

FINMECCANICA



ISTITUTO E MUSEO DI STORIA DELLA SCIENZA



COMUNE DI FIRENZE

Gli ingegneri del Rinascimento da Brunelleschi a Leonardo da Vinci

PAOLO GALLUZZI



ISSC-IBM



CASSA DI RISPARMIO
DI FIRENZE



cordiale e proficua è stata la collaborazione che si è stabilita con Stefano Gris, progettista della mostra, e con Peter Paul Eberle, ideatore del logo e responsabile della grafica, mentre puntuale e professionalmente qualificato è risultato l'apporto di Opera Laboratori Fiorentini che, sotto il coordinamento efficiente di Franco Ruggeri, ha costruito l'allestimento e garantito i servizi necessari per il trasporto e per il montaggio. Molto intensa e positiva, infine, è stata l'esperienza compiuta con i costruttori dei modelli funzionanti delle macchine e dei modelli di architettura e dei plastici, senza l'abilità artigianale dei quali sarebbe stato impossibile dotare la mostra di macchine così suggestive. Analoga valutazione può essere fatta per la realizzazione del filmato sulla Città-macchina del Rinascimento, che è il risultato dell'appassionato impegno di Valerio Castelli di Garage Cinematografica e dei suoi collaboratori, oltre che della professionalità del regista Giampaolo Tescari. Delle moltissime altre obbligazioni che ho contratto durante la preparazione di questa mostra non mi è possibile fare qui specifica menzione. Mi sarà consentito, tuttavia, di ringraziare Carlo Pedretti, dalla cui immensa competenza su Leonardo ho continuamente potuto trarre profitto, nonché Riccardo Dalla Negra, Francesco Gurrieri e Salvatore Di Pasquale, che hanno offerto un contributo determinante alla definizione della sezione su Brunelleschi, alla cui realizzazione ha conferito continuo sostegno anche l'Opera del Duomo di Firenze. Ho contratto un particolare debito di riconoscenza nei confronti di Pierre Théberge, Direttore del Musée des Beaux-Arts di Montréal, e di Piero Tosi, Magnifico Rettore dell'Università di Siena, che hanno messo con entusiasmo a disposizione i modelli costruiti per le esposizioni di Montréal e di Siena. Sono molto grato a Sergio Giunti per aver offerto all'iniziativa la piena collaborazione di un gruppo editoriale che, realizzando negli ultimi venti anni la serie completa delle stupende edizioni critiche dei manoscritti di Leonardo, ha reso un servizio senza il quale un'iniziativa di questo tipo sarebbe risultata impossibile. Colgo, infine, l'occasione per ringraziare i responsabili dei prestigiosi musei, biblioteche e archivi che hanno accolto le nostre richieste, concedendo in prestito documenti di eccezionale importanza.

Idealmente, questa mostra è dedicata a tre grandi studiosi, purtroppo tutti scomparsi: a Bertrand Gille, anzitutto, che ha dato contributi fondamentali, anche sul piano metodologico, di storia della tecnologia e che ha indicato per primo la necessità di considerare Leonardo non come una figura avulsa dal suo tempo, ma come uno dei numerosi eccellenti ingegneri del Rinascimento; ad André Chastel, del quale ho avuto in molteplici occasioni il privilegio di ammirare l'umanità e il vastissimo sapere, e che è stato, tra gli storici dell'arte del Rinascimento, uno dei più sensibili e dei più attenti alla dimensione tecnica dell'attività degli artisti di quel tempo, oltre che studioso finissimo di Leonardo e dell'intreccio profondo nell'opera del Vinciano tra arte, tecnica e scienza; ad Eugenio Battisti, infine, maestro insuperato degli studi di storia delle 'arti', promotore indefesso di una ricerca sulle culture artistiche nelle quali seppe cogliere le fondamentali e costanti presenze tecniche, oltre che appassionato conoscitore ed editore mirabile dei testi così suggestivi di quegli ingegneri rinascimentali ai quali la mostra si propone di offrire una scena bene illuminata.

Paolo Galluzzi

Università di Firenze
Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze

Introduzione

NELL'IMMAGINE convenzionale del Rinascimento poco spazio viene solitamente riservato ai protagonisti di quello che può essere definito il "rinascimento delle macchine", sovrastato ed oscurato da quello delle lettere e delle arti. L'unica eccezione è costituita da Leonardo, del quale, a partire dalla riscoperta dei suoi manoscritti alla fine del secolo XVIII, si sono ossessivamente esaltati i meriti di eccezionale inventore.

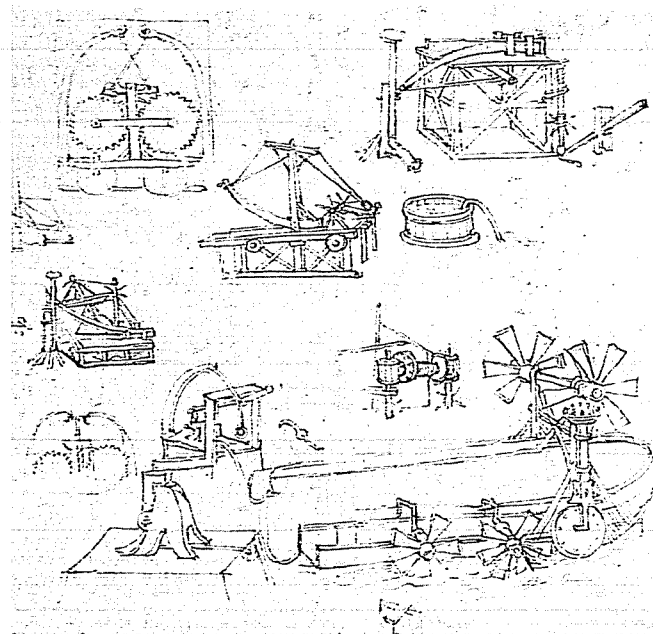
L'insistenza su Leonardo e, soprattutto, l'attribuzione al Vinciano del merito di avere per primo avviato una riflessione di straordinaria modernità su macchine e meccanismi hanno contribuito a lasciare nell'ombra il complesso e non breve processo, segnato da tappe e da protagonisti particolarmente significativi, che durante il secolo che precede l'entrata in scena di Leonardo produsse una vera e propria rivoluzione nella cultura e nella pratica delle macchine.

Una delle conseguenze dello sforzo di riportare in piena luce questo processo è la necessità di riconsiderare il ruolo tradizionalmente assegnato a Leonardo. Da precoce iniziatore di una concezione dell'attività macchinale nuova per metodo e per arduo degli obiettivi, egli viene infatti trasformandosi nel punto di arrivo, nell'esito più maturo e originale di un'elaborazione corale protrattasi per molti decenni. Osservato da questo angolo visuale, Leonardo non appare più come un profeta visionario e inascoltato, ma viceversa come l'uomo che più eloquentemente ha saputo dar voce e visibilità grafica alle utopiche aspettative circa le possibilità delle tecniche entusiasticamente condivise da molti artisti-ingegneri del Quattrocento.

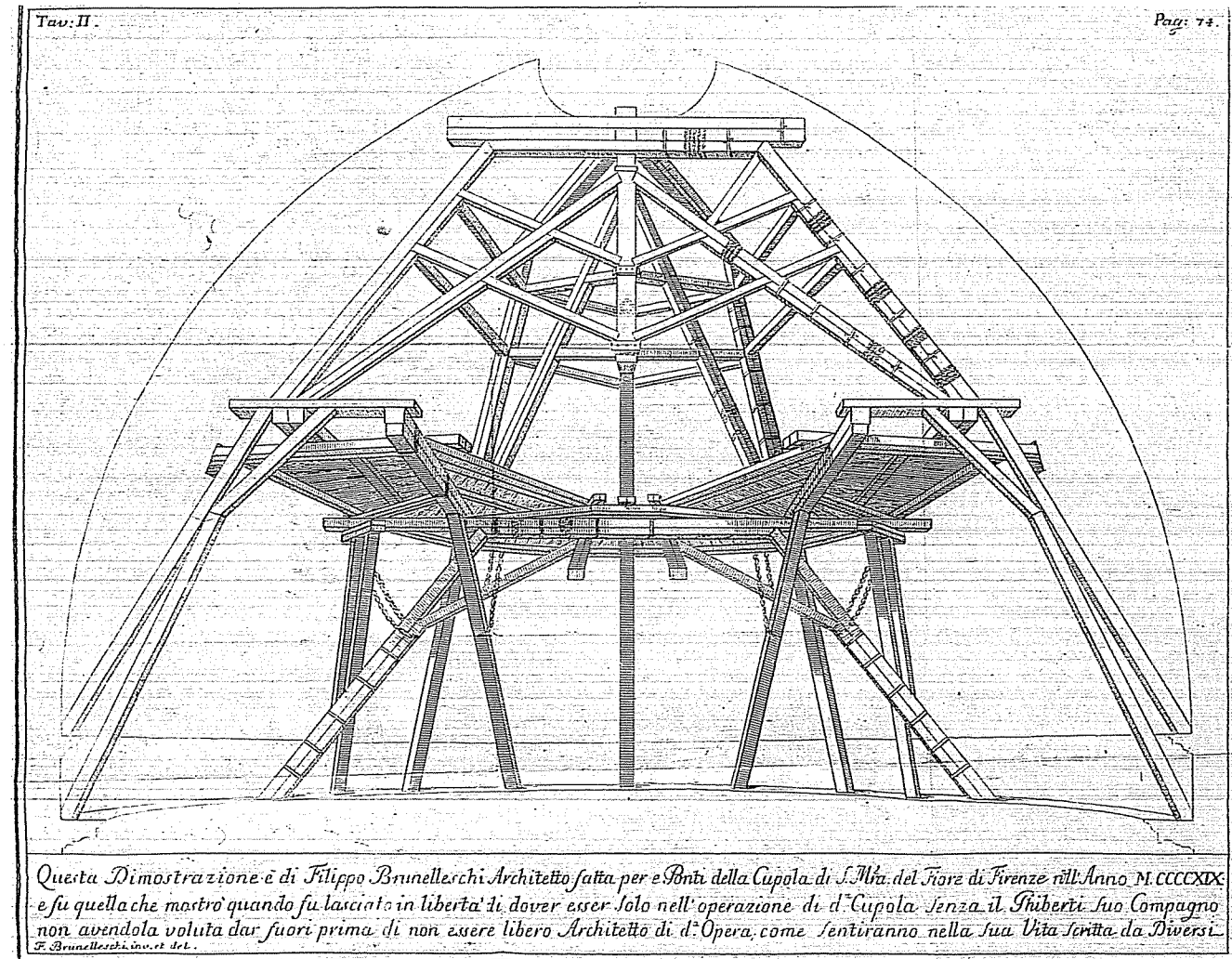
Per capire come lo scenario venga mutando per l'artista-ingegnere, soprattutto in Italia - che è l'area sulla quale fermeremo l'attenzione come teatro privilegiato di questo processo - basterebbe

contrastare l'immagine dell'ingegnere medievale con quella che i tecnici più qualificati vengono assumendo nella società nel corso del Quattrocento. Tranne pochissime eccezioni, l'identità degli ingegneri medievali rimane nell'anonimato, anche se molti di questi tecnici furono protagonisti di tutta una serie di straordinarie realizzazioni. Basti pensare alla costruzione delle grandi cattedrali gotiche¹, oppure a quei centri di produzione e di innovazione che furono le abbazie cistercensi, per non menzionare le conquiste della cosiddetta "rivoluzione tecnica medievale"², soprattutto in campo militare (staffa e bardatura del cavallo, trabocco) e agricolo (aratro pesante e rotazione triennale).

Viceversa, l'artista-ingegnere del maturo Quattrocento è un personaggio socialmente ben visibile e apprezzato, ricercato dai committenti più autorevoli e prestigiosi, profumatamente retribuito e spesso considerato come uno dei maggiori ornamenti delle corti. Si assiste a una vera e propria competizione per acquisire la collaborazione dei tecnici più reputati. Soprattutto nella seconda metà del Quattrocento, questi ingegneri sono contesi da pontefici, principi e repubbliche della penisola, mentre si cominciano ad avvertire gli effetti dell'ingresso nella competizione dei potentati stranieri, soprattutto della monarchia francese. L'attività di questi personaggi attrasse in certi casi anche l'interesse dei Sultani, in particolare di Maometto II. Molti di loro - è il caso di Aristotele Fioravanti, di Francesco di Giorgio, di Leonardo, del Filarete, di Fra Giocondo, di Giuliano da Sangallo e di tanti altri - dovranno intraprendere frequenti ed estenuanti viaggi per eseguire le commesse affidate loro dai diversi Signori della penisola e dalla monarchia francese. Commesse di natura diversa: dalla progettazione e costruzione di regge e palazzi, ponti, canali navigabili, dighe ecc., alla messa in opera



1. GDSU 4085A (dettaglio). La curiosa imbarcazione che si riconosce in questo foglio contenente copie cinquecentesche da fogli perduti di Leonardo potrebbe essere una memoria del battello brevettato da Brunelleschi
2. Ricostruzione ipotetica di G.B. Nelli (1661-1725) dei ponteggi interni della cupola
3. La lanterna, progettata da Brunelleschi nel 1436



di fortificazioni e di strumenti bellici, alla ideazione e realizzazione di acquedotti efficienti, alla progettazione di macchine e dispositivi per migliorare determinati cicli produttivi, arricchire la suggestione di spettacoli teatrali o feste di corte mediante "effetti speciali", oltre naturalmente a opere di pittura, di scultura, di disegno, di architettura e di decorazione.

In un'epoca di continue guerre tra gli stati della Penisola, di formazione delle principali Signorie, di sviluppo delle attività commerciali e manifatturiere, ma anche di concentrazione delle popolazioni nelle città, la collaborazione di questi tecnici, con le loro molteplici competenze continuamente affinate in quel laboratorio dell'innovazione artistica e tecnica che fu la bottega rinascimentale, vennero assumendo un'importanza progressivamente crescente. Ne derivarono due conseguenze, tra di loro strettamente collegate. Anzitutto, l'artista-ingegnere viene assumendo un notevole rilievo sociale, che si configura come la rinascita degli onori tributati nell'età classica dai grandi principi agli ingegneri più reputati, come Dinocrate, protetto da Alessandro Magno, e Sosigene, celebrato da Giulio Cesare.

Questa crescita sociale stimola, a sua volta, l'artista a sottoporsi a un arduo processo di qualificazione culturale, al fine di attenuare la sua situazione di subalternità rispetto agli esponenti della cultura ufficiale, gli umanisti, vero ornamento delle corti, capaci di recitare forbiti orationi latine, di discutere sulla filosofia naturale o sulla logica di Aristotele e di decifrare gli antichi testi latini e greci. Gli effetti di questa aspirazione sono facilmente riconoscibili nello sforzo che molti di questi artisti-ingegneri compiono durante il Quattrocento per trasformarsi da operatori indotti, letterariamente 'muti', in 'autori' di testi con pretese di organicità, concepiti sui modelli classici (soprattutto il *De architectura* di Vitruvio), compilati con qualche ambizione di eleganza letteraria, farciti di citazioni di fonti classiche (anche se spesso approssimative o addirittura inesatte). Questi testi danno la misura del radicale processo di cambiamento che è in atto.

Quella dell'ingegnere-autore era infatti una figura assente dalla scena culturale dell'Occidente cristiano almeno dai remoti tempi di Vitruvio (I secolo a.C.) e di Erone Alessandrino (I secolo d.C.). L'ingresso di questi nuovi protagonisti nell'agone letterario è segnato, peraltro, da alcune caratteristiche che occorre sottolineare, per le loro implicazioni sull'evoluzione complessiva della cultura del Rinascimento.

I loro scritti raramente raggiungono un assetto organico e una stesura accurata, mentre è frequente il caso delle opere progettate, abbozzate ma non condotte a compimento. Di fatto, nessuna delle molteplici prove letterarie nelle quali si cimentarono gli ingegneri italiani del Quattrocento ebbe diffusione attraverso la stampa, anche se va sottolineato che questi scritti circolarono moltissimo e furono largamente consultati, come attesta l'enorme quantità di copie e di derivazioni che ancora oggi se ne conservano nelle biblioteche e negli archivi del mondo intero.

L'impressione che questo nuovo genere letterario e i suoi nuovi autori suscitarono dipese non solo dalla novità dei temi trattati e dall'interesse che provocava, in un'epoca di venerazione per la cultura classica, la riproposta dell'illustrazione delle macchine (*machinatio*) del *De architectura* di Vitruvio, ma soprattutto dal fatto che questi scritti presentavano una nuova dimensione del concetto stesso di 'testo', costituito non più soltanto dalle descrizioni verbali ma dal fitto dialogo che queste intrattenevano con un apparato di immagini di solito straordinariamente ricco e suggestivo.

Il contributo più originale di questi nuovi autori va colto soprattutto nell'introduzione sistematica delle immagini nella trattazione architettonica e macchinale e nella sua centralità rispetto alla semplice descrizione verbale. Taccola, Francesco di Giorgio e, più avanti - ancora più eloquentemente - Leonardo sottolineeranno energicamente l'insufficienza della semplice descrizione verbale, che deve essere necessariamente integrata da quella figurata. Solo l'artista-ingegnere poteva dunque affrontare con competenza e con adeguata capacità illustrativa i temi dell'architettura e delle macchine e, come Leonardo proporrà, anche quelli dell'anatomia, della scienza delle acque e della geologia. Era la rivendicazione della nuova centralità culturale di un'intera categoria che si rivolgeva agli esponenti del sapere tradizionale con tono di sfida, contrapponendo la cultura dell'osservare, del fare e del riprodurre a una cultura fondata sull'eloquenza, sulla retorica e sull'ascolto. In questo senso, di un orgoglio professionale perentoriamente affermato, vanno intese le punzecchiature di Francesco di Giorgio a coloro che scrivevano trattati di architettura e di macchine senza possedere i fondamenti del disegno, così come alcune affermazioni nelle quali Leonardo rivendica con orgoglio la propria natura di "omo senza lettere". Queste ultime non

vanno considerate come una sorta di elogio dell'ignoranza, ma piuttosto come l'affermazione della necessità di coniugare la lettura dei testi con l'osservazione della natura e l'esigenza di sottolineare i vantaggi che derivano dal descrivere le opere dell'arte e della natura non con le sole parole ma col disegno.

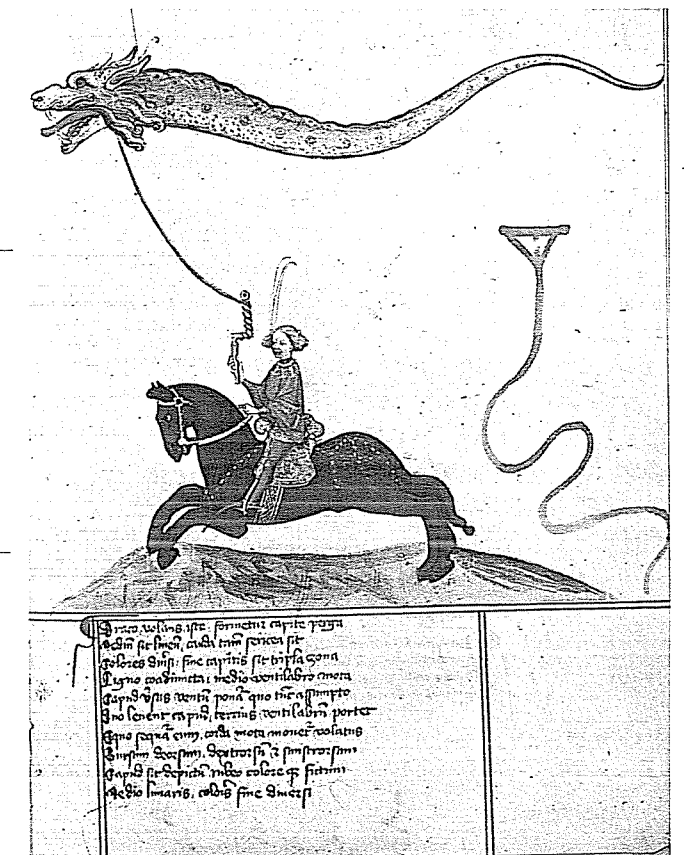
Torneremo più avanti sul rilievo centrale che viene assumendo negli scritti di questi nuovi tecnici la rivendicazione della funzione innovativa e divulgativa delle immagini. Mette qui conto, tuttavia, sottolineare che questi artisti, che si affacciavano come autori per la prima volta sulla scena letteraria, non facevano affidamento, per imporsi, solo sul disegno e sulle proprie capacità operative. Essi vennero impegnandosi anche in uno sforzo di assimilazione degli aspetti tecnico-scientifici del sapere classico. Un atteggiamento antiquario è chiaramente riconoscibile in tutti questi tecnici che intrapresero numerosi viaggi a Roma per cogliere, attraverso i ruderi che ne restavano, i segreti della grande civiltà romana.

Questa tensione trova eloquente espressione nella ricerca di 'intermediari' che li aiutino in uno sforzo di assimilazione reso arduo dall'ignoranza delle lingue classiche e dalla mancanza di un'educazione matematica (che precludeva tra l'altro l'accesso ad Archimede e ad Euclide). Per tutto il Quattrocento assistiamo infatti allo stabilirsi di convergenze intenzionalmente ricercate e reciprocamente interessate tra i nuovi tecnici e gli umanisti più raffinati: Brunelleschi e Paolo dal Pozzo Toscanelli; Taccola e Mariano Sozzini; Francesco di Giorgio e l'Ubal dini; Leonardo, da un lato, e Luca Pacioli⁵, che assommava insieme le competenze dell'ingegnere e dell'umanista, rimane infatti un caso sostanzialmente isolato.

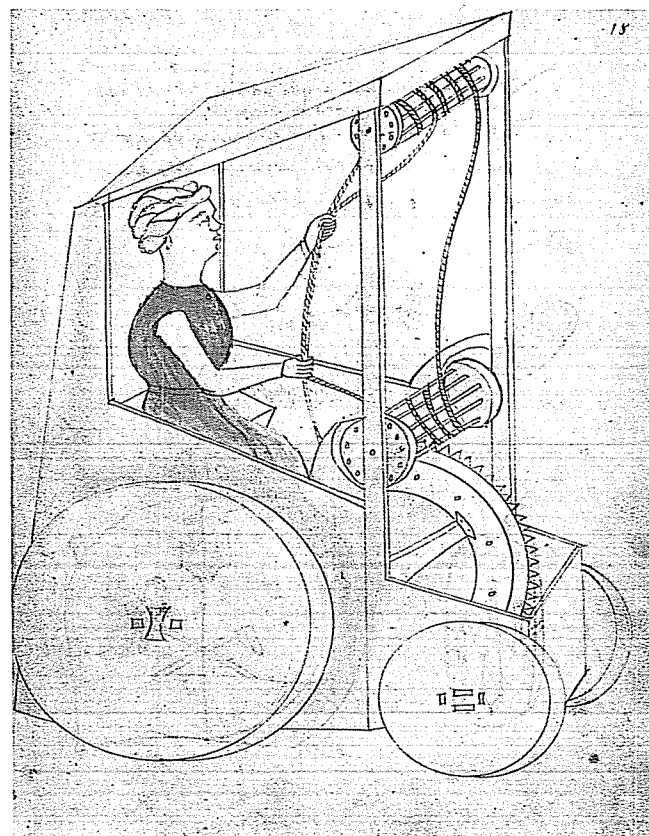
L'artista ingegnere chiede aiuto agli umanisti per riuscire ad assimilare la cultura classica, in particolare le fonti tecnico-scientifiche. Non si tratta tuttavia di un atteggiamento puramente passivo e subalterno; egli è infatti in grado di offrire a sua volta all'umanista il contributo fondamentale della propria esperienza per decifrare i passi nei quali sono descritte macchine, dispositivi meccanici e strutture architettoniche. Inoltre, egli può tradurre il significato di un'esposizione verbale in un'immagine chiara, passaggio spesso fondamentale per la restituzione della piena intelligenza a testi classici come il *De Architectura* di Vitruvio nel quale sono de-



4. Guido da Vigevano, *Texaurus*, Ms. Lat. 11015, BNP, c. 50r. Uomo attraversa un fiume in sella a un cavallo il cui galleggiamento è favorito da otri pieni d'aria



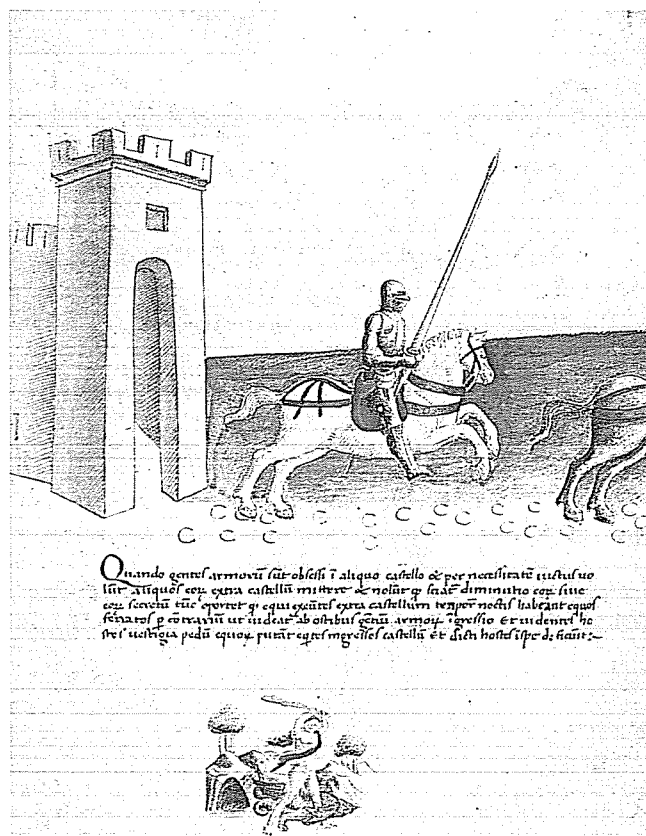
5. C. Kyeser, *Bellifortis*, Ms. Philos. 65, NSUBG, c. 105r. Cavaliere aziona con una corda un aquilone in forma di drago volante per spaventare il nemico



6. G. Fontana, *Bellicorum instrumentorum liber*, BSBM, c. 18r. *Cathedra deambulatoria*, rudimentale veicolo automovente

scritti verbalmente edifici e macchine dei quali non sono pervenute le immagini.

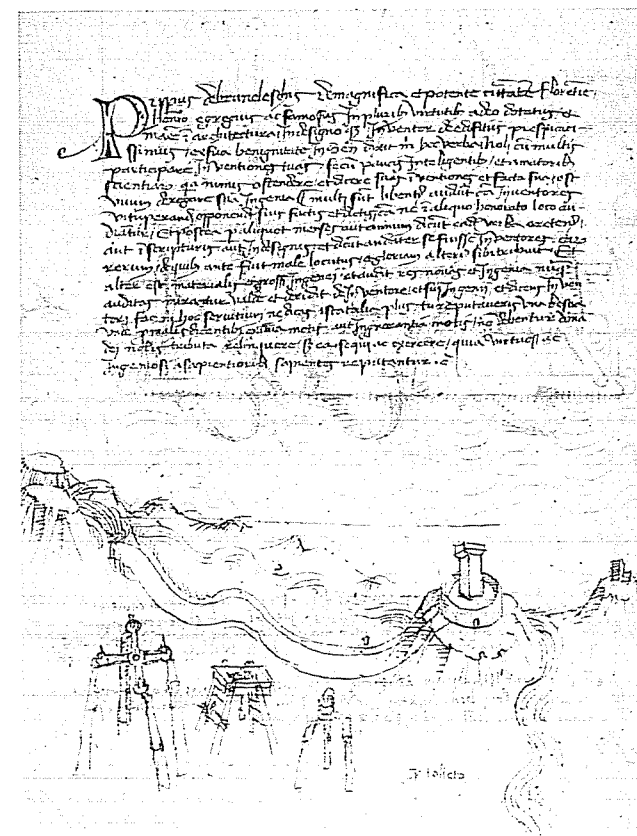
Quello della collaborazione tra artisti-ingegneri e umanisti è un carattere distintivo della cultura del Quattrocento sul quale non si è insistito abbastanza. Se il tentativo di decifrare il *De architectura* di Vitruvio, nel quale si impegnarono molti e autorevoli umanisti, li spinse a ricercare la collaborazione degli artisti-ingegneri, presto apparve evidente che questa collaborazione era estremamente proficua anche per l'assimilazione dei testi dell'ottica classica e medievale (se ne ha un esempio eloquente nei *Commentari* di un altro grande artista-ingegnere del Quattrocento, Lorenzo Ghiberti⁴), che svolse un ruolo fondamentale nell'affermazione della prospettiva lineare, destinata a trasformare il concetto stesso di raffigurazione pittorica. Lo stesso vale per la scienza della meccanica (Archimede e la *scientia de ponderibus* medievale) e per i capolavori della geometria greca (Euclide e Archimede), elementi che furono presto sentiti entrambi come fondamentali per trasformare il lavoro dei



7. P. Santini (da Taccola, *De machinis*), Ms. Lat. 7259, BNP, c. 10r. Gli assediati ricorrono allo stratagemma di uscire nottetempo dalla fortezza con cavalli i cui ferri sono stati montati all'incontrario. Al mattino gli assediati hanno l'impressione che siano giunti dei rinforzi

tecnici da un'attività fondata esclusivamente sulla pratica e sull'esperienza, in disciplina basata su un insieme di premesse teoriche assiomaticamente definite e messe in pratica attraverso metodi rigorosi di calcolo e di misurazione.

La trasformazione della figura e del ruolo dei tecnici alla quale abbiamo accennato avvenne attraverso un processo lungo e non sempre lineare. Il teatro principale di questo processo fu certamente l'Italia tra fine Trecento e inizio Cinquecento, anche se non mancano figure significative da questo punto di vista nella Francia e nella Germania meridionale dello stesso periodo⁵. Sta di fatto che la figura dell'artista-ingegnere-autore, che combina molteplici competenze (militari, meccaniche, idrauliche, architettoniche, artistiche ecc.) quale venne definendosi nel secondo Quattrocento e che avrà una diffusione così larga e significativa nelle corti europee per tutto il Cinquecento, corrisponde a una nuova categoria di intellettuali che scrivono



8. Taccola, *De ingeneis I-II*, CLM 197 II, BSBM, c. 107v. Verbale dell'intervista di Taccola a Brunelleschi

eleganti trattati sontuosamente illustrati e quasi sempre insieme teorici ed operativi, i quali anche quando non sono italiani (ma spessissimo lo furono) evidenziano tuttavia lo straordinario successo in tutta Europa del processo di ridefinizione dello stile professionale e delle competenze dei tecnici che si verificò in Italia durante il secolo XV.

Di questo processo la mostra *Gli ingegneri del Rinascimento. Da Brunelleschi a Leonardo* presenta alcuni dei protagonisti e degli episodi più rilevanti tra i moltissimi che caratterizzano da questo punto di vista lo scenario del Quattrocento. L'articolazione della mostra in tre sezioni, corrispondenti ad altrettanti episodi significativi (Brunelleschi, gli ingegneri di Siena e Leonardo), permette di cogliere alcune tappe fondamentali dell'evoluzione del processo di emancipazione dell'artista-ingegnere dal ruolo culturalmente subalterno recitato in precedenza. L'episodio brunelleschiano marca emblematicamente l'inizio del distacco dalle funzioni tradizionali del tecnico semplice operatore, privo di ambizioni letterarie e spesso anonimo. Il suo con-



9. Taccola, *De ingeneis III-IV*, Ms. Palat. 766, BNCF, c. 48r. San Giorgio e il drago

trastato ma straordinario successo aprì la via all'affermazione sociale e alla definizione di una nuova identità professionale degli artisti-ingegneri delle generazioni successive.

Le figure dei tecnici senesi (Taccola e, soprattutto, Francesco di Giorgio) mostrano, d'altra parte, i primi risultati dello sforzo di trasformazione dell'artista da semplice operatore in 'autore' (quale Brunelleschi non fu e non cercò di essere). Questi artisti-ingegneri hanno ormai compreso l'enorme potenzialità ermeneutica e divulgativa del disegno e fanno un uso maturo e consapevole di questo strumento per arricchire l'espressività dimostrativa dei loro testi. Assistiamo alla nascita di un genere letterario nuovo, o 'rinnovato' sui remotissimi modelli classici, tra i quali si impone per influenza quello di Vitruvio.

Leonardo, infine, mostra verso quali esiti straordinari portava questo processo: non più semplice autore, l'artista-ingegnere non si accontenta di operare con efficacia, ma utilizza gli strumenti dei quali dispone o quelli nuovi che viene faticosamente

assimilando (il disegno, la capacità di osservazione, la maestria meccanica, la competenza geometrica) per interpretare la natura, per carpirne i segreti e, imitandone le procedure, per piegarla a vantaggio dell'uomo. Nella carica utopica che anima tante pagine e tanti disegni vinciani, l'artista-ingegnere finisce per diventare il vero 'filosofo', l'unico, tra i dotti, in grado di svelare i reconditi e necessari meccanismi dei quali si serve la natura.

Con Leonardo gli obbiettivi si dilatano smisuratamente e la metamorfosi del tecnico medievale appare ormai completata. Ma non fino al punto di legittimare l'affermazione della sostanziale diversità della sua esperienza rispetto a quella degli artisti-ingegneri delle generazioni immediatamente precedenti. In maniera assai più eloquente e incisiva, e mostrando un'illimitata fiducia nelle possibilità delle tecniche, egli venne esprimendo infatti le medesime tensioni e aspirazioni di quei tecnici. Egli appare, insomma, come il punto di arrivo di un lento processo di maturazione del quale è cosciente e pienamente informato, piuttosto che come un fenomeno miracolosamente manifestatosi in un'epoca che non era ancora preparata ad accoglierne l'impetuosa carica inventiva, secondo quanto si è a lungo ripetuto e come ancora oggi seguita a suggerire l'immagine popolare del Leonardo genio anticipatore e incompreso. Si confida che la mostra, conducendo alle straordinarie e affascinanti evidenze dell'eccezionale attività di Leonardo attraverso la presentazione dei memorabili conseguimenti di Brunelleschi (dai quali lo stesso Leonardo restò fortemente impressionato) e della solida cultura tecnica degli ingegneri senesi, contribuirà ad attenuare quest'immagine mitica di Leonardo. E ciò senza niente togliere all'eccezionalità della sua esperienza, ma, al contrario, ponendoci finalmente nella condizione di poter cogliere ed apprezzare i campi - che furono molti e tutt'altro che marginali - nei quali egli offrì un contributo davvero straordinario aprendo prospettive di assoluta originalità.

I Brunelleschi e la costruzione della cupola di S. Maria del Fiore

A nessuno meglio che a Brunelleschi (1377-1446) si ataglia il detto "di lui parlano solo le opere che ha lasciato". Dei suoi scritti - se mai ne compilò - non resta neppure una riga, anche se alcuni sonetti attestano una sua certa *verve* letteraria⁶. Né sono per-

venuti suoi disegni autografi, anche se numerosi dovette realizzarne in relazione alle molteplici e ambiziose iniziative costruttive delle quali fu protagonista.

Ma le opere restano, anche se in alcuni casi pongono interrogativi che attendono risposte definitive. È il caso delle testimonianze (soprattutto riferite dal primo biografo, Antonio di Tuccio Manetti⁷) relative alla sua maestria come orologiaio, per la quale non si è in grado di individuare riscontri documentari diretti. È nota e documentata viceversa la sua attività di orefice, campo nel quale aveva concorrenti straordinari, come Donatello e Ghiberti (con quest'ultimo entrò per la prima volta in competizione per la realizzazione delle formelle delle porte del Battistero), così come è convergente e documentata la tradizione che gli attribuisce un esperimento fondamentale per l'introduzione della prospettiva lineare nella pittura⁸.

Della sua attività di ingegnere militare restano molteplici testimonianze e soprattutto alcune opere concrete (in particolare, le fortificazioni di Vico Pisano). In questo campo egli registrò anche uno smacco significativo dal quale impariamo tuttavia che tra le varie specialità tecniche nelle quali si cimentò va annoverata anche l'idraulica. Nel 1428 Firenze era impegnata in una guerra contro Lucca. Le truppe fiorentine assediavano da tempo la città nemica senza riuscire a costringerla alla resa. Brunelleschi fu incaricato di mettere in atto il progetto di deviare le acque del fiume Serchio per allagare Lucca. L'impresa, costosissima, si concluse con un esito disastroso: uscite dal letto naturale, le acque allagarono non Lucca, bensì il campo dell'armata fiorentina!⁹

Altri documenti ci mostrano Brunelleschi impegnato nella progettazione di un battello (fig. 1) per risalire l'Arno contro corrente fino alle porte di Firenze. Per il progetto, concepito per trasportare agevolmente da Carrara le pesanti lastre di marmo necessarie per la costruzione della cupola di S. Maria del Fiore, Brunelleschi richiese nel 1421 alle autorità fiorentine, ottenendolo, quello che può essere considerato il primo brevetto del quale si abbia testimonianza. Anche questa impresa si concluse, tuttavia, con un insuccesso. Il battello si inabissò nel 1425 col suo carico di 100 tonnellate di marmo bianco e Brunelleschi fu obbligato a risarcire il notevole danno!¹⁰

Sappiamo che il talento meccanico di Brunelleschi trovò espressione anche nella realizzazione di "ef-



10. Taccola, *De ingeneis III-IV*, c. 42r. Santa Dorotea col Bambino Gesù



11. Taccola, *De ingeneis III-IV*, c. 8v. Uomo con asinello

fetti speciali" in occasione di cerimonie e festività civili e religiose. Resta soprattutto memoria, grazie alla dettagliata descrizione del Vasari¹¹, del dispositivo messo in opera nel 1459 per la festa dell'Annunziata nella chiesa fiorentina di S. Felice¹². Mediante raffinati e complessi accorgimenti meccanici, Brunelleschi offrì una suggestiva rappresentazione del Paradiso, facendo muovere sotto il tetto della chiesa, come se fossero sospese in aria, numerose figure angeliche (interpretate da bambini in carne ed ossa) in un baluginio di luci accecanti e di fuochi di artificio accompagnati da musiche celestiali. Questo tipo di *performance*, che era piuttosto comune nel Quattrocento, comportava rischi considerevoli: spesso si concludeva con minacciosi incendi, e talvolta addirittura con la morte dei protagonisti.

Già da questi spunti essenziali emerge evidente la centralità e trasversalità della figura di Brunelleschi, tra fine Trecento e inizio Quattrocento, in una città che era impegnata nel completamento e nell'ampliamento di ambiziosi progetti architettonici e urbanistici concepiti fin dalla fine del Duecento e che mirava a ribadire e a radicare il proprio ruolo non solo di centro mercantile di eccellenza a scala internazionale, ma anche di punto di riferimento culturale e di laboratorio civile per l'intero Occidente, oltre che come centro motore della largamente auspicata riunificazione di una cristianità frammentata da molteplici scismi ed eresie, in modo di porla in condizione di contrastare efficacemente la minaccia turca.

Brunelleschi, come altri colleghi contemporanei (Donatello, Ghiberti, Battista d'Antonio ecc.), offre a questa città smaniosa di svilupparsi e di imporsi sul piano internazionale progetti ardimentosi, ma non folli, e soprattutto la capacità concreta di realizzarli.

Quello che già si è detto di Leonardo va ripetuto per Brunelleschi: egli non fu un genio isolato, ma l'esponente più brillante e più fortunato di una schiera di tecnici di talento che operarono a Firenze e nel resto d'Italia negli stessi decenni. Già più volte si è fatto il nome di Ghiberti, che fu di fatto il suo concorrente più temibile ed agguerrito, praticamente in ogni settore di attività. Concorrente e collaboratore, dovremmo dire, dato che molteplici evidenze mostrano che la progettazione dell'opera per la quale Brunelleschi è giustamente meglio conosciuto, la cupola di S. Maria del Fiore, fu in realtà un'impresa largamente collettiva, la cui iniziale

elaborazione va fatta risalire a metà del Trecento e nella cui definizione ebbe un ruolo determinante non solo Filippo Brunelleschi ma anche – e in misura significativa – Lorenzo Ghiberti, per tacere di tanti altri maestri meno noti che furono consultati più volte e che parteciparono ai concorsi indetti dal governo della città, versando così nel gran crogio-



12. Taccola, *De ingeneis III-IV*, c. 56r. Recupero di un tesoro sommerso

lo della cupola idee e proposte, spesso assai solide, delle quali fece certamente tesoro Brunelleschi. La storia dell'edificazione della cupola è troppo nota perché debba essere qui ripetuta sia pure schematicamente¹³. Gli studi che si sono succeduti, soprattutto dopo l'edizione dei principali documenti da parte di Cesare Guasti¹⁴, hanno contribuito a chiarire le tappe fondamentali che precedono l'inizio della costruzione nell'estate del 1420, a seguito di concorsi pubblici e consultazioni ai quali parteciparono numerosi tecnici, non solo fiorentini. Sappiamo – ed abbiamo precise evidenze documentarie in proposito – che le autorità cittadine manifestarono a lungo diffidenza e preoccupazione nei

confronti del progetto brunelleschiano di voltare la cupola senza centine di sostegno. Apprezzavano certamente il notevole risparmio di legname che tale soluzione avrebbe comportato e la maggiore speditezza dell'esecuzione, ma temevano che una struttura di dimensioni così smisurate non avrebbe potuto sostenersi da sola. Sta di fatto che l'incarico della direzione non fu affidato inizialmente al solo Brunelleschi – che pure era l'ideatore del progetto approvato – ma alla coppia Brunelleschi-Ghiberti, con pari stipendio, il che significa con pari autorità. Solo nel corso degli anni, certamente col rafforzarsi della fiducia nella plausibilità del metodo costruttivo seguito da Brunelleschi, osserviamo la progressiva uscita di scena del Ghiberti e il conferimento a Filippo della piena e indiscussa responsabilità.

Com'è noto – anche se non finisce di stupirci – la cupola fu completata (fino all'occhio) in soli 15 anni di lavoro. I modelli e i programmi multimediali esposti nella mostra illustrano con chiarezza la struttura fisica della cupola della quale si è da tempo conseguita piena intelligenza. Resta viceversa ancora vivace il dibattito relativo al metodo utilizzato da Brunelleschi per condurre la complessa opera di muratura in modo da rispettare costantemente l'inclinazione prescelta (a sesto di quarto acuto, per la cupola esterna, e a sesto di quinto acuto, per la cupola interna). Personalmente, trovo estremamente sensato supporre che Brunelleschi fece ricorso a una fitta trama di centine di tracciamento, come suggerisce in un recente saggio Francesco Gurrieri¹⁵, che riprende, arricchendola e precisandola, la classica interpretazione del Sanpaollesi¹⁶. Ma bisogna riconoscere che anche in questo caso siamo nell'ambito delle congruenze e delle probabilità, non in quello delle dimostrazioni certe. Al saggio di Gurrieri rinvio per l'aggiornata sintesi che offre delle principali interpretazioni relative al metodo compositivo di Brunelleschi¹⁷, e anche per l'analisi dei principi che regolano l'equilibrio delle masse, in una struttura così complessa, nelle diverse fasi della costruzione. Resta tuttavia aperto l'interrogativo sulla consapevolezza che Brunelleschi aveva dei principi teorici che regolano la stabilità della fabbrica. Va certamente esclusa la conoscenza da parte sua di modelli di analisi teorica, che saranno definiti solo alcuni secoli più tardi, con i quali si può rigorosamente spiegare la statica della struttura. Eppure la fabbrica appare istintivamente a chi la studi come l'espressione di un progetto fon-

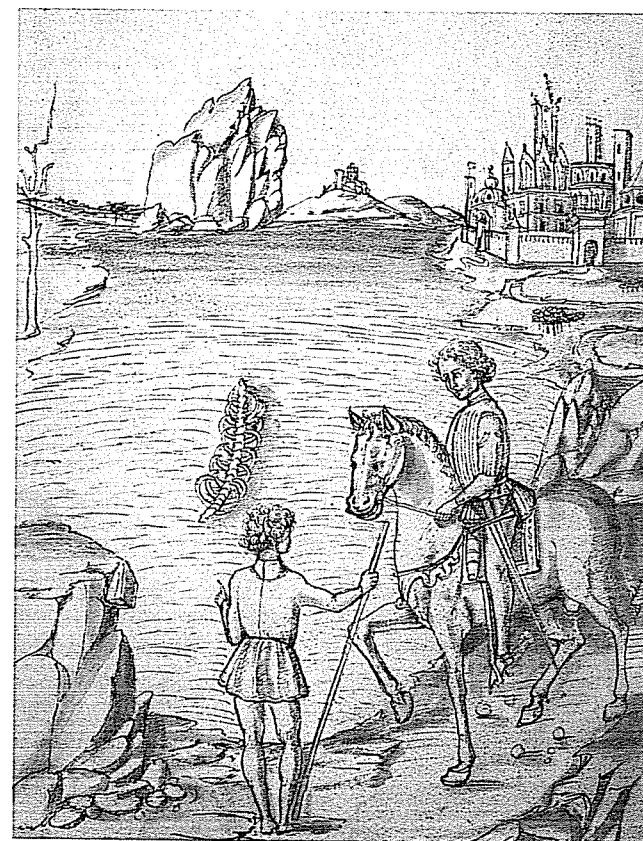
dato su analisi geometriche e considerazioni meccaniche di carattere quantitativo delle quali si deve prendere atto che non resta traccia nei documenti originali. Si tratta di un tema di particolarissima suggestione, gravido di implicazioni, soprattutto in relazione al problema generale degli apporti recati dall'esperienza pratica e dalle nozioni teoriche nella nascita della tecnologia moderna. Purtroppo, l'immensa fabbrica è muta e non può raccontare la propria storia illuminando i nostri quesiti. C'è un altro aspetto della costruzione di questa fabbrica straordinaria che assume particolare importanza dal punto di vista della cultura tecnica: quello della concezione e dell'organizzazione del cantiere.

Ricordiamo alcuni dati importanti. Il peso della cupola, dall'imposta sul tamburo fino all'occhio, è stimabile in circa 37.000 tonnellate. Se si aggiunge il peso dei ponteggi, degli operai, degli attrezzi, dell'acqua per fare la calcina e per bagnare la muratura, delle macchine, ecc. occorre stimare che il peso complessivo sollevato superò largamente le 40.000 tonnellate. L'imposta della cupola si trova a oltre 50 metri da terra, mentre l'occhio di chiusura è a 90 metri dal suolo. Il lavoro di muratura veniva condotto mediamente per meno di 200 giorni all'anno (sospensione invernale per maltempo, pause tecniche, festività ecc.). Ne deriva un complesso di circa 3.000 giornate di lavoro dall'inizio della muratura fino alla chiusura dell'occhio. Ciò significa, in media, il sollevamento ogni giorno di oltre tredici tonnellate di materiali sui ponteggi allestiti internamente ed esternamente alla cupola durante il periodo di costruzione¹⁸. Se, oltre al sollevamento da terra fino ai ponteggi, si considera anche la movimentazione di distribuzione dei materiali e le riprese di carico per posizionare con precisione i macigni, gli elementi dei costoloni di marmo e, nel serraggio di chiusura della cupola, i blocchi di pietra dai quali è formato (di circa 750 kg ognuno), il peso sollevato quotidianamente assume valori ancora più impressionanti.

Questi dati offrono eloquente testimonianza della centralità assunta dalla concezione, dall'organizzazione e dalla perfetta efficienza del cantiere per la felice e straordinariamente sollecita realizzazione dell'opera¹⁹.

Sull'organizzazione dei ponteggi della cupola possiamo avanzare soltanto delle supposizioni (fig. 2). Essi gravavano sicuramente sulla stessa ossatura muraria in costruzione dalla quale emergono an-

cora oggi le teste dei ferri di sostegno per i ponti. È probabile che Brunelleschi non abbia introdotto nei ponteggi innovazioni sensazionali, ma che si sia limitato ad adattare la consolidata tecnica del cantiere gotico alla nuova e più complessa situazione di una superficie di muratura non verticale, ma a continua e crescente inclinazione. Relativa-



15. Anonimo, Ms. Palat. 767, BNCF, p. 120. Ritratto ideale dell'Alberti, protagonista del tentativo di recupero di una nave romana dal fondo del lago di Nemi

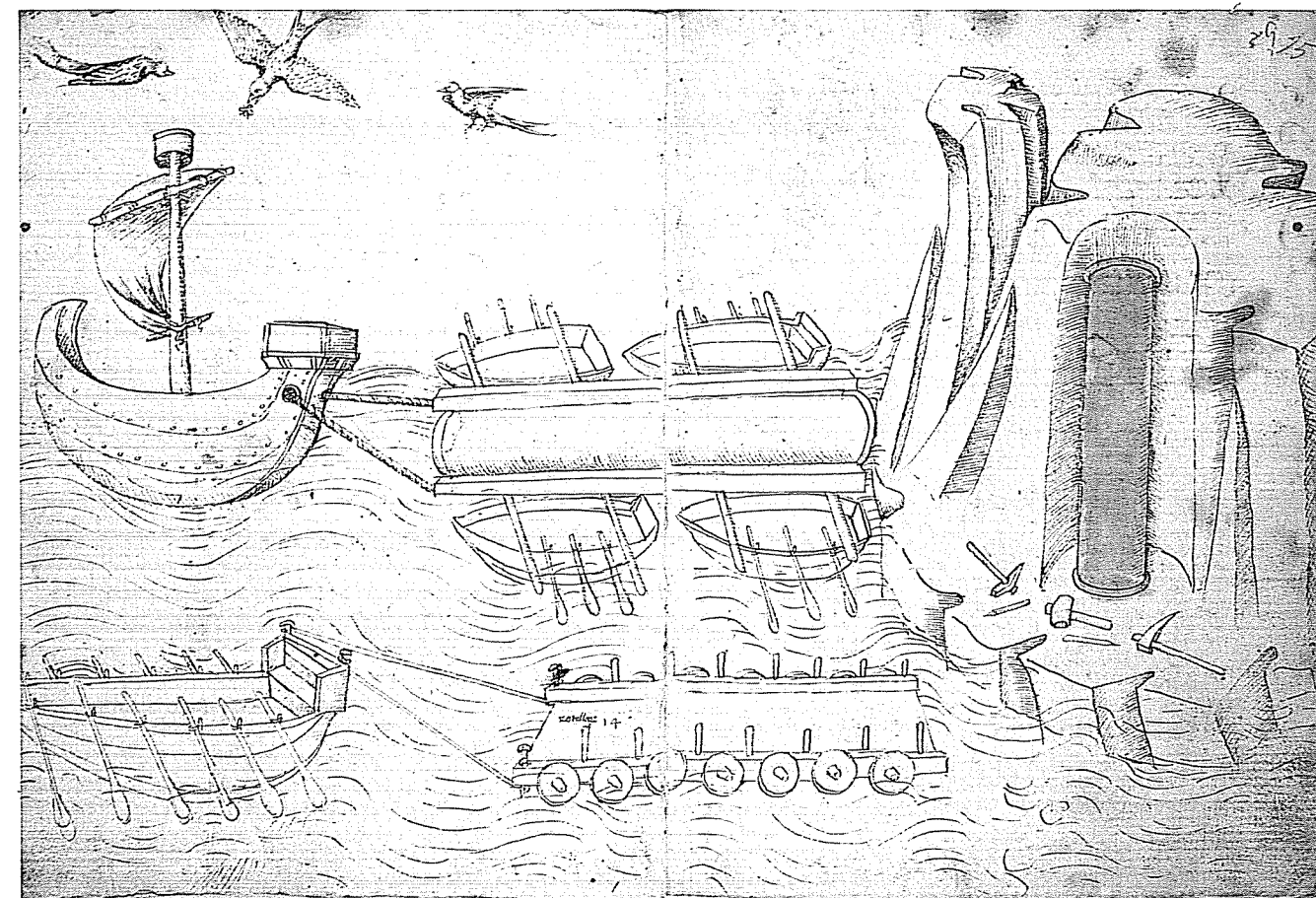
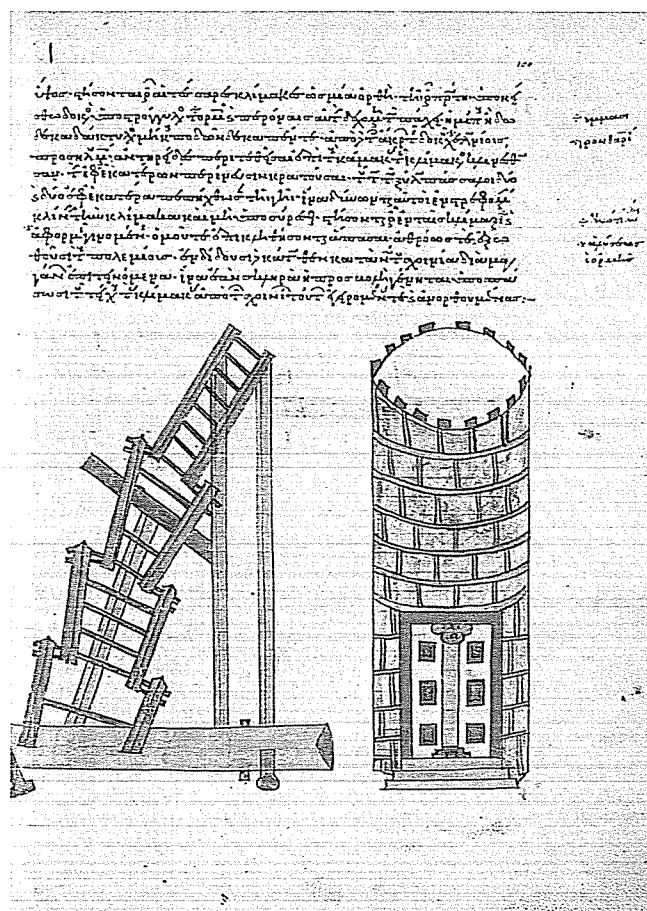
mente alla lanterna, abbiamo un disegno molto spettacolare e dettagliato che mostra il 'castello' costruito per riparare i danni prodotti da un fulmine nel 1601. È possibile che quella soluzione riecheggi, almeno in parte (v. *infra*, pp. 110-1), la struttura dei ponti messi in opera per costruire la lanterna, che fu progettata da Brunelleschi, ma che fu realizzata solo dopo la sua morte.

Assai meno ardua, grazie ad una documentazione anche grafica piuttosto ricca, è la ricostruzione delle principali macchine concepite o perfezionate da Brunelleschi e utilizzate nelle diverse fasi di costruzione.



14. P. Santini (da Taccola, *De machinis*), c. 6v., Ms. Lat. 7259, "De tempore incipiendi bellum secundum astrologiam"
 15. *Raccolta dei matematici greci*, Ms. Greco 2442, BNP, c. 5r. Scala articolata da assedio
 16. Vegezio, *De re militari*, Erfurt 1512-5, tav. XXXIV. Il modello di questo ponte elevabile è ripreso da Valturio

Grazie al lavoro pionieristico di Ladislao Reti²⁰, con le successive integrazioni e arricchimenti di Gustina Scaglia²¹ e di Frank Prager²², fino alle realizzazioni di modelli funzionanti di alcune di queste macchine ad opera di S. Di Pasquale e dei suoi collaboratori nel 1976, disponiamo oggi di un cospicuo catalogo di macchine brunelleschiane da cantiere. I modelli funzionanti di molte di queste macchine, ricostruiti appositamente per questa mostra con tecniche e materiali storicamente plausibili, sono esposti nella Sezione I. Furono queste macchine a garantire per oltre mezzo secolo l'operatività e l'efficienza del cantiere (la sfera di rame dorato con la croce sulla sommità che sovrasta la lanterna, atto conclusivo della costruzione, fu infatti posta in opera all'inizio degli anni '70 del Quattrocento; fig. 5).



17. Taccola, *De ingeneis III-IV*, cc. 14v-15r. Taglio dalla cava e trasporto via terra e via mare di una colonna

L'aspetto forse più straordinario delle macchine brunelleschiane da cantiere è la stretta integrazione che si coglie tra la loro struttura e l'articolazione operativa e le caratteristiche fisiche della fabbrica. Si ha l'impressione che nella mente di Brunelleschi la definizione della composizione strutturale della fabbrica e la concezione delle principali macchine del cantiere si siano sviluppate parallelamente e in stretta simmetria: dalla formulazione dell'ipotesi progettuale egli dovette procedere direttamente alla definizione delle tecniche e degli strumenti per realizzarla con economia, rapidità e sicurezza. In effetti, se si osserva, ad esempio, la soluzione adottata per la costruzione della lanterna, non si può non restare affascinati dalla razionalità ed economicità dell'ideazione brunelleschiana, quale è suggerita nella mostra dalla ricostruzione del cantiere mediante modelli e dimostrazioni multimediali. La gru da lanterna (che, in realtà, più che per sollevare pesi serviva per posizionarli con precisione) aderisce infatti perfettamente alla struttu-

ra da edificare. Nella prima fase (costruzione della struttura ottagonale di base), la gru è posizionata all'interno della muratura, mentre i suoi sostegni di base escono dal perimetro dell'edificio attraverso le finestre praticate in esso. Sfruttando queste aperture verticali, la macchina può essere progressivamente sollevata con dispositivi a vite, man mano che la muratura avanza. Nella seconda fase (costruzione della pergamena conica e, poi, posizionamento della croce e della sfera di rame), la medesima macchina, arricchita da un verricello e da un paranco mobile, viene allestita in maniera da posizionare i materiali non più all'esterno bensì all'interno del suo perimetro di base (v. *infra*, p. 109). Diversamente da quanto abbiamo affermato per l'ideazione della struttura della cupola, molte evidenze documentarie suggeriscono che Brunelleschi fu l'assoluto protagonista della concezione e dell'organizzazione del cantiere nel suo complesso, così come delle sue principali macchine. Egli ri-

cevé molteplici ricompense, anche cospicue, per l'ideazione e la realizzazione di dispositivi evidentemente considerati fortemente innovativi e tali da consentire l'accelerazione del lavoro e notevoli economie.

In particolare, i governanti fiorentini mostrarono grande generosità per la messa in opera da parte di Brunelleschi di una macchina definita nei documenti "colla grande"²⁵, che va identificata con un dispositivo illustrato con precisione in alcuni disegni²⁴ di Bonaccorso Ghiberti (nipote di Lorenzo), di Leonardo da Vinci e di Giuliano da Sangallo. Il modello funzionante del gigantesco sollevatore di pesi, che operava da terra e che da solo (ma potevano esistere diversi esemplari) garantiva l'approvvigionamento dei materiali sui siti di muratura, è esposto in mostra (v. *infra*, pp. 100-1) con tutte le specificazioni relative alle sue caratteristiche e prestazioni. Si trattava di una macchina particolarmente robusta, potente (poteva sollevare carichi di oltre una tonnellata) e soprattutto duttile, garantendo tre diverse velocità di sollevamento (corrispondenti a tre diverse potenze). Poteva inoltre lavorare a ciclo continuo, essendo possibile, grazie a un ingegnoso dispositivo, ottenere l'inversione della rotazione degli alberi (cioè passare dal sollevamento alla discesa) senza bisogno di staccare dal giogo e riattaccare in senso contrario la coppia di buoi che erogava la forza motrice.

Abbiamo, tra l'altro, un documento del 1421²⁵ che registra un pagamento per i materiali necessari alla costruzione di questa macchina. Ne emerge uno spaccato estremamente interessante sulla cultura dei materiali di Brunelleschi e del suo tempo: la struttura di ancoraggio e il telaio della 'colla' (destinati a restare a lungo all'offesa delle intemperie) sono di castagno; i subbi in robusto e resistente olmo, mentre le parti che ingranano, sono realizzate in compatta quercia, particolarmente resistente all'usura da frizione. Per attenuare gli effetti degli attriti e rendere quindi gli ingranaggi più durevoli, Brunelleschi escogita anche dei denti ruotanti collegati alla ruota da robusti perni in metallo. Questi denti (citati nei documenti come 'palei') venivano realizzati in legno di quercia oppure in bronzo. Il modello della macchina esposto in mostra è stato ricostruito rispettando le precise indicazioni relative ai materiali del documento sopra menzionato. Tra le altre macchine presumibilmente brunelleschiane attestate dai disegni degli ingegneri delle generazioni successive, che li registrano in manie-

ra sostanzialmente convergente anche nei particolari, merita ancora insistere sulla monumentale gru girevole dalla forma elegante e apparentemente fragile. Gli elementi di scala contenuti nei disegni che ne possediamo suggeriscono un'altezza enorme della struttura, valutabile in circa 20 metri. I disegni di Bonaccorso Ghiberti (v. *infra*, pp. 104-6) e di Leonardo²⁶ mostrano la gru che solleva una pietra nella quale è riconoscibile uno dei lastroni di marmo della base della lanterna. Il funzionamento della gru è chiaro e risulta dal modello funzionante esposto in mostra. Notevole vi appare, più che la funzione del contrappeso, che era tradizionale, l'accurata ricerca di soluzioni per rendere precisa la funzione di posizionamento (favorita da una serie di strumenti di livellamento) che prevale, in questa macchina, rispetto a quella di sollevamento. Forte appare anche la preoccupazione del progettista di impedire che il carico possa oscillare con conseguenze rovinose per la stabilità della macchina, della quale non è facile determinare la precisa dislocazione nel cantiere. Si può tuttavia supporre che essa operasse su un ponteggio costruito centralmente, in prossimità dell'occhio della cupola, per realizzare il serraglio ottagonale, formato da un notevole numero di blocchi di pietra ognuno da posizionare con estrema precisione. Tali pesanti materiali venivano sollevati su una piattaforma laterale da argani che operavano esternamente alla cupola. La gru girevole li riprendeva e li posizionava. Queste macchine, come le molte altre illustrate in mostra, ognuna caratterizzata da specializzazioni non banali, aiutano a capire la grandiosità dell'opera, spostando l'accento dalla meraviglia che suggerisce l'eleganza della struttura architettonica pienamente risolta alla consapevolezza che il processo della sua ideazione, della messa a punto di metodi realizzativi adeguati, fino alla concezione - che fu parte integrante del progetto e del suo successo - del cantiere e delle singole macchine rappresentò un'impresa di inaudita complessità nella quale si espresse il talento di un tecnico la cui opera segnava l'inizio di una stagione di straordinaria innovazione. Né può sorprendere che delle macchine brunelleschiane, così come di molte altre sue imprese tecniche, rimanga testimonianza fitta e costante nei taccuini di tutti i più grandi artisti-ingegneri delle generazioni successive, Leonardo compreso. Sembra che essi siano restati più colpiti dalle macchine che dalla cupola. Evidentemente riconobbero in quello che rimaneva del cantiere brunelleschiano

un monumento da registrare e conservare, l'espressione di un magistero concreto da assimilare e da utilizzare.

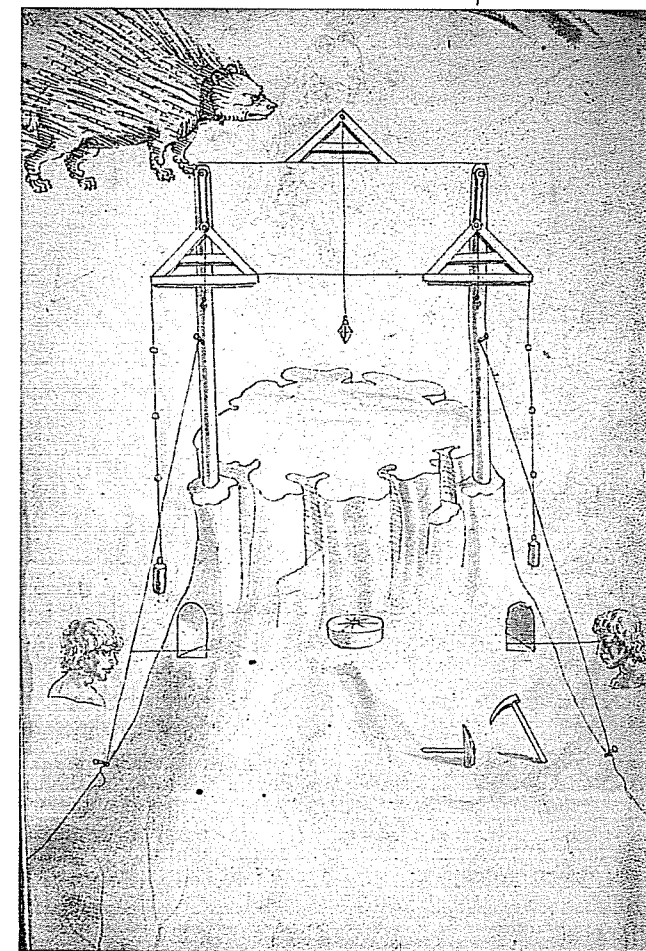
Non deve dunque sorprendere se i suoi concittadini, che pure avevano manifestato più volte, durante l'esecuzione dell'opera, perplessità e scetticismo sul suo buon esito, posero sulla pietra tombale del Brunelleschi un'epigrafe, dettata dall'umanista Carlo Marsuppini, che esaltava soprattutto i suoi meriti di inventore, quasi novello Dedalo, di macchine straordinarie ("plures machinae divino ingenio ab eo adinventae"). Non fu purtroppo attuato il progetto originario di decorare la sua tomba con lastre marmoree nelle quali sarebbero state delineate anche le macchine da lui inventate²⁷. Si sarebbe trattato, con ogni probabilità, dell'esordio assoluto delle macchine nella simbologia funerale, un segno eloquente del radicale mutamento del clima culturale e, insieme, della rapida trasformazione dell'immagine sociale dell'artista-ingegnere.

II Gli ingegneri di Siena

Uno dei meriti della mostra sugli ingegneri senesi organizzata a Siena nel 1991 è stato certamente quello di aver dato finalmente evidenza alla continuità, ad altissimo livello, di interessi e attività tecniche nel territorio della repubblica senese a partire dalla fine del secolo XIV fino a metà Cinquecento.

A chi frequenti la complessa storia di Siena nel Quattrocento capita spesso di imbattersi in figure di tecnici 'universali', che presentano collegamenti emblematici sia con gli ambienti umanistici sia con le botteghe artistiche, all'attività delle quali parteciparono ad esempio attivamente Mariano di Iacopo, detto il Taccola (1382-1458?), e, più tardi, Francesco di Giorgio (1459-1501).

Né può sfuggire come queste straordinarie personalità riflettano le aspirazioni e le capacità di una piccola città che cullava progetti di smisurata ambizione, che aveva saputo superare con ardite realizzazioni l'ostacolo a lungo paralizzante della mancanza d'acqua, che aveva in animo di edificare una cattedrale di dimensioni inusitate e vagheggiava di espandersi verso il mare in modo da gareggiare nei commerci con Genova e con Napoli. Per sostenere quelle aspirazioni non bastavano le ricchezze accumulate col fiorire dei commerci e delle attività finanziarie; occorreva anche un ceto dirigente preparato e soprattutto la presenza di opera-



18. Anonimo (da Taccola, *De ingeneis I-II*), Ms. Palat. 767, p. 22. Metodo per stabilire la pendenza di una galleria prendendo le quote dell'entrata e dell'uscita

tori capaci di raccogliere le ambiziose sfide lanciate dalla comunità senese realizzando le strutture vagheggiate.

Basterebbe riflettere sulla straordinaria costruzione tra il Duecento e il Trecento della rete dei 'botini' e delle fonti²⁸ e sui tanti altri progetti, talvolta di audacia inaudita, concepiti per garantire l'approvvigionamento idrico di Siena, per considerare come del tutto naturale l'eccezionale spessore delle competenze di idraulica applicata che si riscontrano in Mariano di Iacopo e in Francesco di Giorgio. Né sorprende che un centro come Siena, favorito anche dalla ricchezza di minerali del territorio, sia venuto sviluppando, accanto a una produzione di fusioni artistiche di elevatissima qualità, rilevanti professionalità nella fabbricazione delle armi da taglio, delle armature, delle campane e, infine, delle bombarde e delle armi da fuoco²⁹.