

La costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore nella Firenze del Quattrocento

Franco Carnevale

Fondazione Michelucci, Fiesole

Ringrazio la dottoressa Margaret Haines (Senior Research Associate, Villa I Tatti, The Harvard University Center for Italian Renaissance Studies, Firenze) per il ricco materiale messo a mia disposizione, i commenti fatti sul testo e i consigli elargiti.

I tempi di Santa Maria del Fiore

Nei primi decenni del Trecento, Firenze è affollata da 110.000 anime, che verranno sfoltite drasticamente, di più del 50%, da una serie di carestie, dalle guerre e dalla peste del 1348, con le sue numerose ondate successive. Un'indagine per il periodo 1250-1500 relativa alle sole famiglie mercantili di Firenze descrive una durata media della vita di 37,2 anni per gli uomini e 33,14 per le donne. Dante, che morirà a cinquantasei anni, pecca di ottimismo quando declama di trovarsi «nel mezzo del cammin di nostra vita». La crisi demografica ed economica della seconda metà del XIV secolo è alla base delle trasformazioni sociali: i conflitti fra le corporazioni consentono anche alla piccola borghesia di occupare alcune stanze del potere di quella complessa organizzazione che è il Comune. Un'opportunità analoga viene invece preclusa al "proletariato" urbano, nonostante i sommovimenti culminati nel 1378 con il tumulto dei Ciompi ("infimi" lavoratori dell'arte tessile, ma non solo), premiato con un breve quanto effimero periodo di egemonia. Siamo ai prelude dell'involuzione costituzionale e delle libertà repubblicane che sfociano nell'oligarchia e, nel contempo, nonostante le ricorrenti crisi congiunturali del commercio e della fabbricazione di panni, si osserva uno sviluppo fecondo di cultura umanistica, arte e scienze, fenomeni che raggiungeranno un apice nel Quattrocento fiorentino e troveranno espressione anche nella costruzione di palazzi, logge, conventi e chiese rinascimentali.

Tra il 1296 e il 1298 viene posta la prima pietra della nuova cattedrale da primato che sarà simbolo dei fiorentini, della città-stato, delle sue istituzioni (non soltanto religiose): Santa Maria del Fiore. La cattedrale, progettata da Arnolfo di Cambio (1240-1302 circa), potrà contenere tutti i circa 30.000 cittadini, sostituendo quella ormai inadeguata di Santa Reparata e affiancandosi al Battistero di San Giovanni, costruito sui resti di un edificio pagano e completato, almeno all'esterno, già all'inizio del Duecento.

Finanziariamente determinante per la fabbrica è il contributo comunale, molto meno quello dei privati, mentre il controllo dei lavori viene assegnato prima ai consoli di cinque delle sette Arti Maggiori (Calimala, Cambio, Lana, Seta, Medici e Speciali), con turni di un anno; quindi, dal 1331, alla sola Arte della Lana, che all'uopo costituisce l'Opera di Santa Maria del Fiore,



un'organizzazione secolare che esibisce come vessillo l'*Agnus dei* e che marchierà i materiali di costruzione con la sigla "A.U.F.O." (*Ad Usum Florentina Opera*), rendendoli così non tassabili. Il consiglio dell'Opera è composto da quattro operai che gestiscono i fondi, da un camarlingo che funge da cassiere, e, in alcuni periodi, da un notaio che

registra le delibere e un provveditore con l'incarico di raccogliere e ordinare le questioni poste dagli operai. Generalmente la carica di «operaio» viene assegnata, a titolo gratuito, per 4-6 mesi a membri dell'Arte della Lana. Per affrontare speciali decisioni tecniche vengono nominati esperti e supercommissioni composte da cittadini iscritti alle varie Arti.

Nel 1334, Giotto (circa 1267-1337) succede ad Arnolfo, per poco tempo, come capomastro, ma può (o vuole) occuparsi solo del campanile, alto circa 85 metri, che verrà completato solo nel 1359, dopo oltre vent'anni di lavori.

Nel 1355 il progetto arnolfiano della cattedrale viene rivisto da Francesco Talenti (1300-1369 circa), quindi aggiornato nel 1367 dalla commissione di otto maestri e dipintori, tra i quali spiccano i nomi di Orcagna (1310-1368 circa), Taddeo Gaddi (1310-1366 circa) e Andrea di Bonaiuto (1343-1377). È questa commissione che detta il sesto e le dimensioni di una cupola ottagonale: altezza 144 braccia fiorentine (un braccio fiorentino misura circa 0,584 metri), larghezza 72; ed è proprio sulla base di un tale capitolato che, nel 1418 e poi di nuovo nel 1420, viene fatto il bando per "voltare" la cupola della cattedrale, quando erano quasi conclusi i lavori

per la realizzazione del collegamento tra navata e presbiterio, dei piloni di sostegno, del tamburo della cupola e delle tribune absidali. Dopo varie vicissitudini, fra cui il contrasto tra Filippo Brunelleschi (1377-1446) e Lorenzo Ghiberti (1378-1455), nominati entrambi vincitori del concorso, il ruolo di provveditore dell'opera, gerarchicamente più elevato di quello tradizionale di capomastro, e di architetto progettista ed esecutore-direttore dei lavori della cupola verrà mantenuto dal primo, che caratterizzerà tecnicamente l'opera in tutto e per tutto, portandola a termine nel 1436.

Dopo la morte di Brunelleschi, il compito viene affidato a capomastri come Michelozzo (1336-1472), Antonio Manetti Ciaccheri (1402-1460) e Bernardo Rossellino (1409-1464) per completare l'opera con i lavori della lanterna e, non senza polemiche, con il rivestimento marmoreo del tamburo e l'aggiunta di un ballatoio.

Una cupola per fare della cattedrale il duomo dei fiorentini

La parola «duomo» è un francesismo che descrive una cupola, ma questo termine verrà usato per indicare, a Firenze inizialmente e da lì anche in altri luoghi, l'intero complesso della chiesa, volendo superare in questo modo l'immagine tradizionale della cattedrale medievale. La cupola, sulla quale Brunelleschi non ha lasciato niente di scritto, ha sollecitato per secoli l'interesse di ogni ordine di studiosi, animati dalla voglia di scoprire veri segreti o addirittura misteri relativi ad alcune soluzioni originali adottate dall'architetto, per esempio l'alleggerimento dell'imponente struttura, la stabilità dei piani di giacitura dei mattoni con inclinazione via via maggiore, l'organizzazione di un cantiere complesso con esigenze diverse e di grande portata nelle diverse fasi di lavoro. È molto vasta la letteratura scientifica consultabile sull'argomento, fra cui è enorme quella più recente, capace di fornire risposte esaurienti a quasi tutti gli interrogativi posti basandosi su indagini che hanno utilizzato tecnologie come il georadar, la tomografia, l'endoscopia, il laser scanner e il metal detector.

Tutte le informazioni disponibili consentono di apprendere che la cupola è formata in realtà da due cupole: una esterna, più sottile, di circa 0,9 metri; una interna, con uno spessore di circa 2,2 metri, composta da tre strati, contenente materiale ferroso in quello intermedio, dove in un'intercapedine sono alloggiati il percorso di risalita e, a quattro diversi livelli, i percorsi orizzontali anulari.

L'insieme delle due calotte risulta irrigidito da 8 sproni angolari e da 16 sproni mediani, collegati fra loro da un sistema di archi orizzontali. La cupola vera e propria, costruita senza l'impiego di centine per sostenere la muratura, si erge su 8 spicchi, detti «vele», e 16 costoloni visibili solo all'interno; trova il suo diretto supporto nel tamburo di 13 metri, il cui sviluppo ottagonale della muraglia, dello spessore di 5 metri, è interrotto nella mezzeria di ogni faccia da aperture («occhi»), funzionali all'illuminazione del vano presbiteriale.



2

La stratificazione dell'apparecchiatura muraria di uno degli spicchi mostra la forte inclinazione verso l'interno dei letti di giacitura dei mattoni, nonché l'andamento incurvato ("a corda branda") dei filari di mattoni tra i costoloni angolari. L'orditura a spirale della spinapesce consente di serrare continuamente gli anelli di muratura, impedendo ai mattoni di scivolare per via dell'inclinazione dei letti di posa. Le vele convergono in corrispondenza del piano della lanterna con una curvatura a sesto di quinto acuto, cioè con raggio uguale ai 4/5 del diametro del cerchio circoscritto all'ottagono.

La chiave di volta della cupola è il serraglio, l'elemento di connessione tra cupola e lanterna, che ingloba il pozzo di quest'ultima ed è fonte di un cono di luce nello spazio interno. La lanterna, progettata sempre da Brunelleschi ma terminata nel 1472, molti anni dopo la sua morte, si

sviluppa in forma di tempio ottagonale ed è coronata da una cuspide su cui è infissa una palla di rame dorato che si conclude con una croce. L'intera struttura si eleva per 116,50 metri.

L'architetto Filippo Brunelleschi: direttore dei lavori e responsabile della sicurezza

«Molti forma la natura diminuiti di persona e di fattezze nel nascere loro, et a quegli fa in corpo l'animo pieno di tanta grandezza et il cuore di sì smisurata terribilità, che se non cominciano cose difficili et impossibili e quelle non rendono finite al mondo con maraviglia di chi le vede, mai non danno requie alla vita loro.

E tante cose, quante l'occasione mette nelle mani di questi, per vili e basse che elle si siano, le fanno essi diventare in pregio et altezza...»

Con queste parole Giorgio Vasari (1511-1574) dipinge i tratti psicofisici di Filippo Brunelleschi, che esordisce come orafo e continua con un lungo periodo muto o poco documentato per quanto riguarda la produzione artistica, ma proficuo per la sua formazione, fatta di studi sull'architettura classica, la prospettiva lineare, la meccanica (in particolare degli orologi), l'idraulica e la matematica.

Precedenti alle imprese architettoniche di Filippo, quelle capaci di cambiare, e definitivamente, l'aspetto di Firenze, abbiamo testimonianza di prove scultoree, come la formella in bronzo dorato raffigurante il Sacrificio di Isacco del 1401, ora custodita al Museo nazionale del Bargello, ma in origine destinata alla seconda porta del battistero poi realizzata da Ghiberti, e quindi il Crocifisso ligneo di Santa Maria Novella, databile intorno al 1410-1415.

Nel 1419 su commissione dell'Arte della Seta, progetta la facciata dello Spedale degli Innocenti, creandone anche il portico, e nel 1420 la cappella Barbadori in Santa Felicità. Contemporanei alla cupola sono i progetti della ricostruzione di San Lorenzo per Giovanni di Bicci e poi per Cosimo il Vecchio de' Medici, e della Sagrestia Vecchia a essa adiacente (1419-1428).

Tra il 1430 e il 1440 l'architetto è impegnato anche nella costruzione della chiesa di Santo Spirito, della cappella de' Pazzi nel complesso di Santa Croce, della Rotonda del monastero di Santa Maria degli Angeli, nonché in opere di architettura militare, architettura civile e scenografiche.

Legata a Brunelleschi è una celebre beffa ordita ai danni di un falegname fiorentino detto il Grasso, una complessa serie di vicende tendenti a convincerlo di essere un'altra persona, intentata nel 1409 e arrivata sino a noi in diverse stesure; mentre risulta aneddotica, se non pura

invenzione, la valorizzazione da parte di Filippo di un piatto a base di carne molto saporito, il “peposo”, sicuramente in voga tra i fornaciai che usavano cuocerlo nello stesso forno dove cuocevano mattoni e tegole.

Per meglio delineare dei tratti caratteriali e comportamentali di Brunelleschi e per introdurci ai problemi relativi alla costruzione della cupola, si riportano di seguito stralci di brani provenienti dagli scritti dei suoi biografi più antichi.

«E Sonvi molte pietre, e delle nascose negli angoli, che none appariscono a nessuna evidenza, e di quelle che appariscono in parte, di macigni lunghi, che quand’e’ ne parlava agli scalpellini, a nessuno modo lo potevano intendere. E quando con terra molle e quando con cera, quando con legnami, e in vero lo serviva molto quelle rape grandi, che vengono la vernata in mercato, che si chiamano calicioni, a fare e modegli piccoli ed a mostrare loro. E ora era per questo caso a’ fabbri per diverse e varie cose di ferramenti, che gli artefici medesimi con fatica gl’intendevano; ora a’ legnaioli con nuovi modi modi e fantasie e prevedimenti per vari rispetti di cose, che non si credeva che mai più per persona fussino sute pensate: e de’ lumi che servissero a’ luoghi, e de’ saliri ed iscese, e del fuggire le percosse di chi aveva a andare e le cadute ne’ bui, ed ogni scandalo e così ogni pericolo, e nonch’è pericoli, ma le paure e gli orrori di queglii che muravano e che servivano loro». (Antonio Manetti, 1423-1497).

«Erano già le catene finite intorno intorno all’otto facce, e già i muratori inanimati lavoravano gagliardamente; ma sollecitati da Filippo più che ’l solito, per alcuni rabuffi avuti nel murare, e per le cose che accadevano giornalmente, se lo erano recato a noia. E mossi da questo e da invidia, si strinsero insieme i capi faccendo setta, e dicendo che era faticoso lavoro e di pericolo, che non volevano svolgere senza pagamento, ancor che più del solito loro fosse stato cresciuto, e così si sarebbero vendicati con Filippo e fatto utile non piccolo a loro. Dispiacque a gli operai questa cosa et a Filippo similmente; e, pensatovi su, prese partito un sabato sera di licenziarli tutti. I quali, vistisi licenziare, non sapevano che fine avessi avere questa cosa, ma il lunedì seguente messe in opera Filippo dieci lombardi, e con lo star quivi presente dicendo: "Fa’ qui così, e fa’ qua"; gli instrui in un giorno tanto, ch’e’ ci lavorarono molte settimane. Dall’altra parte i muratori, veggendosi licenziati e tolto il lavoro e fattoli quello scorno,

non avendo lavori tanto utili quanto quello, messono mezzani a Filippo, che ritornerebbono volentieri, raccomandandosi quanto e' potevano. Così li tenne molti di in su la corda del non gli voler pigliare: poi gli rimesse con minor salario che eglino non avevano in prima; e così, dove pensarono avanzare, persono, e con il vendicarsi contro a Filippo, feciono danno e villania a loro». (Vasari, 1550).



«Venne frattanto il tempo di cominciare a volgere notabilmente la Cupola, ma i maestri, e manuali, che sin allora avevano operato senza paura, e senza difficoltà, perché la muraglia era ancora bassa, e insensibilmente torta, quando quella incominciò a salite, e a notabilmente torcersi e perciò era necessario fare nuovi, e più alti ponti, e sempre più in falso, incominciarono tutti a temere molto più il pericolo per l'altezza grande, che dava loro guardandola in giù un gran terrore, e spavento per non esservi sotto alcun riparo d'armatura, che gli potesse difendere, come anche per la difficoltà, che trovavano nel fare per aria i nuovi ponti, che non potevano avere, stante la tortuosità, e altezza della fabbrica alcun sostegno; per il che nessuno di loro ardiva mettervi neppure la mano [...] applicò Filippo alla cura del muramento facendo i ponti di nuove forme riparando ad ogni pericolo, e coprendo ogni timore, e spavento, che prima avevano i fabbricanti». (Filippo Baldinucci, 1624-1697)

Tra i tanti tributi e riflessioni che gli architetti di tutti i tempi hanno espresso su Brunelleschi e la sua opera principale, merita di essere ricordato il brano di Leon Battista Alberti (1404-1472) che si legge nella dedica che pone in epigrafe all'edizione in volgare del *De Pictura*:

«Chi mai sì duro o sì invido non lodasse Pippo architetto vedendo qui struttura sì grande, erta sopra e' cieli, ampia da coprire con sua ombra tutti e' popoli toscani, fatta senza alcun aiuto di travamenti o di copia di legnami, quale artificio certo, se io ben iudico, come a questi tempi era incredibile potersi, così forte appresso gli antichi fu non saputo o non conosciuto».

Giovanni Michelucci (1891-1991), nel suo *Brunelleschi mago*, fa risalire in qualche modo a Filippo la proverbiale attenzione che egli stesso porrà al ruolo della manodopera nell'opera architettonica e la sua assidua presenza in cantiere, affermando:

«Quando si parla della cupola e dei suoi enormi contenuti tecnici ed estetici sembra privo di senso e anzi può essere ritenuto inopportuno e anche umiliante il richiamo alle mani dei muratori e dei manovali; benché siano state tante e indispensabili per l'opera "magnifica e gonfiata". Pure, a chi salga faticosamente i tanti gradini della scala che conduce alla lanterna, viene fatto di toccare il muro costruito a spina di pesce o a ricorsi paralleli con la stessa leggerezza con cui si tocca un oggetto prezioso. Non si può fermare la mente che evoca quelle mani arrossate e sanguinanti: una sensazione,

un sentimento che non può deprimere la grande fabbrica, né la cultura, perché riscopre nei muri la sofferta partecipazione di uomini pieni di fede e un impegno etico che supera tempo e spazio, che attribuisce ad ogni attività fine e significato, per chi cerca se stesso in un rapporto inequivocabile col mondo, nella bellezza della forma». [...] «Anche Brunelleschi stava sul cantiere; credo fosse sempre sul cantiere».

Gli anni della Cupola

Le fonti amministrative conservate nell'Archivio dell'Opera di Santa Maria del Fiore relative agli anni 1417-1436, detti «gli anni della cupola», sono oggi facilmente consultabili nell'edizione online, curata da Margaret Haines, la quale ha pubblicato contributi originali sull'argomento. I 21.000 atti dei quali si compone l'archivio testuale e fotografico sono ordinati per segnatura e numero di carta con indicazione della posizione progressiva sul foglio e sono ricercabili grazie a una serie di indici. È da ricordare che l'Opera, nel periodo del quale si parla, curava non solo il grande cantiere per la costruzione della cattedrale, ma anche gli arredi e le opere d'arte che adornano la chiesa, la residenza del clero nella vicina canonica e altri immobili di proprietà, nonché i lavori esterni affidati dal Comune, le fortificazioni agli appartamenti papali allestiti nel convento di Santa Maria Novella. Le fonti documentano, tra l'altro, l'approvvigionamento dei materiali edilizi, la gestione della forza lavoro e l'organizzazione del cantiere, mettendo chiaramente in luce il ruolo assunto dall'architetto e da una varietà di figure amministrative e tecniche. In particolare, sono documentati eventi infortunistici e conseguenti iniziative assunte da parte dell'Opera, che possiamo intendere come previdenziali; tutti fenomeni che, com'è naturale, sono stati analizzati, elaborati e commentati dalla stessa curatrice dell'archivio e che verranno qui via via descritti.



La manodopera

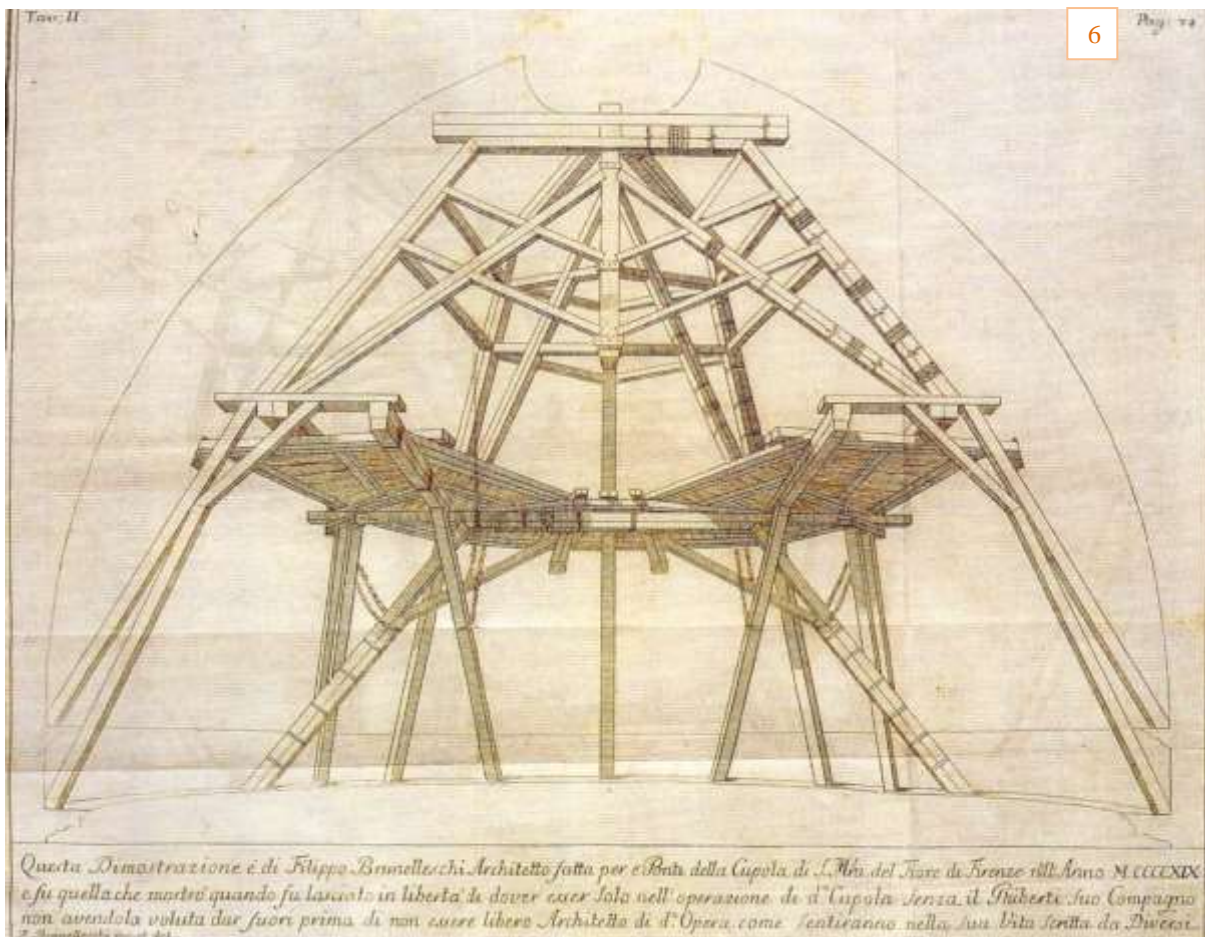
La ricerca storica di Richard Goldthwaite ci aveva già trasmesso informazioni fondamentali sulla costruzione della Firenze rinascimentale, che sono sostanzialmente confermate oggi dallo spoglio dell'archivio digitale dell'Opera di Santa Maria del Fiore. Si hanno così notizie abbastanza circostanziate sulla manodopera dei cantieri: nel XIII e XIV secolo, schiavi, servi o prigionieri non sono più parte significativa del processo edilizio; sono rari i cantieri edili che impiegano più di un centinaio di uomini; il tipico maestro-muratore fiorentino è un lavoratore autonomo che



trova impiego come capo di una piccola squadra formata da uno o più assistenti e/o da un apprendista insieme a uno o due manovali; i salari, pagati in contanti nella giornata di sabato, sono a giornata e senza lavoro non c'è salario; garzoni, fanciulli e manovali sono pagati dal maestro dai quali dipendono; la settimana lavorativa è di sei giorni, per una media di 10 ore e, considerando le domeniche e le circa 50 festività religiose

comandate, si lavora un massimo di 270 giorni all'anno; in genere si prevede che i lavoratori, anche i non specializzati, portino sul cantiere i propri attrezzi e il pasto di mezzogiorno; solo alcuni committenti offrono del vino e un pranzo al completamento di fasi importanti della vita del cantiere; la mobilità del lavoratore e il *turnover* sono incentivati dalla precarietà del posto, dalla sua natura stagionale, rallentando molto o arrendendosi nei mesi invernali, e dall'assenza di incrementi salariali automatici per l'anzianità.

Goldthwaite ha maturato sinteticamente la convinzione che i diversi cantieri, sia pubblici sia privati, possono presentare notevoli differenze tra di loro. Lo storico sostiene poi che «per quanto il sistema economico-sociale potesse essere oppressivo nei confronti dei lavoratori e, in genere, dei più svantaggiati, non sono segnalati forti opposizioni e lotte come quelli che si



registreranno in seguito alla rivoluzione industriale». Ci informa, inoltre, che dai tanti archivi da lui studiati emergono generalmente pochi infortuni sul lavoro, ma anche che, forse a causa dei rischi per la salute e la sicurezza, i maestri dell'edilizia, eccezione tra tutte le Arti Minori, compiono sforzi per aprire un loro ospedale.

Per i lavori gestiti dall'Opera della Cattedrale di Santa Maria del Fiore, come dimostra la Heines, il reclutamento dei lavoratori avviene attraverso l'estrazione a sorte dei nomi degli aspiranti lavoratori, iscritti in appositi elenchi (ruoli) compilati all'inizio del semestre estivo e di quello

invernale. Nel biennio 1418-1419, i ruoli includono più di 80 nominativi; poi il numero oscilla tra le 61 unità nella stagione estiva e le 55 in quella invernale. Le liste registrano competenze professionali specializzate, muratori (*magistri ad murandum* o "maestri di cazuola"), scarpellini (*scarpellatores* o "magistri de scarpello") e, saltuariamente, segatori, legnaioli e fabbri. Solo in taluni casi sono elencati i manovali, mentre quasi mai gli apprendisti, i "pueri", i garzoni. Solo alcuni lavoratori mostrano una continuità occupazionale. Nelle giornate di maltempo sono all'opera solo quattro o cinque tra i muratori, scelti con un'estrazione a sorte, impiegati in lavori come arricciatura, intonacatura, ammattonatura; gli altri non ricevono la paga. «In sulle mura della tribuna maggiore» sono posti un orologio a clessidra per misurare le pause della giornata lavorativa e una tavola di gesso dove si registrano gli scioperi, cioè le assenze dal lavoro.

Considerando una presenza media di 50 lavoratori (qualificati) per 270 giorni all'anno, per un numero di ore lavorative giornaliere pari, in media, a 10, si arriva a un ordine di grandezza di 135.000 ore/uomo/anno e quindi, considerando i 16 anni occorsi per "voltare" la cupola (dalla fine del 1420 al 1436), si ottengono 2.160.000 ore/uomo/opera. Complessivamente più di 300 persone hanno lavorato alla cupola, compresi coloro che sono addetti all'estrazione delle pietre nelle cave, un *turnover* di 6 in tutto il periodo.

Gli infortuni sul lavoro

Come risulta dagli archivi dell'Opera, nei lavori della cattedrale, in quelli considerati in qualche modo propedeutici alla costruzione della cupola, in soli tre mesi sono registrati 3 infortuni mortali:

- il 14 maggio del 1420 Lotto di Guido, scarpellatore, cade dalla terza tribuna, quella meridionale di Sant'Antonio, mentre sta murando sulle cappelle radiali, e l'Opera, essendo egli in fin di vita, elargisce 10 lire per cose necessarie "per la sua liberazione"; la morte avviene dopo quattro giorni e gli operai decidono di non esigere dagli eredi un suo debito con l'Opera «chonsiderato il chaxo» e «amore Dey»; *il mese successivo, Francesco d'Agnolo manovale, cade dal palco della stessa tribuna e muore sul colpo; si stanziavano 10 lire e 15 soldi per il suo "mortorio";
- in luglio, Donato di Valentino cade dalle mura del tamburo dove si deve impostare la cupola e anche a lui viene pagato il funerale.

Con l'avvento di Brunelleschi nel 1420, e quindi con il vero inizio dei lavori per l'elevazione della cupola, come scrive la curatrice dei documenti, l'andamento infortunistico sembra cambiare definitivamente tendenza: secondo la dottoressa Hines, dall'agosto 1420 a tutto il 1436 risultano esserci stati complessivamente un morto e otto feriti di varia entità, con convalescenze da 6 a 29 giornate lavorative indennizzate, a differenza di quanto succede nel corso dei lavori di altre cattedrali e di edifici privati, con una proporzione variabile della paga percepita lavorando. È da considerare, inoltre, che degli infortuni non mortali, 4 sono accaduti sicuramente sulla cupola, 4 in ambienti di lavoro non specificati tra quelli gestiti dall'Opera di Santa Maria del Fiore, di cui 2 con certezza in cantieri che niente hanno a che fare con la cupola. La causa più frequente degli infortuni registrati è la caduta di materiali dall'alto. Tranne Angiolino dalla Magna che non tornerà dai bagni dove era stato indirizzato per curarsi, e i due che certamente non lavorano alla cupola, tutti gli infortunati rientrano al lavoro mantenendo, come la maggior parte dei lavori registrati, una presenza lunga e continuativa nei cantieri dell'Opera.



Esaminando più analiticamente i dati dell'archivio non si possono non confermare, nella sostanza, i dati riportati sopra: dal racconto fattone dalla Heines apprendiamo, a proposito dell'unico infortunio mortale, che nel febbraio 1422 Nencio di Chello «chadde a terra delle mura» della cupola e muore; l'Opera di Santa Maria del Fiore paga la somma di 7 lire e 8 soldi a uno speciale per il suo funerale. Nencio, variamente qualificato nei documenti dell'Opera come maestro, scalpellatore e manovale, nell'estate precedente, appena assunto, si era già infortunato a causa di una lapide che lo aveva colpito in testa e gli operai deliberano di versargli la paga fino a guarigione. Dopo più di due mesi Nencino prova inutilmente a riprendere il lavoro, quindi gli



viene mantenuto un sussidio, molto basso, fino a quando, a giudizio dello scrivano delle paghe, non fosse stato realmente in grado di lavorare. A un certo punto Nencio viene giudicato idoneo, lavora per brevi periodi sino a quando cade dall'alto e finisce di vivere. La serie degli infortuni non mortali risulta iniziare solo dopo tre anni dall'insediamento di Brunelleschi architetto con Jacopo d'Ugolino, detto l'Allodola, messo divenuto manovale, che nel 1423 rimane a casa per sei giorni a causa degli esiti di un infortunio e riceve per intero il salario. Angiolino della Magna, uno dei rari lavoratori forestieri registrati, si infortuna gravemente per essersi «guastati» la spalla e il braccio destro sempre nel

1423: gli vengono corrisposte 8 lire per andare a curarsi ai bagni termali dopo i quali sappiamo che non riprenderà a lavorare.

Sempre basandosi sui dati dell'Opera, passano ben cinque anni senza che venga segnalato un

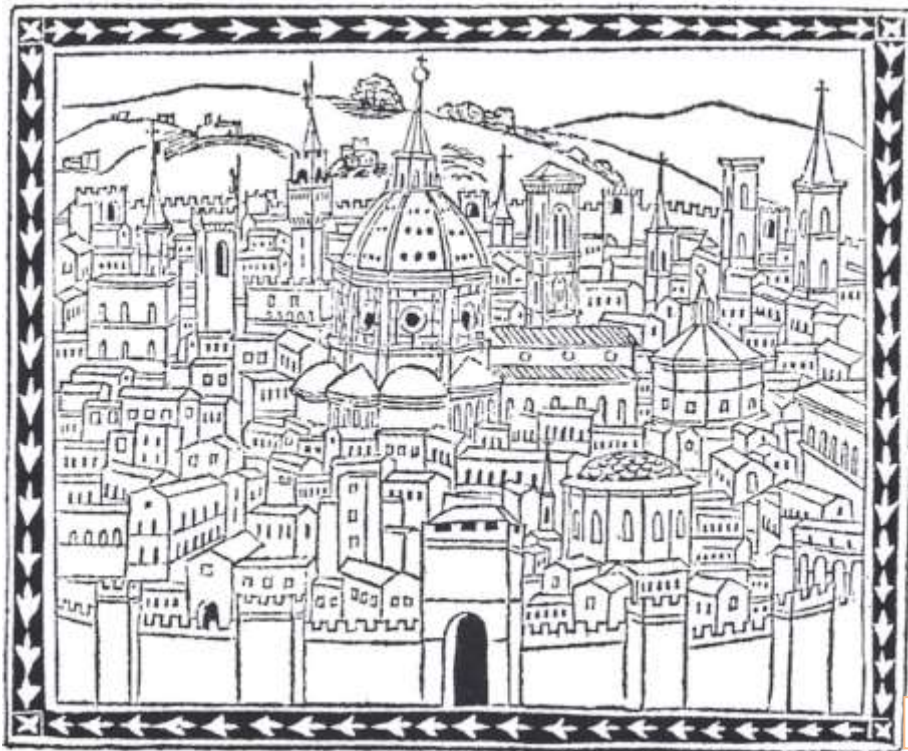
evento infortunistico; nel 1428 si registra che il manovale Piero del Cofaccia ottiene sei giorni di paga dopo essere stato colpito a un braccio da un sasso caduto dall'alto della cupola.

È del 2 luglio 1428 il pagamento al manovale Jacopo di Lorenzo del risarcimento per un infortunio in occasione di lavoro. Nel 1429, Betto di Giagio, maestro di scalpello, riceve 6 lire «per ristuzione d'una perchossa ebe d'uno mattone chade di sulla chupola e stette più di che non lavorò».

Il 20 luglio 1429 a Nanni d'Ellero, maestro, vengono pagate 2 lire per il lavoro perduto a ragione di un non meglio specificato «male che si fece nell'Opera».

Dopo quasi quattro anni, nel 1433, troviamo segnalato nell'archivio il successivo infortunio: un sasso è caduto sulla schiena del manovale Nencio di Matteo Cotignola, che riceve 4 lire per dieci giorni di malattia.

Quasi a conclusione dei lavori, nel novembre del 1435, Checco di Meo di Ciechino, scapellatore di Settignano, riceve 14 lire, l'equivalente di venti giornate di paga rispetto ai ventinove che avrebbe guadagnato se avesse potuto lavorare, e ciò a causa di un infortunio in un non meglio specificato cantiere dell'Opera.



Un altro scalpellatore di lunga carriera, Checcho d'Andrea detto il Fraschetta, proprio al tempo della consacrazione della cattedrale, nel marzo del 1436, essendosi infortunato a un occhio, ottiene un risarcimento di sei giornate calcolate a mezza paga.

Ricordando anche che qualsiasi infortunio sul lavoro, seppur lieve, e pur nella sua frequente complessità per l'intreccio di fattori materiali e immateriali, è da considerare come superfluo e prevenibile, il fenomeno infortunistico degli anni dei lavori alla cupola – così

come è descrivibile con i dati dell'archivio – è apparso in prima battuta modesto, come è stato definito dalla dottoressa Heins, tanto da far ritenere superflua la costruzione di tassi di frequenza o di gravità, nonostante si disponga degli ottimi denominatori riportati sopra. In via generale, si può anche considerare il fenomeno infortunistico stesso tendenziale e positivo; può ispirare, come ha ispirato, grande soddisfazione e suggerimenti per una sua emulazione, ma necessita di qualche commento, senza che ciò escluda l'opportunità di riconoscere,



per quanto possibile, alcuni fattori tecnici e organizzativi che potrebbero averlo favorito nella sua reale entità appunto nel significato generale, di tendenza.

I dati mediante i quali il fenomeno infortunistico è valutabile sono quelli ufficiali, quelli del committente, e non ce ne sono di alternativi o complementari. Tali dati portano ragionevolmente a pensare che gli infortuni registrati e riconosciuti abbiano un fondamento amministrativo (assicurativo, diremmo oggi), benché non precisamente regolamentato; si tratta sempre di infortuni che comportano spese che l'Opera di Santa Maria del Fiore deve impugnare e sostenere: spese elargite, confrontando i vari casi, in maniera non omogenea o comunque basate su criteri

generali che ci sfuggono. Si potrebbe ipotizzare che gli infortuni "non indennizzabili" non venissero neppure registrati; tra questi ci potrebbero essere gli infortuni occorsi a lavoratori, pueri, garzoni, apprendisti, forse a una determinata categoria di manovali (anche se alcuni risultano indennizzati), per i quali a rispondere o meno può essere chiamato il maestro, cioè il muratore o il carpentiere dal quale quelli dipendono; inoltre possono essere stati esclusi dal computo quegli infortuni che non comportano l'abbandono del posto di lavoro, con le usanze dell'epoca, quindi da non iscrivere nel libro paga. Non disponiamo di elementi per avanzare ipotesi interpretative a proposito dei periodi con assenza di infortuni relativamente lunghi e ripetuti: dal 1420 al 1422, dal 1428 al 1433, dal 1433 al 1435.



Altrettanto difficile da analizzare e da comprendere è il fatto che, prima dell'arrivo di Brunelleschi sul cantiere, nel 1420, si siano verificati 3 infortuni mortali, uno al mese, per poi non avere più notizie di infortuni per più per due anni. Una certa importanza nel determinare condizioni differenziate di rischio infortunistico potrebbero averla le caratteristiche costruttive adottate in stagioni diverse della vita di un cantiere variabile (con rallentamenti e accelerazioni) e complesso come deve essere stato quello della cattedrale prima, della cupola poi.

Ben documentate e interessanti sono le informazioni che possono essere tratte

dall'archivio dell'Opera a proposito delle condizioni di lavoro e dell'organizzazione del lavoro nel cantiere della cupola; questi dati risultano ovviamente molto utili per apprezzare la natura e l'efficacia di misure di vario ordine, sia tecniche che procedurali, introdotte attivamente al fine di controllare il rischio infortunistico, più utili forse dell'analisi degli infortuni stessi.

L'organizzazione del cantiere

La dottoressa Heines ha affermato a ragione che dall'archivio dell'Opera emerge l'immagine di un cantiere, quello della cupola, gestito in maniera "manageriale" per quanto riguarda l'organizzazione del lavoro, la qualità dei materiali, la logistica e la sicurezza. Inoltre, si può pensare che abbiamo a che fare con «un cantiere eccezionalmente sicuro e flessibile» perché «pubblico» e nel contempo religioso, *slow* (per usare un termine moderno), di grande rilevanza cittadina, con sicuri finanziamenti, una gerarchia solida e strutturata con al centro un architetto presente quotidianamente e capace di intervenire sui problemi intercorrenti con competenza e tempi adeguati. Un cantiere modello, da esportare, come è effettivamente successo, e da giudicare migliore, sulla base della letteratura disponibile, di altri cantieri attivi nello stesso periodo per la costruzione di cattedrali in altri comuni o stati della penisola.



Nei confronti delle maestranze, come risulta dall'archivio dell'Opera, viene praticata una sorta di paternalismo: si elargiscono prestiti in denaro per la dote di una figlia o di una sorella di componenti delle maestranze, si mantengono al lavoro alcuni infortunati, c'è una certa stabilità occupazionale, ma nel contempo vengono applicati regolamenti perentori. Viene posta attenzione all'idoneità alla carica di comando oltre che a quella dei lavoratori e dei preposti. La gerarchia, fondata saldamente su figure attive, come consoli dell'Arte della Lana, operai, camarlingo, provveditore, notaio, architetto e capomastri, a quanto risulta, è inflessibile, ma anche, in certo senso, democraticamente eletta, con mandato a rotazione di durata relativamente breve.

Dall'archivio dell'Opera è possibile estrarre una serie di decisioni e provvedimenti, opportunamente focalizzati dalla Heines, che debbono direttamente o indirettamente aver contribuito a migliorare le

condizioni di lavoro nel cantiere introducendo misure di indubbio valore preventivo per la salute e la sicurezza. Un problema precisamente evidenziato da tutti, come risulta dalle testimonianze, e oggetto di rivendicazioni da parte degli interessati: viene effettuato un pagamento a Filippo Brunelleschi per l'invenzione



dell'impalcatura per sistemare una gru; viene emanato il divieto alle maestranze «di farsi collare» fuori dalle mura per catturare uccelli, prevedendo come penale la detrazione di 15 giorni di salario; prima viene autorizzata la distribuzione di vino ai maestri sopra la cupola, purché annacquato per un terzo, ma in seguito se ne vieta del tutto l'uso; viene emanato l'ordine che «da lato della volta dentro si ponga per parapetti assi che coprano la veduta ai maestri per più loro

sicurtà»; si vieta, «pena la cassazione», di scendere dalla cupola durante il turno di lavoro e di farsi tirare (dalla gru, forse?) sulla sommità delle mura.

Nel febbraio 1428, riconoscendo – e monetizzando – il maggior rischio del lavorare in altezza, si decide che maestri e manovali che lavorano sulla cupola possono scegliere fra tre opzioni: prestare attività a terra ma con riduzione del salario, 20 soldi «super muro cupole magne», 18 in basso. La disposizione viene in seguito revocata, dovendo la direzione constatare che trasformare muratori in scalpellatori a terra «non era nell'interesse dell'Opera» e viene quindi autorizzato il capomastro a «preccettare sia maestri muratori sia scalpellatori a servire come manovali o murare sulla cupola, pena il licenziamento di chi non ubbidisse».



Nel 1432, quando si prova il montaggio dell'anello di chiusura per serrare le calotte della cupola in alto, Nanni di Berto “Ferro” riceve addirittura 22 soldi in tutte le stagioni come compenso «per i pericoli cui andava incontro».

Pare che sia stata posta particolare attenzione al problema dei ponteggi: all'inizio dell'opera, quando la parete della Cupola è pressoché verticale, il ponteggio viene realizzato con travi impiantate nel muro, nelle buche puntaie, all'interno e all'esterno della costruzione; mentre per l'ultimo tratto, quando la calotta si curva fino a convergere verso il centro, Brunelleschi progetta un ponteggio sospeso nel vuoto al centro della cupola,

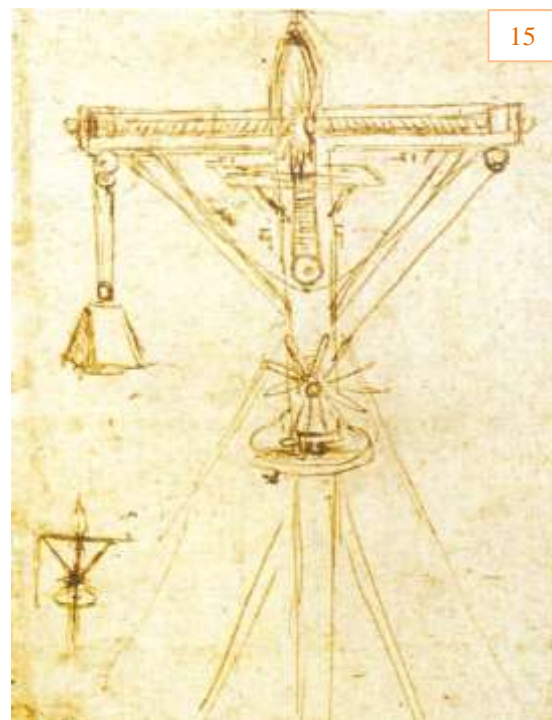
verosimilmente appoggiato con lunghe travi a piatteforme poste a quote inferiori, che servono da depositi di materiali e strumenti, attrezzate con parapetti all'interno della volta che impediscono ai

muratori di guardare in basso. Le piattaforme devono risultare abbastanza larghe per funzionare anche come rete di salvataggio e per deposito di materiali e sistemazione delle attrezzature. Nell'archivio sono stati individuati indizi (in realtà labili) che hanno portato a pensare che alcuni muratori che lavorano sulle pareti in alto fossero muniti di imbracature di sicurezza. Sono visibili anche oggi punti di sostegno per i ponteggi, numerosi anelli di ferro utilizzati anche in seguito per la decorazione della calotta. Su quanto si sta dicendo è di conforto la testimonianza di Antonio Manetti, che plaude agli accorgimenti dell'architetto, che constano in «nuove forme e necessarie» e prevengono «le paure e gli orrori di quegli che muravano e che servivano loro», maestri e manovali.

Serve ricordare, considerandolo anche un buon indicatore del sistema di gestione di sicurezza adottato nei lavori della cupola, che Brunelleschi ha previsto e tramandato un insieme di sorgenti di illuminazione naturali per le scale e per i passaggi che corrono, quindi per quasi tutte le postazioni frequentate dalle maestranze nelle varie fasi lavorative.

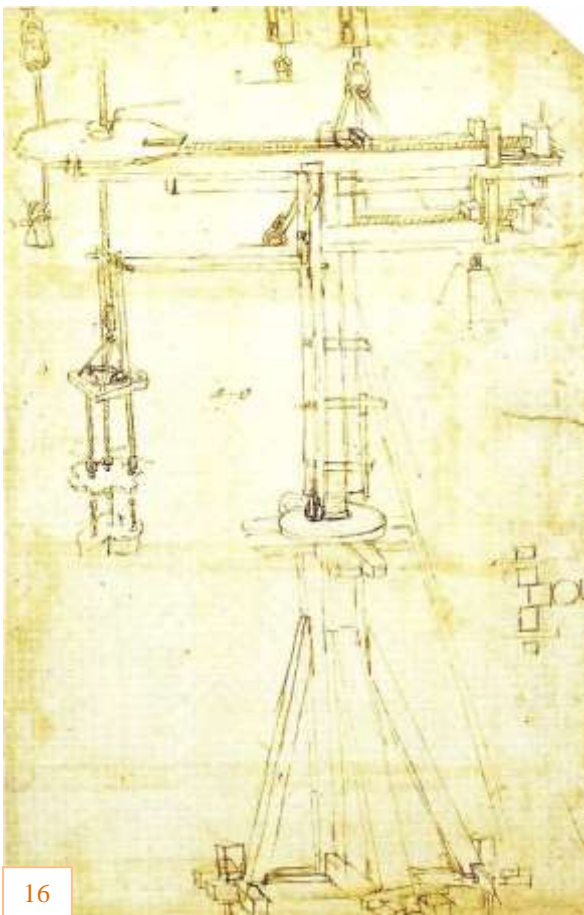
Attrezzature per la movimentazione dei carichi

A differenza di quanto illustrato dall'iconografia medievale, sembra che per la costruzione della cupola fosse stata quasi del tutto superata la movimentazione manuale dei carichi di pietre, mattoni, calcina, ferro, navi lignee: Brunelleschi inaugura l'era del massiccio ricorso alla movimentazione meccanica. Alcuni autori stimano che negli anni della cupola sono stati movimentate circa 29.000 tonnellate di carichi, in media più di 2.000 tonnellate all'anno, 8 tonnellate al giorno. È stato valutato che le murature siano cresciute in media circa 2,5 metri all'anno e che il numero di mattoni posti in opera sia dell'ordine di alcuni milioni, consegnati al ritmo di forse 400.000 o più all'anno; il numero medio di mattoni posti in opera in un'ora-uomo sarebbe stato dell'ordine di poche



unità, una ventina al giorno per lavoratore, grossomodo un migliaio al giorno o poco più in totale.

Brunelleschi, come si è detto, non ha lasciato scritti né disegni delle attrezzature e delle macchine da lui stesso ideate utilizzate per la costruzione della cupola; le macchine brunelleschiane tuttavia hanno precocemente richiamato l'interesse di ingegneri e architetti: Mariano di Jacopo detto Il Taccola (1382-1453 circa), Francesco di Giorgio Martini (1439-1501), Giuliano Giamberti da Sangallo (1445-1516), Bonaccorso Ghiberti (1451-1516), Leonardo da Vinci (1452-1519), i quali si sono preoccupati di tramandare, relativamente a quelle macchine, immagini e studi eloquenti. È



16

grazie a questi autori che è stato possibile fare un inventario completo delle macchine utilizzate per la costruzione della cupola; le macchine poi sono state studiate e precisamente ricostruite in modelli funzionanti anche negli anni più recenti, in particolare a cura dall'Istituto e museo di storia della scienze (oggi Museo Galileo) di Firenze.

Sulla base di queste autorevoli informazioni tramandate, le principali macchine impiegate per la costruzione della cupola e della lanterna risultano essere cinque: l'argano a tre velocità, la gru girevole, l'argano leggero, la gru girevole con argano, la gru girevole della lanterna; tutte attentamente studiate e illustrati in particolare da Paolo Galluzzi.

L'**argano a tre velocità** si basa su una struttura ancorata a terra ed ha due ruote orizzontali

solidali che operano in alternativa; un albero verticale aziona un albero orizzontale cilindrico che presenta due diversi spessori e trascina, mediante un sistema rocchetto-ruota dentata, un altro albero cilindrico orizzontale di spessore ancora diverso. Possiede un dispositivo di sicurezza per impedire l'inversione della rotazione degli alberi ed è azionato da una coppia di buoi. Un

dispositivo a vite senza fine consente di passare dalla salita alla discesa del carico senza bisogno di riattaccare gli animali in senso contrario.



17

La **gru girevole** deve essere stata alta almeno 20 metri e utilizzata nella fase di chiusura dell'occhio della cupola, alla base della lanterna. L'albero verticale della gru è manovrato da un lungo timone e può ruotare di 360°. Per il suo funzionamento risultano necessarie quattro squadre di operai: una per far ruotare la gru, due squadre per azionare le viti per lo spostamento radiale del carico e del contrappeso, una quarta per azionare la vite verticale.

L'**argano leggero** è composto da una ruota orizzontale mossa mediante due pertiche azionate da quattro uomini: l'albero della ruota verticale trascina il tamburo sul quale è avvolto il canapo di sollevamento che passa attraverso una puleggia posta al centro della ruota orizzontale.

La **gru girevole con argano** è stata più probabile utilizzata sui ponteggi-piattaforme allestiti sulla muratura. È composta da una ruota verticale a pioli che aziona un verricello per sollevare piccoli pesi e una slitta a vite per spostare lateralmente il peso sollevato.

La **gru girevole della lanterna**, concepita dal solo Brunelleschi, in una versione è disposta al centro dell'occhio della cupola e presenta un braccio girevole a 360° con un sistema a vite che

consente, oltre alla rotazione, l'escursione trasversale del carico che permette di alzare e posizionare i blocchi di marmo che formano la parte inferiore della lanterna. La seconda versione della gru presenta, oltre al braccio girevole, anche un verricello e un paranco, in modo da sollevare e posizionare i carichi all'interno della piattaforma di base ed è stata impiegata per la costruzione della parte superiore e per posizionare la sfera di rame e la croce in ferro sovrastanti. È divenuta proverbiale la ricerca che Brunelleschi fa della qualità di tutti i materiali utilizzati per la costruzione della cupola, dai mattoni ai marmi ai legnami; così è per la qualità dei canapi, in primo luogo di quelli di grande peso impiegati per la gru, costruiti secondo specifiche precise fornite e verificate personalmente dall'architetto. Altrettanto curata è stata la scelta, la costruzione e, in molti casi, la reinvenzione, con tutte le modifiche pertinenti, di arnesi e altre numerose attrezzature di cantiere, quali ulivelle, carrucole, forbici eccetera. Come risulta dallo studio svolto da Romano Nanni, l'unica invenzione di Brunelleschi che non sembra essere andata a buon fine in termini di efficacia è il famoso badalone, per il quale l'architetto aveva pur ottenuto il privilegio: si tratta di un tipo d'imbarcazione per mezzo della quale egli riteneva di poter facilmente trasportare mercanzie e carico, in ogni tempo, anche d'estate con il fiume in secca, pensando in particolare al passaggio del marmo di Carrara sull'Arno, da Pisa e almeno sino a Signa, in tempi e con costi minori di quelli usuali.



Bibliografia consultabile

- Alberti LB. *De Pictura*. A cura di Grayson C. Bari, Laterza, 1980 (edizione originale 1436).
- Bartoli L. *Il disegno della Cupola del Brunelleschi*. Firenze, Leo S. Olschki, 1994.
- Battisti E. *Filippo Brunelleschi, l'opera completa*. Milano, Electa, 1976.
- Bottari Scarfantoni N. *Il cantiere di San Giovanni Battista a Pistoia (1353-1366)*. Pistoia, Società Storia Patria Pistoia, 1998.
- Braunstein P. Il cantiere del Duomo di Milano alla fine del XIV secolo: lo spazio, gli uomini e l'opera. In: Maire Vigueur JC, Paravicini Bagliani A (eds.). *Ars et Ratio: dalla torre di Babele al ponte di Rialto*. Palermo, Sellerio, 1990, pp. 147-64.
- Carnevale F, Pieralli D (eds.). *I cantieri di Firenze. Immagini colte in occasione dei controlli per la salute e la sicurezza dei lavoratori*. Firenze, Alinari-24 Ore, 2008.
- Corazzi R, Conti G. *Il segreto della Cupola del Brunelleschi a Firenze*. Firenze, Pontecorboli, 2011.
- Del Panta L, Livi Bacci M, Pinto G, Sonnino E. *La popolazione italiana dal Medioevo a oggi*. Roma-Bari, Laterza, 1996.
- Di Pasquale S. *La costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore*. Venezia, Marsilio, 2002.
- Fabbri L. L'Opera di Santa Maria del Fiore nel quindicesimo secolo: tra Repubblica fiorentina e Arte della lana. In: Verdon T, Innocenti A (eds.). *La cattedrale e la città. Saggi sul Duomo di Firenze*. Volume I. Firenze, Edifir, 2001, pp. 319-39.
- Fabriczy C. *Filippo Brunelleschi: la vita, le opere*. Firenze, Uniedit, 1979.
- Fanelli G, Fanelli M. *La Cupola del Brunelleschi. Storia e futuro di una grande struttura*. Firenze, Mandragora, 2004.
- Galluzzi P. *Gli ingegneri del Rinascimento, da Brunelleschi a Leonardo da Vinci*. Firenze, Giunti, 1996.
- Goldthwaite RA. *La costruzione della Firenze rinascimentale. Una storia economica e sociale*. Bologna, Il Mulino, 1984 (ed. orig. 1980).
- Guasti C. *La Cupola di Santa Maria del Fiore*, Bologna, Forni, 1996, rist. anast. del volume pubblicato nel 1857 a Firenze per l'editore Barbera Bianchi.
- Haines M. The builders of Santa Maria del Fiore: an episode of 1475 and an essay towards its context. In Morrogh A, Superbi Gioffredi F, Morselli P, Borsook E (eds.).

Renaissance studies in honor of Craig Hugh Smyth. Firenze, Giunti Barbera, 1985, pp. 89-115.

- Haines M. Brunelleschi and Bureaucracy. The Tradition of Public Patronage at the Florentine Cathedral. *I Tatti Studies* 1989,3:89-125.
- Haines M. Lavorare sulla cupola: sicurezza e coraggio al tempo di Brunelleschi. In: Fabbri L, Giusti A (eds.). *Studi intorno a Santa Maria del Fiore in ricordo di Patrizio Osticresi*. Firenze, Mandragora, 2012.
- Haines M (ed.). *Gli Anni della Cupola. Archivio digitale testuale e strutturato delle fonti dell'Opera di Santa Maria del Fiore, 1417-1436*. Firenze, Opera di Santa Maria del Fiore. Disponibile all'indirizzo: <http://www.operaduomo.firenze.it/cupola> (Ultima consultazione: 20.02.2013).
- Marconi N. *Edificando Roma Barocca. Macchine, apparati, maestranze e cantieri tra XVI e XVII secolo*. Città di Castello, Edimond, 2004.
- Mazzi MS. *Prostitute e lenoni nella Firenze del Quattrocento*. Milano, Il Saggiatore, 1991.
- Michelucci G. *Brunelleschi mago*. Pistoia, Tellini, 1990 (ed. orig. 1972).
- Nanni R. *Il Badalone di Filippo Brunelleschi e l'iconografia del «navigium» tra Guido da Vigevano e Leonardo da Vinci*. *Annali di Storia di Firenze*, VI, 2011, 65-82.
- Prager F, Scaglia G. *Brunelleschi. Studies on his Technology and Inventions*. Mineola, Dover Publications, Inc., 2004 (ed. orig. 1970).
- Regione Toscana. *Impresa Sicura: l'Uomo costruttore di sicurezza*, Quaderni di Fabrica Ethica n.5, Firenze, Regione Toscana, 2009. Disponibile al sito:
- <http://www.regione.toscana.it/documents/10180/70256/Impresa+sicura++1%27Uomo+costruttore+di+sicurezza/848bad19-de94-430a-a569-20a1ea3e80e2?version=1.0>
- Riccetti L. Pranzi di cantiere. In: Laurioux B, Moulinier-Brogi L (eds.). *Scrivere il Medioevo. Lo spazio, la santità, il cibo. Un libro dedicato ad Odile Redon*. Roma, Viella, 2001, pp. 351-67.
- Saalman H. *Filippo Brunelleschi. The Cupola of Santa Maria del Fiore*. London, A. Zwemmer Ltd., 1980.
- Sanpaolesi P. *La Cupola di Santa Maria del Fiore. Il progetto - La costruzione*. Firenze, Edam, 1977.
- Vasari, G. *Le vite de' più eccellenti architetti, pittori et scultori italiani, da Cimabue,*

insino a' tempi nostri. Firenze, per i tipi di Lorenzo Tormentino, 1550. Rist. a cura di Bellosi L, Rossi A. Torino, Einaudi, 1991.

- Zacchè G (ed.). *La casa di dio, la fabbrica degli uomini, gli archivi delle fabbricere*. Atti del convegno di Ravenna (26 settembre 2008), Modena, Mucchi, 2009.

Didascalie delle immagini

1. Il cantiere della Cupola di Santa Maria del Fiore (Salvatore Romano, 2005).
2. Spaccato assonomico della cupola con evidenziazione della struttura e (a destra) particolare della struttura di una vela (da Corazzi e Conti, 2011).
3. Statua di Filippo Brunelleschi situata nella parte esterna Sud della Cattedrale di Santa Maria del Fiore (Luigi Pampaloni, 1835).
4. Carnevale F, Pieralli D (eds). *I cantieri di Firenze. Immagini colte in occasione dei controlli per la salute e la sicurezza dei lavoratori*. Alinari-24ore 2009.
5. La “cupola prima della cupola” nell’affresco “La Chiesa militante e trionfante”. Affresco di Andrea di Bonaiuto dipinto tra il 1366 ed il 1369 nell’antica sala capitolare del convento di Santa Maria Novella (Cappellone degli Spagnoli).
6. Prospetto dei ponti dei quali si servì il Brunelleschi per alzar la cupola (Giovan Battista Nelli, 1753).
7. Vista della cupola (Fonte: Carnevale F, Pieralli D (eds). *I cantieri di Firenze*).
8. Vista del cantiere della Cupola da palazzo Gondi (Fonte: Carnevale F, Pieralli D (eds). *I cantieri di Firenze*).
9. Panorama di Firenze da Nord, xilografia (Lorenzo Morgiani e Johann Petri, 1495).
10. La cupola di Santa Maria del Fiore (Ottone Rosai, 1954).
11. Lanterna di Santa Maria del Fiore (Fonte: Wikipedia; GNU Free License).
12. Cupola del Battistero (Fonte: Wikipedia, Autore: Sailko; GNU Free License).
13. Interno della Cupola di Santa Maria del Fiore (Fonte: Wikipedia, Autore: Sadctm; GNU Free License).
14. Modello ligneo della lanterna, attribuito a Filippo Brunelleschi e Antonio Manetti, XVII secolo, custodito al Museo dell'Opera del Duomo di Firenze (Fonte: Wikipedia, Autore: Sailko; GNU Free License).
15. Gru girevole con argano (Leonardo da Vinci, *Codice atlantico*, 1478-1519).

16. Gru girevole (Leonardo da Vinci, *Codice atlantico*, 1478-1519).

17. Gru girevole, modello funzionante (Istituto e museo di storia della scienza – Museo Galilei, 1987) costruito sulla base dei disegni di Leonardo da Vinci (Fonte: Galluzzi P, *Gli ingegneri del Rinascimento. Da Brunelleschi a Leonardo da Vinci*. Milano, Giunti Editore, 1996) .

18. Visione notturna della Cupola del Brunelleschi che appare allineata con il campanile di Giotto, la torre del Bargello e il campanile della Badia Fiorentina, come si osserva da una terrazza di via de' Benci (Maciocco R, 2013).