1.1), inclinati di 30° (3.1.2), con centro sull’asse ribusto o di metà rg o dell’angolo ruotamento e massimo (3.2) e con l’asse di rotazione appartenente al piano contenente l’antipolo della sfera generata da due archi direttori (3.3). Immagini elaborate da Gaia Lavoratti e Valentina Musto.

Un caso particolare: le “creste vele” di Villarceau

L'esame scrupoloso della genesi delle cupole ad ombrello ci ha condotto ad individuare una casistica e le varie modalità secondo cui individuare geometrie che rientrassero sotto la definizione di volte ad ombrello: abbiamo potuto individuare veri e propri criteri per lo sviluppo di queste ipotesi. Tra tutti i casi contemplati nella tabella riassuntiva delle “creste vele”, abbiamo subito scartato quei modelli incompatibili per forma con il modello geometrico della cupola in esame, e per uno studio a nostro avviso più proficuo è stato prediletto il caso delle creste di Villarceau.

Il caso più interessante presente nella casistica della genesi delle cupole ad ombrello è sicuramente quello relativo alla vela torica, ovvero vela a tre direttrici circolari. La dimostrazione che è possibile costruire una “cresta vela” a tre direttrici circolari è fornita dal teorema di Antoine-Joseph Yvon Villarceau (1813-1883) il quale attesta che per ogni punto di un

toro è possibile condurre quattro piani le cui sezioni sono delle circonferenze; due di queste sono di semplice determinazione visto, che sono proprio quelle che individuano un meridiano e un parallelo del toro⁵; le altre due sezioni circolari sono appunto dette circonferenze di Villarceau, e nel caso delle vele ad ombrello toriche (dette anche “creste vele” di Villarceau) sono rappresentate proprio dai costoloni.

I dati di partenza per la costruzione della volta di Villarceau sono la circonferenza ω di raggio R e di centro C su cui si imposta la cupola, e il lato AB del poligono di n lati ad essa inscritto, che dichiara il numero delle “creste vele” di cui si compone la cupola. Posto, inoltre, il vertice V ad una distanza pari al raggio R della circonferenza ω , gli interassi dei costoloni sono sezioni diametrali di una sfera di raggio R e di centro C di cui ω è una circonferenza massima, e il cerchio generatore λ della superficie torica ha come diametro la misura del lato AB .

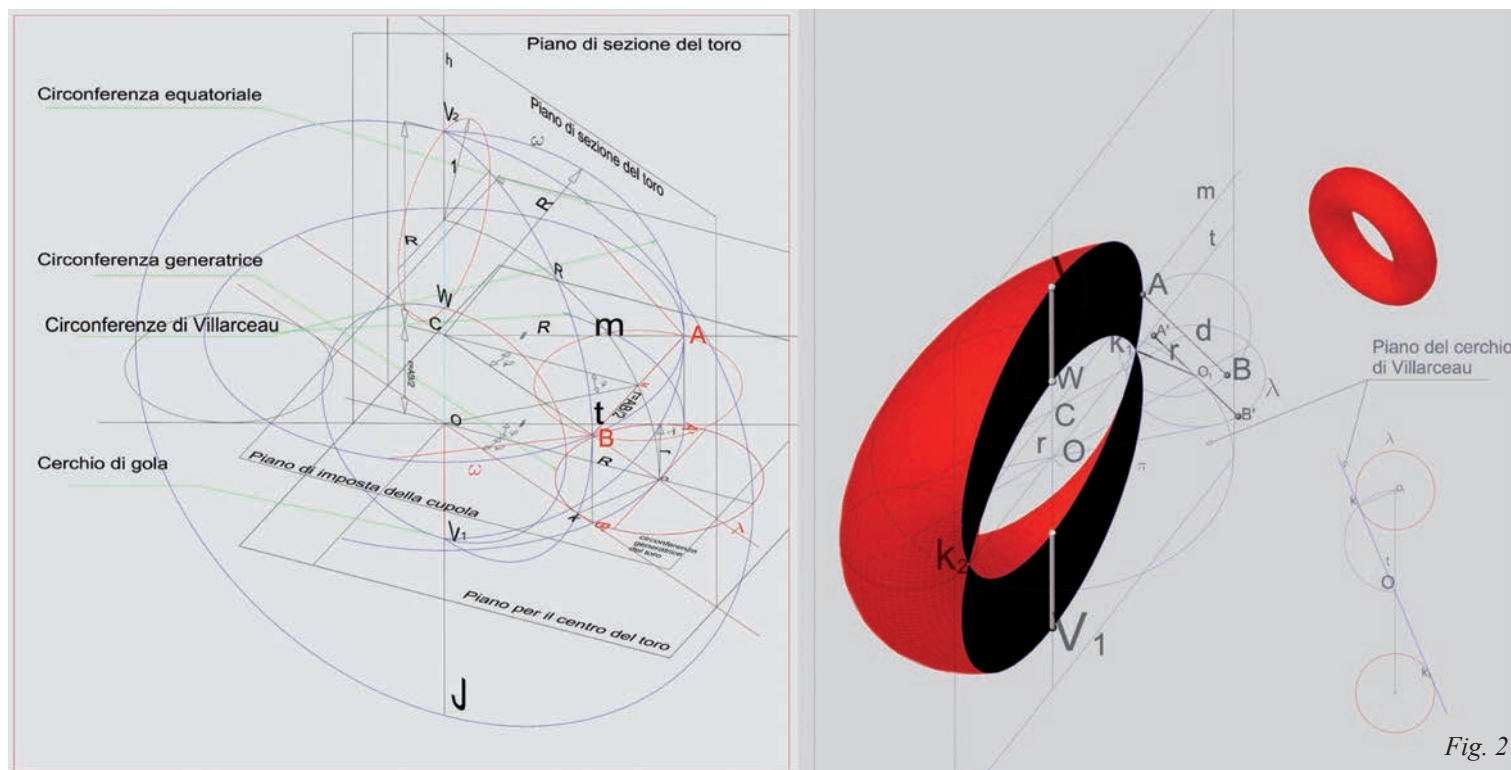


Fig. 2

È necessario dire che la ricostruzione e la modellazione delle geometrie, per poter essere davvero rigorosa, deve in un certo senso emanciparsi dall'oggetto reale, cioè dal modello mesh 3D dedotto dal rilievo scanner laser, che vuole emulare, perché di questo non potrà ereditare quelle imperfezioni dovute a materiale, lavorazione, assestamenti, difetti di costruzione, etc, etc.; per questo motivo è stato costruito un modello 3D della cupola secondo l'ipotesi della volta a tre direttrici circolari, senza considerare il modello mesh. La difficoltà più grossa che si è riscontrata durante la modellazione è consistita nella determinazione di una superficie della vela che ricalcasse esattamente la geometria immaginata; il modellino ultimato, infine, è stato sovrapposto al modello mesh per apprezzare visivamente quanto l'ipotesi delle "creste vele" di Villarceau combaciasse con la cupola originale.

In conclusione, l'ipotesi delle "Creste Vele" di Villarceau ha sortito esiti più che interessanti per uno studio e un approfondimento futuri tesi a indagare più nel dettaglio la genesi geometrica della cupola ad ombrello della Cappella Pazzi.

Piero Salemi



Fig. 3

NOTE

1. La campagna di rilievo è stata condotta nel 2006 dai dottorandi della Scuola Nazionale di Dottorato in "Scienze della Rappresentazione e del Rilievo", guidati e supportati dai docenti e dai tecnici specializzati del Dipartimento di Progettazione dell'Architettura (oggi Dipartimento di Architettura) dell'Università degli Studi di Firenze. La successiva indagine indirizzata ad analizzare la genesi geometrica della volta a ombrello della Cappella Pazzi in Firenze ha coinvolto i dottorandi del XXII ciclo di dottorato in "Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente", afferente alla Scuola Nazionale di Dottorato "Scienze della rappresentazione e del rilievo". I primi esiti della ricerca sono confluiti nell'articolo AA.VV., *Una storia della volta a ombrello della Cappella Pazzi a Firenze*, in "Materia e Geometria. Sezione Dottorato", Collana della Sezione Architettura e Disegno del Dipartimento di Progettazione dell'Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, n. 16/2007, pagg. 177-178.

2. G. Lavoratti, V. Musto, *Ipotesi sulla genesi geometrica della volta a ombrello*, in "Materia e Geometria. Sezione Dottorato", Collana della Sezione Architettura e Disegno del Dipartimento di Progettazione dell'Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, n. 16/2007, pagg. 173-202.

3. C. Crescenzi, *Superfici a semplice e doppia curvatura. Le ragioni geometriche delle curve e delle superfici e in architettura*, Palermo 1991, Tesi Dottorato di Ricerca, pag. 39.

4. C. Crescenzi, *Architettura e geometria. Definizione e ridefinizione geometrica di superfici architettoniche non classificate analiticamente*, in *Atti del convegno Matematica e architettura: metodi analitici, metodi geometrici e rappresentazione in architettura*, Firenze 2000, pagg. 4-5.

5. Il meridiano è ottenuto come sezione attraverso un piano radiale condotto per il punto assegnato sulla superficie, e il parallelo è ottenuto come sezione condotta per il punto assegnato e perpendicolare all'asse di rotazione.

Fig. 4



BIBLIOGRAFIA

- AA. VV., *Dizionario enciclopedico di architettura ed urbanistica*, Roma 1968.
- L. B. ALBERTI, *De re aedificatoria*, Firenze 1485.
- A. ATERINI, R. CORAZZI, U. SACCARDI, *Geometria e struttura*, Firenze 1990.
- B. ATERINI, *Introduzione ai metodi di rappresentazione della geometria scritta*, Firenze 1997.
- L. BARTOLI, *La cupola a "creste e vele"* in "Il Macchiavellico" n° 1, 1990.
- G. A. BREYEMANN, *Trattato generale di costruzioni civili*, Milano 1920
- G. CATALDI, *Sistemi statici in architettura*, Firenze 1974.
- G. CONTI, P. CHIARELLI, *Architettura e geometria. Definizione e ridefinizione geometrica di superfici architettoniche non classificate analiticamente*, in "Atti del convegno matematica e architettura: metodi analitici, metodi geometrici e rappresentazione in architettura" Firenze 2000.
- C. CRESCENZI, *Memoria e geometria*, in "Atti del convegno: il disegno luogo della memoria", Firenze 1995.
- C. CRESCENZI, *Rappresentazione geometrica teorica ed applicata delle superfici voltate*, in "Seminario internazionale di studi: gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro", Valmonte Roma 1999.
- C. CRESCENZI, *Superfici a semplice e doppia curvatura. Le ragioni geometriche delle cupole e volte e in architettura*, Palermo 1991, Tesi Dottorato di Ricerca.
- R. CORAZZI, *Le proiezioni ortogonali, le coniche, le superfici curve, le quadrighe, le eliche, le superfici elicoidali*, Bologna 2004.
- R. CORAZZI, G. CONTI, *Le superfici quadrighe in architettura. Elementi proiettiva geometrica*, Bologna 2005.
- M. DOCCI, R. MIGLIARI, *Scienza della rappresentazione: fondamenti e procedure di scrittura*, Roma 1992.
- D. DONGHI, *Manuale dell'architetto*, Torino 1906.
- A. F. FREZIER, *La Theorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voutes... Traité de stereotomie a l'usage de l'architecte*, Strasburgo 1739.
- J. GENTILHATRE, *Manuel d'architecture*, XVII secolo
- G. GUARINI, *L'architettura civile*, Torino 1737.
- A. MANETTI, *Vita di Brunelleschi*, in "Operette storiche ed inedite", Firenze 1887.
- R. MIGLIARI, *Fondamenti della rappresentazione geometrica e informatica dell'architettura*, Roma 2000.
- C. PASCUCCI, *Architettura e geometria della cupola della Sapienza. Il rilievo strumentale e lo studio della geometria finalizzati ad una ipotesi sul sistema costruttivo*, Roma 1995, Tesi Dottorato di Ricerca.
- J. M. PEROUSE DE MONTCLOS, *L'Architecture a la Francaise*, Parigi 1982.
- J. M. PEROUSE DE MONTCLOS, *Volutes de l'architecture e. Principes d'analyse scientifique. Architecture*, Parigi 1972.
- N. PEVSNER, J. FLEMING, H. HONOUR, *Dizionario di architettura*, Torino 1981.
- U. SACCARDI, *Applicazioni della geometria descrittiva*, Firenze 1989.
- M. SALVADORI, R. HELLER, *Le strutture in Architettura*, Milano 1964.
- A. SGROSSO, *La rappresentazione geometrica dell'architettura proiettiva di scrittura*, Torino 1996.
- A. SGROSSO, *Rigore scientifico e sensibilità artistica tra Rinascimento e Barocco*, Torino 2001.
- M. VITRUVIO POLLIONE, *De architectura*, I secolo a.C.