



Roberto Corazzi

Laureato in Architettura e professore ordinario presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze e già docente di Fondamenti ed Applicazioni della Geometria Descrittiva e Rilievo Fotogrammetrico dell'Architettura. E' membro del Consiglio Scientifico dell'Istituto Italiano dei Castelli, del Comitato direttivo della Cicop net Italy.

La curva "lossodromica" e la spina pesce The "loxodromic" curve and the herringbone

Nelle cupole emisferiche lo sviluppo delle spirali della spinapesce crea una curva "lossodromica". La curva della spina pesce si avvicina sempre di più ai poli della sfera.

Una struttura a base ottagonale presenta maggiori difficoltà nell'applicazione di questa tecnica; la sua struttura non ha la stessa continuità delle cupole circolari; infatti ciascuna vela è una porzione di un cilindro ellittico e non di una sfera.

In hemisphere domes the development of the spirals of the herringbone creates a "loxodromic" curve. The curve of the herringbone comes closer and closer to the poles of the sphere.

A structure with an octagonal base, presents greater difficulties in the application of this technique; its structure does not have the same continuity as the round dome; as observed previously, each "vela" is a portion of an elliptical cylinder, and not a sphere.

Parole chiave: spinapesce, lossodromia

Keywords: herringbone, loxodromic

La Cupola di Santa Maria del Fiore è costituita da due calotte divise da uno spazio di circa 1,20 mt. in cui sono ubicati i corridoi e le scale di accesso alla base della Lanterna ed è formata da otto vele che rappresentano porzioni di un cilindro ellittico. La superficie di intradosso di ogni vela è quindi una porzione del mantello di un cilindro a sezione retta ellittica con l'asse che passa per i due centri di curvatura degli spigoli di estremità della vela. L'ottagono del tamburo non è regolare: i suoi lati hanno una lunghezza media di 16,956 mt. e tra il lato più corto (16,617 mt.) e quello più lungo (17,240 mt.) c'è una differenza di 0,623 mt.; di conseguenza anche gli otto angoli interni differiscono lievemente dal valore di 135° di un ottagono regolare.

Lo spessore della struttura portante della cupola interna è di circa 2,20 mt.; di quella esterna, di circa 90 cm., e questa serve a proteggere quella più interna dalle intemperie.

La diagonale maggiore della Cupola interna misura 45,00 mt., quella esterna 54,00 mt.; la sua imposta al di sopra del tamburo¹ si trova a 55,00 mt. dal piano della Piazza del Duomo; la base della Lanterna è posta a 91,00 mt. e la Cupola raggiunge un'altezza totale di circa 116,00 mt.. Ha un peso di 29000 tonnellate². Il peso della lanterna è di 750 tonnellate.

Fra gli elementi architettonici che costituiscono la Cupola esistono delle proporzioni auree. Infatti la sua base d'imposta è posta a 55,00 mt. dal suolo, ha un'altezza media di 34,00 mt. (32,00 mt. è l'altezza della Cupola interna e 36,00 mt. quella esterna), il tamburo ha un'altezza pari a 13,00 mt. e la Lanterna ha un'altezza di 21,00 mt.. Questi numeri posti in sequenza (e precisamente 13, 21, 34, 55) determinano la successione di Fibonacci, e questi numeri sono legati alla sezione aurea.

A partire dalla quota di 3,50 mt. dal piano del terzo ballatoio la Cupola si divide in due calotte di diverso spessore, distanziate da un'intercapedine che contiene le scale e tre camminamenti anulari; esse sono realizzate in continuità costruttiva e strutturale con gli sproni, secondo la prescrizione del 1420.

La struttura della Cupola è costituita da 24 costoloni, 8 angolari e 16 mediani. Il Brunelleschi

è riuscito a determinare il principio statico della Cupola individuando le condizioni per incrementare la resistenza alle sollecitazioni che vengono determinate nella riduzione del peso proprio della struttura e nel distanziamento delle parti collaboranti dal centro teorico della sezione. Per la statica complessiva della Cupola i costoloni angolari hanno un ruolo primario, perché grazie alla loro sezione costante lungo tutto lo sviluppo verticale della costruzione, contengono la risultante degli sforzi all'interno del nucleo centrale di inerzia e sono orientati verso il centro teorico dell'ottagono e costituiscono inoltre elementi di riferimento affidabili anche per guidare il tracciamento della curvatura interna ed esterna delle vele e dei costoloni intermedi.

Alla base della Lanterna il serraglio è l'elemento che costituisce la chiave di volta dell'intero sistema strutturale e funge da elemento di connessione tra Cupola e Lanterna. Il serraglio è la logica conclusione della Cupola, e rispetta la geometria dell'impianto e conferma la funzione portante del suo telaio strutturale rafforzato da sproni angolari. Il peso della Lanterna, pari a 750 tonnellate grava solo su setti angolari posti in asse con i costoloni, mentre il carico della copertura viene ripartito sulla muratura di contorno.

Dall'analisi geometrica e strutturale emerge una delle difficoltà costruttive della Cupola del Duomo di Firenze è rappresentata dalla sua forma a base ottagonale. Il metodo più comune per costruire una cupola di questo tipo prevedeva l'uso di centine, ovvero intelaiature di legno della stessa forma della struttura da realizzare, che la sostenevano durante la costruzione, per poi essere smontate al termine dei lavori di costruzione, lasciandola in grado di reggersi da sola.

Brunelleschi però aveva proposto un metodo per costruire la Cupola senza centine e quindi trovò un modo per innalzarla, adottando la medesima tecnica costruttiva delle cupole a base circolare. Per le cupole emisferiche o, più in generale, per quelle di rotazione e cioè con base circolare, infatti, la tecnica costruttiva è semplice: si costruiscono anelli concentrici di mattoni sovrapposti, posizionati secondo i paralleli, il cui diametro va diminuendo verso la sommità

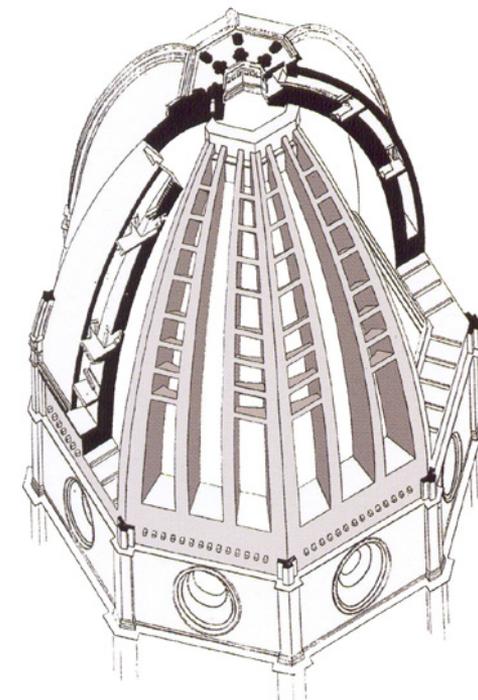


Fig. 1

della cupola. Il controllo geometrico della cupola emisferica può essere eseguito con un bastone o un filo di ferro che viene fatto ruotare a partire dal centro della base, servendo da guida per determinare l'inclinazione dei mattoni, che si dispongono lungo i paralleli. Questi ultimi, nelle cupole a base circolare, risultano perpendicolari ai meridiani.

Con l'avanzamento della costruzione i mattoni vengono spostati secondo i paralleli e si inclinano sempre di più e per evitare un loro scivolamento verso il basso prima che la malta abbia fatto presa vengono disposti ad intervalli regolari alcuni mattoni che vengono posti per coltello, e più precisamente con il lato più lungo perpendicolare a quelli posizionati sui paralleli.

Questa tecnica si chiama a «spinapesce». È un metodo usato dagli architetti islamici, che lo avevano appreso dai bizantini e questi probabilmente lo avevano imparato dagli antichi romani.

Nelle cupole emisferiche lo sviluppo delle spirali della spinapesce crea una curva «lossodromica», cioè una curva che forma angoli costanti con i paralleli.

La curva caratteristica della spinapesce si avvicina sempre di più ai poli della sfera, come si può anche notare osservando alcuni disegni di Escher³, e in particolare quello intitolato *Bolspiralen*, in cui viene rappresentata una sfera avvolta da una famiglia di spirali. Una struttura a base ottagonale, quale quella della Cupola di Santa Maria del Fiore, presenta maggiori difficoltà nell'applicazione di questa tecnica: essa, infatti, è impostata su pianta ottagonale e formata da otto vele, dunque la sua struttura non presenta la stessa continuità⁴ delle cupole a pianta circolare; infatti ciascuna vela non è una porzione di una sfera ma di un cilindro ellittico.

Per la costruzione della Cupola il Brunelleschi applica la tecnica della spinapesce, e i mattoni vengono disposti lungo linee che sono rappresentate da eliche cilindriche. La famiglia delle spirali che avvolge questa struttura si trova in direzione concorde con il verso del Settentrione e il tipo di curva che descrive la "spinapesce" è una lossodromia che individua angoli di

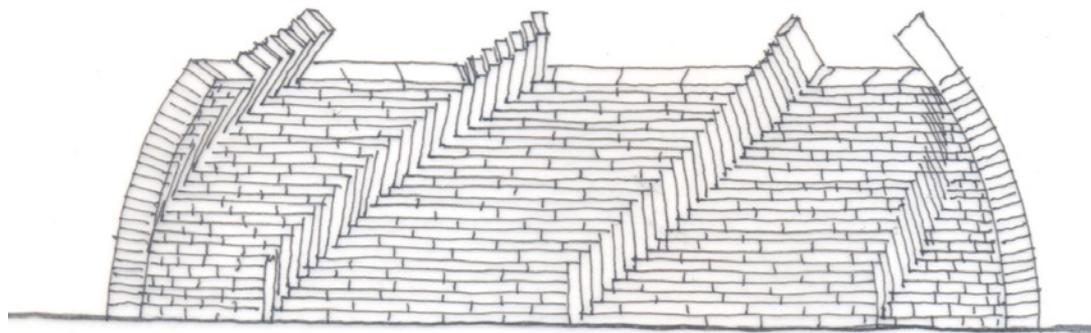


Fig. 2

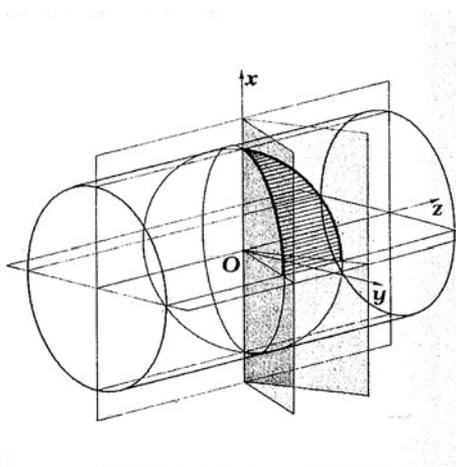


Fig. 3

45° con le generatrici del cilindro ellittico e di conseguenza la curva che si viene a individuare è un'elica cilindrica. In questo caso particolare, dunque, le curve della spinapesce sono non soltanto delle lossodromie che formano angoli costanti con le generatrici del cilindro, ma anche delle geodetiche che risultano essere le linee più brevi che uniscono due punti appartenenti ad una medesima superficie.

Il numero delle "spinapesce" sono dieci per ogni vela e si trovano ad una distanza di circa 1,79 mt. l'una dall'altra.

Alla base della Cupola i mattoni sono posizionati lungo i meridiani, cioè di coltello, ed hanno 45 cm. di altezza e a qualsiasi quota si mantengono sempre perpendicolari rispetto all'orizzontale.

La "spinapesce" avvolge per circa 20,00 - 25,00 mt., dalle tre alle quattro vele della Cupola e si rastremano verso l'alto; se non avvenisse questa circostanza, le spirali che avvolgono la Cupola si incontrerebbero, e questo circostanza avrebbe potuto creare problemi di carattere geometrico, e in particolare costruttivo.

Per poter comprendere quanto esposto precedentemente è sufficiente pensare ad una nave che solca il mare e per conservare la medesima rotta deve mantenere la prua sul

medesimo rombo di vento, e la bussola deve indicare il medesimo angolo rispetto al nord.

Il matematico, geografo e navigatore Pietro Nonio, nell'anno 1546 individuò una spirale che si avvicina indefinitamente al polo e la curva in questione è proprio la lossodromica.

Il Brunelleschi ebbe la possibilità di acquisire nozioni sugli argomenti relativi l'astronomia, la gnomonica, la misura del tempo, della latitudine; e doveva essere, oltretutto esperto nell'arte del navigare.

Risulta che abbia fatto viaggi a Pisa e Livorno per documentarsi sulle tecniche marinare e sugli strumenti necessari per la navigazione; nel museo dell'Opera del Duomo ne sono conservati alcuni esemplari, quali ad esempio bozzelli, griselle, sartie.

Brunelleschi utilizzò la spinapesce per la sua Cupola, ma una struttura a base ottagonale come questa presentava maggiori difficoltà nell'applicazione di tale tecnica costruttiva: infatti, se i mattoni fossero stati disposti secondo anelli ottagonali, questi, in corrispondenza dell'intersezione fra due vele avrebbero formato degli angoli sul piano del letto di posa e si sarebbero presentate delle discontinuità nella struttura proprio nei punti in cui si hanno le maggiori concentrazioni degli sforzi.

Si sarebbero così create delle lesioni molto pericolose per la stabilità della Cupola.

Il Brunelleschi poteva osservare il Battistero di Firenze (che ha pianta ottagonale, ma dotato di una costruzione esterna di sostegno alla cupola), e constatò che la cupola, costruita proprio con le stesse caratteristiche che aveva previsto per la sua Cupola, aveva subito lesioni agli angoli, anche se la sua struttura è costituita da mattoni disposti secondo la spina pesce.

Brunelleschi allora, utilizzando il metodo della spinapesce e per evitare questo problema, dispose i mattoni lungo linee assimilabili a delle eliche cilindriche. In questo caso particolare, infatti, le curve della spinapesce oltre ad essere delle lossodromie sono anche delle geodetiche, che rappresentano le linee più brevi che uniscono due punti appartenenti ad una medesima superficie: la lossodromia forma un angolo di 45°

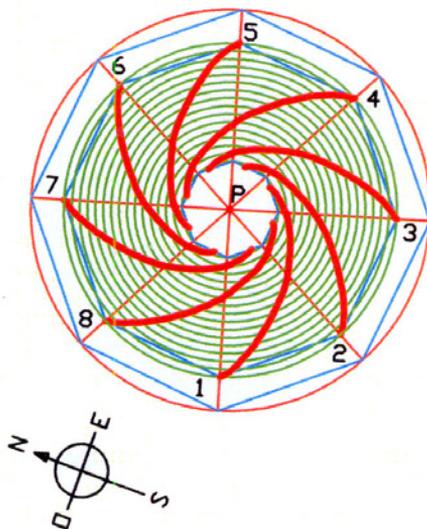


Fig. 4

con le generatrici del cilindro ellittico e la curva risulta essere un'elica cilindrica.

Nell'intersezione tra due vele adiacenti si ha la formazione del costolone di spigolo e in corrispondenza di questo il Brunelleschi iniziava a costruire i filari dei mattoni. I costoloni sono otto, uno per ogni vertice dell'ottagono; sono rappresentati da archi di circonferenza e formano l'intelaiatura di tutta la costruzione. Su di essi venivano disposti i mattoni appartenenti a due vele adiacenti sullo stesso piano di giacitura, con ciascuno di questi piani perpendicolare al corrispondente costolone di spigolo.

Da qui la disposizione dei mattoni continuava in modo da farli risultare sempre ortogonali ai meridiani della Cupola anche lungo le vele.

Si ottiene così una cupola simile a quelle di rotazione e quindi autoportante in fase di costruzione, e precisamente disponendo i mattoni con questo metodo e che di conseguenza vengono posizionati secondo delle superfici coniche, seguendo un andamento curvilineo: si

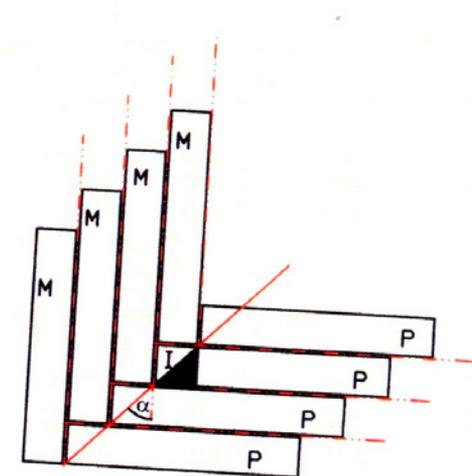


Fig. 5

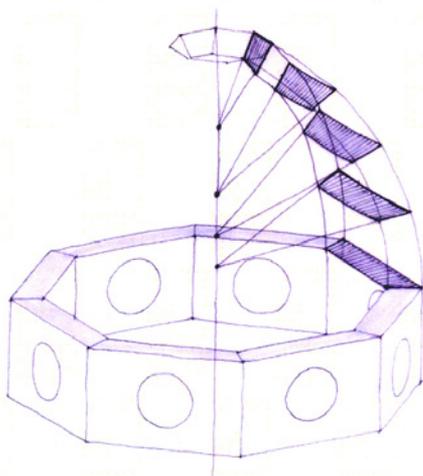


Fig. 6

formano delle linee concave verso l'alto, dette «corde blande», che sono le corrispondenti dei paralleli delle cupole emisferiche proprio perché disposte sempre perpendicolarmente alle linee meridiane.

Secondo Salvatore Di Pasquale le corde blande sono l'intersezione di «coni costruttivi» (di rotazione) con la superficie cilindrica delle vele; esse si realizzano geometricamente mantenendo costante l'inclinazione al centro di ogni distinto letto di posa.

Grossi blocchi squadri di pietra arenaria murati con sottili letti di calce e con letti di posa orizzontali costituiscono la muratura della parte più bassa della Cupola, mentre al di sopra di 7,00 mt. della base della Cupola, è formata da mattoni con letti di posa leggermente incurvati verso il basso e le superfici di posa di due vele contigue formano, nel loro insieme, un'unica superficie appartenente a un cono circolare con il vertice rivolto verso il basso e il suo asse verticale risulta essere coincidente con quello della Cupola.

<http://disegnarecon.unibo.it>

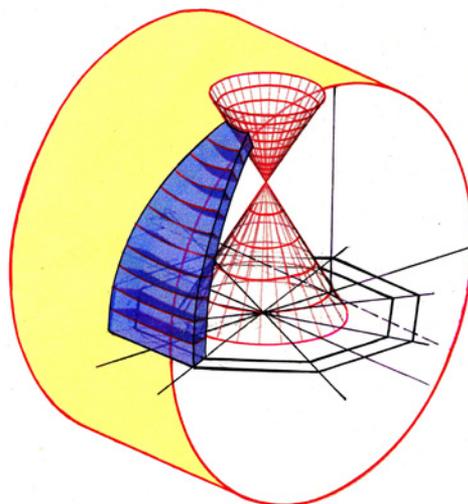


Fig. 7

Di conseguenza in ogni spigolo le tracce dei filari dei mattoni sulle superfici di intradosso e estradosso delle due vele che si intersecano sullo spigolo formano un angolo aperto verso il basso e presentano un'inclinazione sensibile rispetto all'orizzontale. La curva delle corde blande risultava essere, quindi, la soluzione più idonea per realizzare, per due qualsiasi vele contigue, superfici di posa dei corsi di mattoni prive di discontinuità dei piani tangenti sugli spigoli. La disposizione dei mattoni secondo questo tipo di curva, assieme all'impiego di mattoni angolari negli spigoli, assicurava una tessitura dell'ordito murario che presentava la caratteristica di essere esente da discontinuità lungo tutto l'anello e quindi non si creavano zone deboli in corrispondenza degli sponi angolari, fondamentali per la stabilità della Cupola.

In ogni vela sono presenti dieci spinapesce ed inizialmente si trovano ad una distanza di circa 1,75 mt. tra loro, per poi rastremarsi verso l'alto in modo da evitare che si intersechino tra loro;

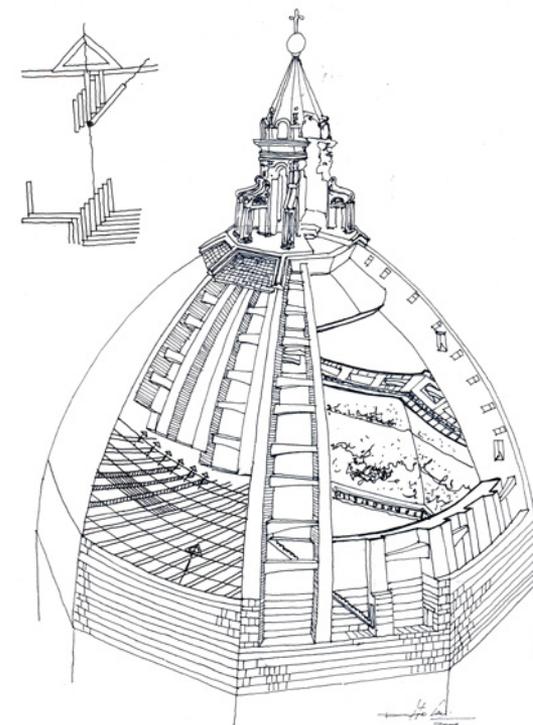


Fig. 8

una loro intersezione, come è stato accennato precedentemente, potevano creare problemi geometrici e costruttivi. Al di sopra dei 25,00 mt. dal piano del ballatoio di imposta, tra la vela nord e la nord-ovest, è stata rilevata una riduzione, con passo non più costante, degli interassi orizzontali tra spine successive; ciò è interpretabile come un necessario adeguamento costruttivo consigliato da condizioni operative sempre più difficili per effetto dell'incremento di inclinazione dei letti di posa dei mattoni⁶. Ogni spinapesce avvolge, per circa 20,00 – 25,00 mt., dalle tre alle quattro vele. Le spinapesce sono sempre parallele fra di loro e realizzate secondo un intervallo costante e affiancando pezzi con dimensioni simili, ottenendo un graduale passaggio fra gli estremi dimensionali e che sono costituite da mattoni che risultano essere di dimensioni e caratteristiche geometriche meno regolari di quelli presenti nei costoloni. Sulla calotta esterna la spinapesce presenta una notevole discontinuità e presenta una forte frammentarietà ed è costituita da un numero limitato di mattoni.

L'andamento delle spinapesce non è del tutto regolare in quanto il Brunelleschi sicuramente dovette risolvere alcune difficoltà costruttive che gli si presentarono, variando momentaneamente l'idea base; infatti, ad esempio, ad una certa altezza si possono notare coppie di spinapesce che si incontrano per ripartire poi singolarmente, oppure una singola spinapesce si divide in due rami distinti.

Analizzando la spezzata della spinapesce si deve far notare che è costituita dalla successione di due famiglie di segmenti: e precisamente quella a cui appartengono i segmenti che insistono sui meridiani e che rappresentano l'altezza del mattone posto di coltello e quella a cui appartengono i segmenti che insistono sui paralleli e che rappresentano la base del mattone di coltello.

Osservando il tutto da un punto di vista geometrico si determina un triangolo rettangolo e i cui cateti sono rappresentati da due segmenti successivi. La curva incontra tutti i meridiani della Cupola con angolo costante, facendo coincidere l'ipotenusa ad un tratto molto piccolo della curva.

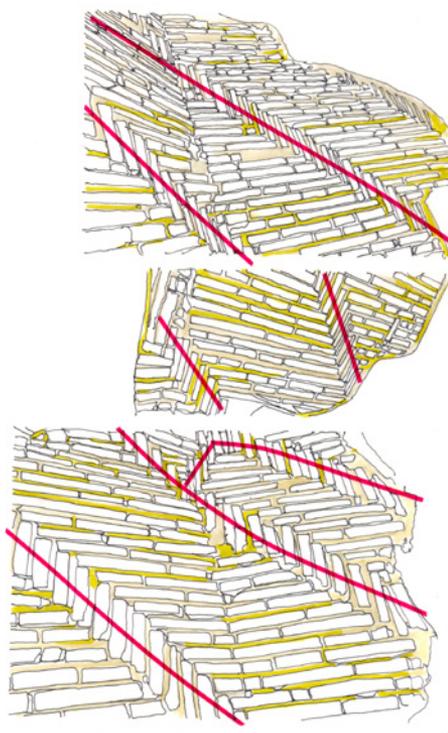


Fig. 9

Sia la corda blanda che la spinapesce, inserite nella costruzione a partire da quote dove l'inclinazione dei letti di posa verso l'interno diventava notevole (rispettivamente: circa 10° e circa 20° sull'orizzontale), hanno funzioni sia costruttive che strutturali.

Inoltre deve essere fatto notare che, procedendo dall'interno verso l'esterno della struttura, i letti di malta della muratura di mattoni presentano, a causa dell'andamento degli strati di mattoni sovrapposti, uno spessore che aumenta gradualmente, con variazioni che si possono

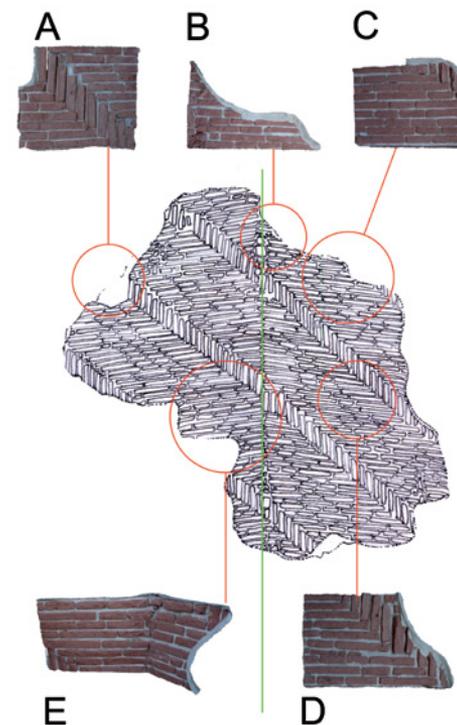


Fig. 10

stimare dell'ordine del centimetro⁷.

Dopo il primo camminamento Brunelleschi adotta l'accorgimento della spinapesce⁸: visto il valore critico dell'inclinazione dei letti di posa dei mattoni verso il centro dell'ottagono (circa venti gradi all'altezza di un metro dal piano di calpestio), il Brunelleschi si avvale di mattoni grandi, ma leggeri, disposti lungo una curva assimilabile ad un'elica cilindrica.

I mattoni così disposti possono essere notati su modelli in vetro resina che ricalcano porzioni di muratura intradossale di vele contigue; questi

modelli sono stati realizzati nel 1995 durante il restauro degli affreschi del Vasari e dello Zuccari. Dalla lettura delle immagini di questi modelli si può osservare la mancanza di speciali pezzi ad angolo e composti da tronchi di diversa lunghezza, aventi lo scopo di collegare l'apparecchio murario in corrispondenza degli spigoli formati da due vele contigue. Gran parte degli studiosi sostengono che Brunelleschi abbia risolto questo particolare costruttivo usando mattoni che formassero un angolo di 135°. Analizzando, però, questo problema nella sua estensione totale e più precisamente valutando che l'angolo tra vele contigue varia in funzione della quota, non è possibile che si possa avere un angolo costante e pari a 135°; infatti tale angolo varia tra 135° e 156° circa.

Tutto questo è confermato anche dalla ricerca dell'analisi effettiva dell'orditura dei mattoni ed è emerso anche che alcuni mattoni posizionati a cavallo di vele adiacenti sono stati sagomati scalpellandoli a piè d'opera per farli appartenere alla superficie delle due vele. Si registra inoltre il diverso livello di accuratezza usato da Brunelleschi nel predisporre l'apparecchiatura muraria delle parti che dovevano rimanere a vista rispetto a quelle intonacate: mentre nelle prime risulta essere esasperato, in quelle nascoste diventa più grossolana ed irregolare, sia nelle dimensioni dei mattoni che nel disegno dei ricorsi di malta.

Anche a questa quota si può osservare il diverso livello di accuratezza nel predisporre l'apparecchio murario degli costoloni rispetto alle calotte: all'accuratezza della messa in opera dei mattoni della spinapesce in corrispondenza degli sproni, corrisponde una grossolanità ed irregolarità nelle calotte sia nelle dimensioni dei mattoni che nel disegno dei giunti.

A contatto con l'intradosso del terzo camminamento sono disposte, in direzione radiale, le traverse della terza catena di macigno. In corrispondenza del terzo camminamento, l'inclinazione dei letti di posa dei mattoni raggiunge circa 40° rispetto all'orizzontale con evidenti problemi per la tendenza allo scorrimento degli strati murari.

Con questa configurazione nella corda blanda si ha che i mattoni sono ammorsati tra di loro e che s'incuneano fra loro autosostenendosi ed hanno un comportamento come un arco. La tecnica della spinapesce è qui applicata con maggiore frequenza: la distanza tra le spinepesce raggiunge i 75 cm.; per la presa rapida sono usati grassello di calce o malta a base di sabbia finemente vagliata. Elementi radiali di rinforzo in pietra si trovano nei costoloni, che in corrispondenza dei passaggi sono tagliati trasversalmente a fil di muro. Il collegamento verticale con la parte alta della Cupola è garantito, a questa quota, da un sistema di gradini che tagliano longitudinalmente in corrispondenza della mezzeria la vela interna. Dai primi mesi del '34, giunti i lavori della cupola ormai agli sgoccioli, si comincia a pensare alla chiusura della volta; già dal marzo compaiono, infatti, fra i documenti le prime autorizzazioni ad "allogare" pietre di macigno per il piano della lanterna, materiale che tuttavia comincerà a scendere da Fiesole oltre un anno più tardi. Il serraglio conclude la cupola a padiglione ottagonale rispettando la geometria dell'impianto.

La spinapesce è ben visibile nella zona compresa tra il secondo e terzo camminamento e presenta un andamento dei mattoni irregolare e con variazioni di inclinazione.

Le spinepesce, rispetto all'orizzontale, presentano una variabilità dell'inclinazione e che risulta essere da 31° a 55° tra una vela e l'altra; su una medesima vela si ha invece una variabilità tra 36° e 40°.

I rilievi ed i calchi in vetro resina confermano le irregolarità dei mattoni a spinapesce posti in opera con frequenti rotazioni su ciascuna vela e con ricorsi di malta in certi casi spessi quanto i mattoni stessi.

Queste differenze sono dovute probabilmente a un diverso spessore di malta e al diverso operare delle varie squadre di maestranze che venivano impiegate sulle diverse vele.

Molto spesso la spinapesce viene interrotta con alcuni mattoni disposti orizzontalmente per riprendere poi l'andamento inclinato.

Sugli spigoli si notano mattoni che si attestano con elementi interi o porzioni e in alcuni casi

vengono notati dei mattoni passanti che furono opportunamente sagomati per adattarlo allo spigolo.

Questi particolari mattoni non sono però pezzi speciali ottenuti con gli stampi di cui si hanno esempi depositati presso il Museo dell'Opera del Duomo.

Le spinepesce insistenti sulla zona intradosale e quella estradosale della Cupola interna non sono, presumibilmente, continue ed appartengono cioè a strati indipendenti.

Sul funzionamento statico e sugli accorgimenti costruttivi della Cupola di Santa Maria del Fiore esistono numerose teorie e ipotesi, ma pochi dati sperimentali e indagini strumentali. La sua struttura, infatti, si presenta integra, compatta, e le possibilità di rilevare le porzioni interne sono molto modeste. Fino ad oggi, infatti, il monumento è stato studiato approfonditamente solo nelle parti di struttura che sono direttamente visibili, mentre rimane sempre un certo margine di aleatorietà per le zone interne, che possono essere studiate soltanto con tecniche non invasive, nel rispetto del suo valore artistico.

Nell'ultimo decennio, con l'apporto delle più recenti tecnologie nei settori del rilievo e della diagnostica, sono stati effettuati vari tipi di rilievi degni d'attenzione per i dati che ne sono emersi. I principali rilievi effettuati sono stati eseguiti utilizzando strumentazioni quali:

- Laser scanner

Questa indagine ha permesso di ottenere rilievi accurati e precisi delle parti significative della Cupola e determinare così le caratteristiche geometriche fondamentali;

- Georadar

- Tomografia

- Endoscopia

Queste indagini hanno permesso di individuare i vari tipi di materiali e la loro posizione e di conseguenza analizzare il comportamento statico della Cupola;

- Metal detector.

Questa indagine ha permesso di determinare la presenza di ferro sulle vele e sui corridoi.

NOTE

- [1] Non si può parlare di ottagono regolare perché c'è una differenza di misura tra i lati che raggiunge anche i 63 centimetri. Cfr Roberto Corazzi, Giuseppe Conti, Stefania Marini, Cupola di Santa Maria del Fiore. Tra ipotesi e realtà, p. 19.
- [2] Misure ricavate dal rilievo fotografico pubblicato in Dalla Negra, a cura di, Cupola di Santa Maria del Fiore.
- [3] Si veda in proposito Spirali Sfera di MC Escher, 1999 Cordon Art BV – Baarn – Olanda e MC Escher's "Speres Spirals" ("Bolspiralen") di stampa xilografia del 1958.
- [4] Sarebbe più corretto usare la locuzione "derivabilità" piuttosto che "continuità", poiché fra due vele contigue si formano dei punti angolosi.
- [5] Il portoghese Pietro Nonio nacque ad Alcaccer do Sal nel 1492 e morì a Coimbra nel 1577. Fu tra i primi ad occuparsi dei problemi di navigazione suggeriti dall'uso della bussola e riconobbe come la traiettoria di una nave, che attraverso i successivi meridiani sotto un angolo acuto costante non sia un circolo, bensì quella curva sghemba che più tardi sarà definita lossodromia.
- [6] Ippolito L., Peroni C. La Cupola di Santa Maria del Fiore, p. 50.
- [7] Fanelli G., Fanelli M La Cupola del Brunelleschi. Storia e futuro di una grande struttura, p. 189.
- [8] Fanelli G., Fanelli M La Cupola del Brunelleschi. Storia e futuro di una grande struttura, p. 187.

BIBLIOGRAFIA

Alberti, Leon Battista (1966), De re aedificatoria, testo latino e traduzione a cura di G. Orlandi, introduzione e note di P. Portoghesi, Il Polifilo, Milano.

Bartoli, Lando (1977), La rete magica di Filippo Brunelleschi: le seste, il braccio, le misure, Nardini Centro Internazionale del Libro, Firenze.

Bartoli, Lando (1994), Il disegno della cupola del Brunelleschi, Olschki, Firenze

Battisti, Eugenio (1989), Filippo Brunelleschi, Electa, Milano.

Chiarugi, Andrea, Quilghini, Demore (1984), Tracciamento della cupola del Brunelleschi. Muratori e geometria, in «Critica d'Arte», XLIX, s. IV, n. 3, 1984, pp. 38-47.

Quilghini, Demore (1984), La cupola del Brunelleschi: la geometria, in «Ingegneri Architetti Costruttori».

Chiarugi, Andrea (1984), La cupola del Brunelleschi. Problemi di tracciamenti e costruzione: il modello dell'ACMAR, in «Ingegneri Architetti Costruttori», giugno-settembre, pp. 31-37.

Corazzi, Roberto, Conti, Giuseppe, Marini, Stefania (2005), La Cupola di Santa Maria del Fiore, tra ipotesi e realtà, Pitagora editrice, Bologna.

Conti, Giuseppe, Corazzi, Roberto (2005), La Cupola di Santa Maria del Fiore raccontata dal suo progettista Filippo Brunelleschi, Sillabe, Livorno.

Corazzi, Roberto, Conti, Giuseppe (2005), La Cupola di Brunelleschi fra ipotesi e realtà, in disegnare n. 31 idee immagini (Rivista semestrale del dipartimento RADAAR – Università degli Studi di Roma "La Sapienza"), pp.56-67.

Corazzi, Roberto, Conti, Giuseppe (2007), Indagini non invasive e rilievi della cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze, in Costruire in laterizio n. 115 Faenza Editrice, Faenza, pp. 58-63.

Corazzi, Roberto, Conti, Giuseppe (2011), Il segreto della Cupola del Brunelleschi a Firenze – The Secret of Brunelleschi's Dome in Florence,

Angelo Pontecorboli Editore, Firenze.

Dalla Negra, Riccardo (1995), La cupola del Brunelleschi: il cantiere, le indagini, i rilievi, in , Acidini Luchinat, Cristina , Dalla Negra, Riccardo (a cura di), Cupola di Santa Maria del Fiore. Il cantiere di restauro 1980-1995, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, pp. 1-45.

Dalla Negra, Riccardo (2004), (a cura di), La Cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze. Il rilievo fotografometrico, Sillabe editrice, Livorno.

Di Pasquale, Salvatore (1980), Recenti ricerche sulla Cupola di Santa Maria del Fiore, in Filippo Brunelleschi. La sua opera e il suo tempo, Atti Convegno internazionale di studi, Firenze 16-22 ottobre 1977, Centro Di, Firenze, pp. 893-902.

Di Pasquale, Salvatore (2002), La costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore, Biblioteca Marsilio, Venezia.

Fanelli, Giovanni, Fanelli, Michele (2004), La cupola del Brunelleschi. Storia e futuro di una grande struttura. Mandragora, Firenze.

Fondelli, Mario, Franchi, Paolo, Greco, Francesco (1971), Il rilevamento fotografometrico della cupola di Santa Maria del Fiore, in «Bollettino di Geodesia e Scienze Affini dell' I.G.M.», XXX, pp. 158-184.

Fondelli, Mario (1980), Il contributo della metodologia fotogrammetrica al rilevamento e allo studio di alcune strutture del Brunelleschi, in Filippo Brunelleschi: la sua opera e il suo tempo, Tomo II, Centro Di, Firenze, pp. 809-815.

Galluzzi, Paolo (1996), Gli ingegneri del Rinascimento da Brunelleschi a Leonardo da Vinci, catalogo della mostra (Firenze, Palazzo Strozzi, 22 giugno 1966-6 gennaio 1997). Giunti, Firenze.

Guasti, Cesare (1974), La Cupola di Santa Maria del Fiore illustrata con i documenti dell'Archivio dell'Opera secolare, Barbera Bianchi e Comp., Firenze 1857, rist. anast. A. Forni, Bologna.

Gurrieri, Francesco, Belli, Gianluca, Benvenuti Papi, Anna, Dalla Negra, Riccardo, Fabbri, Patrizia , Tesi, Va-

lerio (1994) La cattedrale di Santa Maria del Fiore a Firenze, Cassa di Risparmio di Firenze, Vol. I e II.

Ippolito, Lamberto, Peroni, Chiara (1997), La Cupola di Santa Maria del Fiore, La Nuova Italia Scientifica, Roma.

Mainstone, Rowland.J. (1970), Brunelleschi's Dome of S. Maria del Fiore and some related structures, London.

Mainstone, Rowland J. (1977), Le origini della concezione strutturale della Cupola di Santa Maria del Fiore, in Atti del Convegno Brunelleschiano- 1977, Centro Di, Firenze, p. 884.

Manetti, Antonio (1992) Vita di Filippo Brunelleschi, a cura di C. Perrone, Salerno Editrice, Roma.

Nelli, Giovan Battista (1753), Ragionamento sopra la maniera di voltar le cupole senza adoperarvi le centine, in Discorsi di Architettura del senatore Giovan Battista Nelli, per gli Eredi Paperini, Firenze.

Opera di Santa Maria del Fiore in Firenze (1939), Rilievi e studi sulla Cupola del Brunelleschi eseguiti dalla Commissione nominata il 12 gennaio 1934, Firenze.

Pietramellara, Carla. (1984), Santa Maria del Fiore a Firenze, Dipartimento Storia e Restauro, Università di Firenze.

Prager, Frank D. (1950), Brunelleschi's inventions and the "Renewal of Roman masonry work", Brugi.

Prager, Frank D., Scaglia, Gustina, (1970), Brunelleschi. Studies of his Technology and Inventions, The MIT Press, Cambridge, London.

Ragghianti, Carlo Ludovico (1977), Filippo Brunelleschi. Un uomo, un universo, Ed. Banca Toscana, Firenze.

Ricci, Massimo (1985), Tecnologia della Cupola di Santa Maria del Fiore in relazione ad una ipotesi sulla sua regola di costruzione, in «Bollettino Architetti», 8, pp. 2-15.

Ricci, Massimo (1983), Il fiore di Santa Maria del Fiore, Alinea, Firenze.

Ricci, Massimo (1987), L'accusa di Giovanni di Gherardo Gheparda a Filippo Brunelleschi: spiegazione integrale della pergamena, dei disegni e relativi contenuti tecnici, Salimbeni, Firenze.

Rocchi Coopans de Yoldig, Giuseppe (2005), (a cura di), S. Maria del Fiore Teorie e storie dell'archeologia e del restauro nella città delle fabbriche arnofiane, Alinea Editrice, Firenze.

Rossi, Paolo Alberto (1977), Brunelleschi. Vera cupola, Calderini, Firenze.

Rossi, Paolo Alberto (1982), Le cupole del Brunelleschi. Capire per conservare, Calderini, Bologna 1982.

Saalman, Howard (1980), Filippo Brunelleschi. The cupola of Santa Maria del Fiore, A. Zwemmer, London.

Sanpaolesi, Piero (1962), Brunelleschi, Edizioni per il Club del Libro, Milano 1962.

Sanpaolesi, Piero (1937), Ipotesi sulle conoscenze matematiche statiche e meccaniche del Brunelleschi, in «Belle Arti», II, pp. 25-54.

Sanpaolesi, Piero (1937), Il rilievo della cupola del duomo di Firenze, 1937 in «Rivista d'Arte», 19 n° 1.

Sanpaolesi, Piero (1977), La Cupola di Santa Maria del Fiore. Il progetto-La costruzione, Edam, Firenze.

Sanpaolesi, Piero (1938), Le cupole e gli edifici a cupola del Brunelleschi e la loro derivazione da edifici romani, in «atti del Congresso di Storia dell'Architettura», Sansoni, Firenze 1938.

Settle, Thomas B. (1978), Brunelleschi's Horizontal Arches And Related Devices, Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, a. III, fasc. 1, pp. 65-80.

Sgrilli, Bernardo Sansone (1733) Descrizione e studi dell'insigne Fabbrica di Santa Maria del Fiore, Metropolitana fiorentina, Per Bernardo Paperini, Firenze.

Vasari, Giorgio (1991), Le vite de' più eccellenti architetti, pittori et scultori italiani, da Cimabue, insino a' tempi nostri, Firenze, per i tipi di Lorenzo Torrentino, 1550; rist. a cura di L.

Bollori e A. Rossi, presentazione di G. Previtali, Torino, Einaudi.

Verdon, Timothy (1995), Alla riscoperta di Piazza del Duomo in Firenze. 4: La Cupola di Santa Maria del Fiore. Saggi di Acidini Luchinat, Cristina, Di Pasquale, Salvatore, M. Lingohr, Michael, Paolucci, Antonio, Centro Di, Firenze.

Verga, Corrado (1978), Dispositivo Brunelleschi 1420, Tipografia Canarini e Locatelli, Crema.