

EX FABRICA ET RATIOCINATIONE:
TÉCNICAS, TECNOLOGÍAS E INNOVACIÓN
EN LA ARQUITECTURA ANTIGUA

Volumen II

ADALBERTO OTTATI y MARIA SERENA VINCI
(Coordinadores)

RO
MV
LA

20
2021

SEMINARIO DE ARQUEOLOGÍA
UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE. SEVILLA

ROMVLA

Revista del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

La revista ROMVLA es una publicación científica de carácter anual dedicada fundamentalmente a la publicación de trabajos de investigación inéditos en el campo de la Arqueología, con especial atención a la Arqueología de la provincia de Sevilla y su entorno. Igualmente actúa como órgano de difusión científica del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla lo que incluye la difusión de los resultados de los diferentes Proyectos de Investigación que se desarrollan en el mismo.

Número 20. 2021

Revista indexada en: Index Islamicus, DIALNET, LATINDEX. Catálogo v1.0 (2002 - 2017).

Directores: Rafael Hidalgo (Universidad Pablo de Olavide)
Pilar León-Castro (Universidad de Sevilla)

Secretarias: Inmaculada Carrasco (Universidad Pablo de Olavide)
Ana María Felipe

Comité de redacción

A. Corrales (Universidad Pablo de Olavide), C. Fabiao (Universidade de Lisboa), P. Mateos (Instituto de Arqueología de Mérida. CSIC), C. Márquez (Universidad de Córdoba), T. Nogales (Museo Nacional de Arte Romano de Mérida), P. Ortiz (Universidad Pablo de Olavide), A. Ottati (Universidad Pablo de Olavide), I. Sánchez (Universidad Pablo de Olavide), F. Teichner (Universität Marburg), S. Vargas (Universidad de Sevilla), S. Vinci (UNED).

Comité científico

L. Abad (Universidad de Alicante), A. Arévalo (Universidad de Cádiz), F. Arnold (Deutsches Archäologisches Institut. Madrid), J. Beltrán (Universidad de Sevilla), M. Bendala (Fundación Pastor, Spain), J. Campos (Universidad de Huelva), H. Catarino (Universidade de Lisboa), H. Dessales (École Normale Supérieure de Paris), M. C. Fuertes (Consejería de Cultura. Junta de Andalucía), P. Gros (Université de Aix-en-Provence), J. M. Gurt (Universidad de Barcelona), H. V. Hesberg (Deutsches Archäologisches Institut. Roma), J. L. Jiménez Salvador (Universidad de Valencia), S. Keay (University of Southampton), M. Kulikowski (University of Tennessee-Knoxville), G. López Monteagudo (CSIC), J. M. Luzón (Universidad Complutense de Madrid), R. Mar (Universidad Rovira i Virgili), W. Mierse (University of Vermont), B. Mora (Universidad de Málaga), P. Moret (Université de Toulouse-Le Mirail), M. Orfila (Universidad de Granada), S. Panzram (Universität Hamburg), P. Pensabene (Università di Roma La Sapienza), Y. Peña (UNED), A. Pérez-Juez (Boston University in Spain), A. Pizzo (Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma-CSIC), F. Quesada (Universidad Autónoma de Madrid), A. M. Reggiani (Ministero per i Beni e le Attività Culturali), P. Rodríguez Oliva (Universidad de Málaga), P. Rouillard (CNRS. Maison René-Ginouès. Nanterre), M. A. Tabales (Universidad de Sevilla), T. Tortosa (Instituto de Arqueología de Mérida CSIC), W. Trillmich (Deutsches Archäologisches Institut), A. Ventura (Universidad de Córdoba), A. Viscogliosi (Università di Roma La Sapienza).

Patrocinada: Vicerrectorado de Investigación, Transferencia y Doctorado de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

Edición, publicación y distribución

Seminario de Arqueología
Universidad Pablo de Olavide de Sevilla
Carretera de Utrera, km. 1 · 41013 Sevilla (España)
Telf.: 954 977 932 • E-mail: romula@upo.es

Dirección y redacción

Seminario de Arqueología
Universidad Pablo de Olavide de Sevilla
Carretera de Utrera, km. 1 · 41013 Sevilla (España)

Diseño: Diseño y Comunicación S.L.

Maquetación e impresión: Imprenta SAND, S. L. · www.imprentasand.com

Depósito Legal: SE-075-04

ISSN: 1695-4076



© 2020 "Romula". Revista del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

Las opiniones y comentarios expuestos por los autores de las colaboraciones recogidas en la revista son responsabilidad exclusiva de los mismos. Esta publicación estará disponible online a través de la plataforma de Revistas Científicas de la Universidad Pablo de Olavide. La difusión de los trabajos publicados se registrará de acuerdo con la licencia Creative Commons by-nc-sa. En todo caso, se mencionará siempre que el trabajo ha sido publicado originalmente en la revista ROMVLA.

Í N D I C E

PROGETTAZIONE INTEGRALE A VILLA ADRIANA INTEGRAL DESIGN AT HADRIAN'S VILLA Giuseppina E. Cinque	7
I PILASTRI CAVI A VILLA ADRIANA HOLLOW PILLARS AT HADRIAN'S VILLA Elena Eramo	57
PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA A VILLA ADRIANA THE BIOCLIMATIC DESIGN OF HADRIAN'S VILLA Cristina Renzoni	83
VILLA ADRIANA E L'AMBIZIONE DI REALIZZARE L'IMPOSSIBILE. TECNICHE CONSTRUTTIVE SPERIMENTALI AL SERVIZIO DI FORME ARCHITETTONICHE INEDITE HADRIAN'S VILLA AND THE AMBITION TO ACHIEVE THE IMPOSSIBLE. EXPERIMENTAL CONSTRUCTION TECHNIQUES AT THE SERVICE OF UNPRECEDENTED ARCHITECTURAL FORMS Adalberto Ottati	111
IMPIANTI, TECNOLOGIA E BENESSERE IN ARCHITETTURA: DALLA PRATICA STORICA ALLA CODIFICA TEORICA PER NUOVE PROSPETTIVE DI RECUPERO PLANTS, TECHNOLOGY, AND WELL-BEING IN ARCHITECTURE: FROM HISTORICAL PRACTICE TO THEORETICAL CODING FOR NEW PERSPECTIVES OF RECOVERY Valentina Florio	151
DALLA CONSERVAZIONE ALL'INNOVAZIONE: PIATTABANDE E ARCHITRAVI LITICHE NEL "FORO PROVINCIALE" DI TARRACO (HISPANIA CITERIOR) FROM CONSERVATION TO INNOVATION: LINTEL ARCHS AND STONE LINTELS FROM THE "PROVINCIAL FORUM" IN TARRACO (HISPANIA CITERIOR) Maria Serena Vinci	179
L'ORGANISATION DU TRAVAIL AUTOUR DE LA PIERRE A CORDOUE AU IIEME SIECLE AV. J.-C. DEMOGRAPHIE, AGRICULTURE ET CHAINE OPERATOIRE THE ORGANISATION OF LIMESTONE LABOUR IN CORDOBA DURING IIND CENTURY B.C. DEMOGRAPHY, AGRICULTURE AND OPERATIONAL CHAIN Christopher Courault	205

LAS MURALLAS REPUBLICANAS DE TARRACO, ASPECTOS CONSTRUCTIVOS
THE REPUBLICAN TOWN WALLS OF TARRACO, CONSTRUCTIVE ASPECTS

Joan Menchón Bes

251

**DALLA PRATICA ANTICA ALLE FABBRICHE DI ETÀ MODERNA: STRUMENTI
DA LAVORO E TECNOLOGIA EDILIZIA A ROMA TRA PERMANENZA E
PERFEZIONAMENTO**

**FROM ANCIENT CONSTRUCTION PRACTICES TO MODERN-AGE BUILDING
SITES: WORK TOOLS AND BUILDING TECHNOLOGIES IN ROME BETWEEN
PERMANENCE AND IMPROVEMENT**

Nicoletta Marconi

291

**DALLA PRATICA ANTICA ALLE FABBRICHE DI
ETÀ MODERNA: STRUMENTI DA LAVORO E
TECNOLOGIA EDILIZIA A ROMA TRA PERMANENZA E
PERFEZIONAMENTO**

**FROM ANCIENT CONSTRUCTION PRACTICES TO
MODERN-AGE BUILDING SITES: WORK TOOLS AND
BUILDING TECHNOLOGIES IN ROME BETWEEN
PERMANENCE AND IMPROVEMENT**

Nicoletta Marconi

Università degli Studi di Roma Tor Vergata

Riassunto

Lo sviluppo edilizio della Roma di XV - XVII secolo fu sostanziato da un'indiscussa qualità operativa, assimilabile a quella della pratica edilizia imperiale, di cui costituisce il fortunato esito di un graduale e costante processo di perfezionamento. Dall'approvvigionamento al trasporto dei materiali, dalle attrezzature da lavoro alla realizzazione di ponteggi e potenti macchine da sollevamento, le fabbriche romane di età moderna seppero migliorare funzionalità ed efficienza della tecnologia ereditata dai cantieri del passato, a meno naturalmente dell'obbligata riformulazione dell'organigramma operativo, di più stringenti vincoli economici e della contrazione dei tempi di lavoro. Le convergenze con la pratica antica, esplicitate finanche dal lessico tecnico, sono rintracciabili in particolare nella tipologia di attrezzature e macchine da sollevamento, solidi testimoni della plurisecolare reiterazione di una consuetudine operativa affidabile e autorevole.

Parole chiave: cantiere, macchine da costruzione, tecniche costruttive, architettura romana, attrezzature da lavoro.

Abstract

The building development of the 15-17th centuries Rome was substantiated by an undisputed operative quality, comparable to the imperial building practice, of which it

constitutes the fortunate outcome of a gradual and constant process of perfecting. From the supply and transport of materials, from the work tools, to the realization of scaffolding and powerful lifting machines, the modern Roman building sites were able to improve the functionality and efficiency of the technology inherited from the ancient site, unless the forced reformulation of the operational organization chart, more stringent economic constraints and the contraction of working time. The convergences with the ancient construction practices, made explicit even by the technical lexicon, can be traced in particular in the type of equipment and lifting machines, solid witnesses of the centuries-old reiteration of a reliable and authoritative practice.

Keywords: construction site, building machines, construction techniques, Roman architecture, work equipments.

“La machina da salir in alto non di arte, ma di ardimento si gloria”¹

Dai precetti del *De Architectura* di Vitruvio alle molte raffigurazioni dipinte o scolpite, la pratica edificatoria romana documenta una sostanziale continuità, unita ad un graduale e costante perfezionamento, culminato nella realizzazione di ineguagliati capolavori architettonici. Dal taglio alla lavorazione del legname da lavoro, dall'estrazione, al trasporto, alla sbazzatura e alla rifinitura della pietra, dalla costruzione di complessi impalcati provvisori alla realizzazione di potenti macchine da sollevamento, le fabbriche di età moderna seppero migliorare funzionalità ed efficienza di procedure e tecnologia ereditate dai cantieri di età imperiale. Il sorprendente sviluppo edilizio di XV-XVII secolo fu inoltre sostanziato da un'indiscussa qualità operativa, nonostante l'obbligatoria revisione dell'organigramma procedurale, più stringenti vincoli economici e la contrazione dei tempi di lavoro. Tra i fattori che concorsero al prolungato successo del cosiddetto “sistema costruttivo alla romana” –in uso fino alle soglie del contemporaneo e archiviato solo con l'introduzione della costruzione in cemento armato– occupano un ruolo nodale alcune evidenti convergenze con la pratica antica, a Roma reiterate finanche dal lessico tecnico e identificabili nella permanenza di alcune soluzioni costruttive, nel confezionamento delle malte e nella produzione dei laterizi, come nelle procedure di estrazione e trasporto dei materiali lapidei, in particolare della pietra tiburtina². Analogamente, attrezzature metalliche, tipologia e legature di funi, ponteggi e centine discendono dai prototipi di età imperiale, con i quali mantennero una decisa affinità tipologica e funzionale, prova della plurisecolare reiterazione di una pratica affidabile e mai contraddetta, ma costantemente implementata e perfezionata. Per quanto riguarda

1. VITRUVIO, 1556/1987, X, I, 442.

2. MARCONI, 2004; MARCONI, 2010.



Fig. 1. Cantiere edile con impalcature, scale di servizio e attrezzature da lavoro, Roma, sepoltura ipogea di Trebius Iustus, Roma, metà del IV secolo d.C.

i ponteggi di servizio, tale affinità è documentata addirittura fino all'introduzione degli impalcati metallici in tubo-giunto, a meno naturalmente di indispensabili addizioni, richieste nel corso del tempo da specifiche necessità di lavorazione (si pensi ad esempio agli interventi di manutenzione) e sicurezza degli operatori (controventi, battipiede, parapetti)³.

Le perduranti affinità tipologiche e funzionali degli impalcati provvisori sono esplicitate dalle molte raffigurazioni del cantiere edile nelle diverse epoche: dal ponteggio di IV sec. d.C. nitidamente raffigurato nella sepoltura ipogea di Trebius Iustus nel quartiere Appio-Latino a Roma (*fig. 1*), con tanto di candeie (elementi verticali), travi, tavolati di servizio e scale, alle impalcature usate per la costruzione del palazzo Farnese di Roma (1541 ca) (*fig. 2*), a quelli rappresentati da Jean Boulager (1606-1660) nella galleria di Bacco nel palazzo ducale di Sassuolo (1640-1657)⁴ (*fig. 3*). Attrezzi da lavoro, strumenti come traglie e pulegge, centine, ponteggi e macchine resero possibile la traduzione materiale di mirabolanti architetture dalle linee sinuose e dagli arditi congegni strutturali ideati dai maestri del Barocco. Macchine da sollevamento realizzate in legno, funi e ridotte congiunzioni metalliche, azionate dalla sola forza muscolare, furono le indiscusse protagoniste delle celeberrime imprese edilizie

3. MARCONI, 2015A; MARCONI, 2008.

4. VENTURI, 1917.

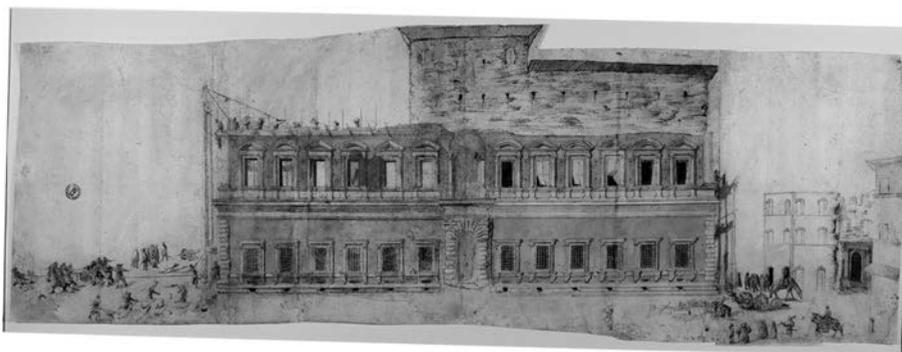


Fig. 2. Facciata in costruzione di palazzo Farnese a Roma, 1541? (Biblioteca Nazionale di Napoli, Manoscritti e rari, ms. XII, D.1, f. 8), penna e acquerello su carta. Sulla sinistra è raffigurata una grande antenna lignea azionata da un potente argano a quattro braccia.

della seconda metà del XVI secolo, a loro volta eredi delle colossali invenzioni architettoniche di età romano-imperiale. A tali gigantesche incastellature lignee si devono la traslazione e l'innalzamento di poderosi obelischi –monolitici o *fracti*– e imponenti colonne dedicatorie, termini prestigiosi del riconfigurato spazio urbano di Roma, dei suoi allineamenti viari e di nuovi traguardi visivi e simbolici. Impiego sapiente di pratiche e materiali di antica tradizione, progressiva sincronizzazione delle fasi esecutive e potenziamento dei dispositivi da sollevamento resero inoltre possibile la costruzione di edifici di dimensioni e caratteristiche costruttive *extra-ordinarie*, dai grandi capolavori cupolati dell'architettura rinascimentale, alle strabilianti spazialità del barocco romano. L'apice del mai interrotto processo di perfezionamento può essere collocato ai primi decenni del XVI secolo, quando anche i meccanismi gestionali e operativi sottesi alla conduzione delle fabbriche edili raggiunsero livelli altissimi di efficacia e funzionalità.

Nel contesto architettonico dell'Urbe, unico nel suo genere, in ogni epoca e in qualsivoglia ambito artistico, ha sempre inciso l'endemico, insolubile e a tratti vincolante rapporto con l'antico. Se, per secoli, le rovine dell'architettura imperiale sono state fonte formidabile e inesauribile di repertori formali per la creativa elaborazione di nuovi stilemi, al contempo esse hanno costituito un'obbligata e stimolante palestra di confronto, analisi e sperimentazione per progettisti e maestranze di diversa provenienza e formazione. Nel corso del tempo, dunque, prassi operativa, tecniche e tecnologia edilizia hanno dovuto necessariamente adattarsi alla specificità di Roma e all'impegnativo rapporto con le sue monumentali emergenze architettoniche, tanto da tradurre ogni cantiere



Fig. 3. Jean Boulager, Cantiere edile, affresco, Galleria di Bacco, Palazzo ducale di Sassuolo (1640-1657). Foto autore

in un fecondo laboratorio di ricerca edilizia. Obbligati all’invalsa adozione dei materiali locali –travertino, tufo, laterizio e versatili conglomerati di malta di calce idraulica–, i costruttori di Roma moderna innovarono la pratica tradizionale, contaminandola utilmente con l’esperienza operativa acquisita nelle rispettive terre di origine e portandola a un livello di perfezione ed efficacia tale da lambire l’età contemporanea con la prolungata predilezione accordata al cosiddetto “sistema costruttivo alla romana”. Arricchita dall’esperienza dei mastri toscani e lombardi presenti nella città papale a partire dal tardo XV secolo, la pratica edificatoria romana fondò la propria specificità sull’ottimizzazione delle fasi esecutive e di approvvigionamento dei materiali, sulla parcellare organizzazione delle maestranze e sull’uso di una tecnologia perfezionata da una miriade di fortunate applicazioni sperimentali, accomunate dalla chiara derivazione dalla tecnologia imperiale.

La convergenza tra arte e tecnica, propria della cultura dell’antica Grecia (*technè*), delinea i contorni di una storia dell’architettura identificabile con la storia della capacità tecnica dell’uomo e del progresso inteso come crescita organica. Tali presupposti, richiamati da Gombrich a proposito delle arti visive, risultano analogamente fondativi per le tecniche costruttive⁵. La serrata

5. GOMBRICH, 1971/2002, 5, 19.

interrelazione tra arte e tecnica comportò la costante emulazione dei grandi modelli del passato, ma anche la continua “ansia da superamento”, che investì tangenzialmente il settore tecnologico e quello della meccanica edilizia fin dal primo Rinascimento. Essa deriva in parte dal pregiudizio, originato dal pensiero platonico e aristotelico, che condizionò a lungo la considerazione sociale di tecnici e costruttori. Nel *Gorgia* di Platone, *banausos* è colui “al quale nessuno darebbe in sposa la propria figlia”, e “vile meccanico” è un insulto che induce a sguainare la spada⁶. Analogamente, per Aristotele l'essenza dell'uomo si identifica con il sapere puro, non finalizzato a scopi pratici, e le arti meccaniche, pur di supporto alla filosofia, sono considerate forme inferiori di conoscenza, troppo materiali e legate alla mano dell'uomo⁷. Solo la necessaria compenetrazione tra scienza e tecnica –assente nell'antichità, ma risolutiva per la civiltà occidentale di età moderna– unitamente alla nuova considerazione tributata al sapere tecnico e al lavoro, riuscì a scardinare tale pregiudizio. La riscoperta rinascimentale degli antichi testi di meccanica (dal greco *mechànomai*, escogitare, inventare), da cui scaturì la necessità di una tecnologia controllabile, migliorabile e affidabile, si tradusse in un dialogo serrato tra matematica e meccanica⁸. La disciplina meccanica guadagnò così una dignità mai conosciuta prima, presupposto alla grande rivoluzione scientifica secentesca, intesa come il riordinamento radicale e irreversibile della conoscenza. Persistette però una netta discrasia tra tradizioni antiche e pratica scientifica moderna, tanto potente e radicata da mettere in crisi il concetto stesso di rivoluzione scientifica, almeno per quel che riguarda la meccanica edilizia⁹. La filosofia meccanicistica e sperimentale rimase a lungo sostanzialmente estranea alla tecnologia, né essa fu informata da qualcosa di assimilabile a un reale metodo scientifico, vale a dire a un insieme coerente, universale ed efficace di procedure volte all'acquisizione di conoscenze certe, questo almeno fino alla metà del XVII secolo. Eppure, fin dal primo Rinascimento, all'osservazione della natura era seguita l'adozione di metafore meccaniche atte a illustrarne processi e fenomeni; se per *ingenium* si intese tanto la macchina bellica, quanto la particolare attitudine dell'intelletto all'invenzione, “ingegnere” fu definito colui che non solo inventava e costruiva macchine, ma che le creava in virtù di una particolare attitudine e perspicacia intellettuale; vale a dire colui che non solo possedeva un'*ars* o una *technè* particolare, ma la professava con non comune abilità¹⁰. Nel corso del Seicento, l'immediata concretezza dei fenomeni e la elementarità degli oggetti di uso

6. ROSSI, 2000, 188, 191.

7. BESSON, 1578/2001, XIII.

8. BESSON, 1578/2001, 6; MICHELL, 1995.

9. SHAPIN, 2003.

10. BIRAL E MORACHIELLO, 1985, 11-12.

comune attrassero sempre meno i nuovi cultori della meccanica, la quale gradualmente si andò emancipando dalle sue origini empiriche e dall'attività di artigiani, "ingegneri" e mastri di bottega. Con i contributi di Galileo Galilei (1564-1642) e Isaac Newton (1642-1727) la disciplina meccanica poté svilupparsi come ramo autonomo della fisica matematica, indagando le leggi del moto e le connessioni di equilibrio dei corpi e relegando la teoria delle macchine a una delle sue molteplici applicazioni. Per quanto di diffuso interesse e indiscutibile utilità, il tentativo di meccanizzare i processi conoscitivi attraverso la formulazione di regole certe e disciplinanti non trovò spazio in cantiere. Qui imperò ancora per lungo tempo un consolidato empirismo erede della tecnologia romano-imperiale, della sperimentazione gotica e dell'esperienza brunelleschiana. Tale pragmatismo rifiutò la matematizzazione dei fenomeni naturali, appoggiandosi esclusivamente alle conoscenze mutuate dall'esperienza diretta e dall'intuitivo perfezionamento dei dispositivi di supporto alla costruzione ad opera di tecnici esperti. Analoga tendenza è riscontrabile anche per le macchine raffigurate da trattati e dall'iconografia architettonica di Cinque, Sei e Settecento, dalle quali risultano palesi le molte affinità con i dispositivi antichi: è infatti documentata la permanenza di leve e piani inclinati, già in uso nell'Egitto del terzo millennio avanti Cristo, e, tra i dispositivi meccanici, anche della *magna rota* (ruota calcatoria) usata nei grandi cantieri della Roma imperiale e poi, senza soluzione di continuità, almeno fino alla prima metà del XVII secolo¹¹. Celebre il prototipo azionante una grande gru, raffigurato nel bassorilievo del mausoleo di Quintus Haterius Tychicus, di II sec. d. C.¹². La ruota calcatoria è qui collegata ad una gru armata da sette tiri. Di questi ultimi si scorgono i bozzelli superiori (*traglie*), i quali, con i bozzelli inferiori ancorati a terra oppure al carico, costituiscono il paranco da sollevamento sviluppato dall'ingegneria romana a partire dall'esperienza ellenistica¹³(*fig. 4*).

Altri dispositivi descritti nei compendi a stampa rinascimentali rimandano ad altrettanti congegni antichi, quale l'ingegnosa "ratione de Ctesifonte a condurre li gravi oneri"¹⁴, usata per il trasporto delle colonne del celebre tempio di Artemide a Efeso, costruito dall'architetto cretese Chersifron di Cnosso¹⁵ in collaborazione con il figlio Metagene, al quale si deve il completamento dell'installazione dei blocchi dell'epistilio¹⁶. Riproposta da gran parte delle riedizioni rinascimentali

11. Sulle macchine da costruzione impiegate nell'antichità si vedano in particolare USHER, 1954; DRACHMANN, 1963; HODGES, 1970; LANDELS, 1978; GILLE, 1978; GILLE, 1980; CUPELLONI, 1996; MARTINES, 1999; MALACRINO, 2010.

12. Tra le altre rappresentazioni della *magna rota*, può essere citato il Rilievo di Luceius Peculiaris (seconda metà II sec.

d.C.) proveniente dall'antica Capua (LANCASTER, 2019, 183).

13. LANCASTER, 2019, 185.

14. CESARIANO, 1521, X, VI, 166.

15. PLINIO IL VECCHIO, *Naturalis historia*, 36, 21.

16. VITRUVIO, III, 2, 7; STRABONE, XIV, 640; PLINIO IL VECCHIO, *Naturalis historia*, VII, 125; XXXVI, 5.

del compendio vitruviano¹⁷, la macchina di Chersifron, anche nella versione ideata da Metagene per il trasporto degli architravi dell'Artemision lunghi circa 6 m, è analizzata da Gullini, che ne chiarisce specificità tecnico-funzionali, modalità e direzione di traino¹⁸. Queste ultime, come nota Vitruvio, riflettono modalità e macchine generalmente adottate per il trasporto delle colonne e architravi dalle cave di estrazione del marmo¹⁹. Nel congegno di Chersifron il fusto marmoreo delle colonne (alte circa 17 metri) appena sbozzato, fu tradotto in parte integrante del congegno di movimentazione, così da poter collaborare al trasporto, effettuato grazie a un telaio reso solidale alla pietra con perni rotanti²⁰. Da notare anche che, secondo Plinio, per risolvere l'incoerenza del terreno, paludoso e poco solido, le opere di fondazione furono predisposte su uno spesso strato di carbone schiacciato e lana²¹, una sorta di pionieristica barriera all'umidità di risalita, adottata con analoghe finalità ai primi del Seicento per la poderosa fondazione della facciata maderniana della Basilica di San Pietro²².

Fin dalla metà del Quattrocento, la tradizione costruttiva antica, filtrata dall'esperienza medievale, aveva incontrato un rinnovato e fecondo interesse per la meccanica applicata, che si tradusse in parte nello studio del X libro del *De Architectura* di Vitruvio e in parte nell'invenzione di macchine spettacolari, quali le celebri "alzacolonne" di Francesco di Giorgio (1439-1501), al quale Vasari riconobbe il merito di aver riportato in vita l'antica *machinatio*, parte integrante e irrinunciabile dell'architettura²³. Tuttavia, la pratica di cantiere, nella sua rude e necessaria concretezza, più che sull'invenzione erudita, spesso utopica e fantasiosa, puntò sul progressivo e costante perfezionamento di dispositivi già collaudati, attingendo ai coevi studi di meccanica bellica e trasponendo in modelli in scala, perfettamente funzionanti, progetti di macchine efficaci e potenzialmente versatili, come quelli raccolti nel terzo libro del *De ingeniis* del senese Mariano di Jacopo, detto il Taccola (1381-1458ca)²⁴. Nelle affascinanti invenzioni meccaniche di Bonaccorso Ghiberti (1451-1516), Giuliano da Sangallo (1443-1516) e Leonardo da Vinci (1452-1519), che assembla vano ruote dentate, viti senza fine, cremagliere e argani in prototipi applicabili all'edilizia, la rievocazione della tecnologia antica si coniugò alla ricerca del prodigio tecnico e della magnificenza di dispositivi ideati per operazioni spettacolari, come l'erezione di grandi monoliti o il trasporto di piramidi²⁵. Per tutto il XVI e XVII

17. A titolo d'esempio, RUSCONI, 1590, 136-137.

18. GULLINI, 1990, 84-95.

19. VITRUVIO, X, 2, 11-12.

20. ROCCO, 2003, 78, n. 100; LANCASTER, 2019, 191.

21. PLINIO IL VECCHIO, *Naturalis historia*, 36, 21.

22. MARCONI, 2007.

23. FIORE, 1978; FIORE, 1993.

24. TACCOLA - DI JACOPO, 1427-1433/1969, III - IV, 14v-15r; GALLUZZI, 1996, 23.

25. SCAGLIA, 1960-1961; SCAGLIA, 1966; PRAGER E SCAGLIA, 1970; SAALMAN, 1980; LAMBERINI, 1994a e 1994b; GIORGIONE, 2019.



Fig.4. Città del Vaticano, Museo Gregoriano, lastra tombale del sepolcro di Quintus Haterius Tychicus (II sec. d.C.) con ruota calcolatoria azionante una grande antenna.

secolo l'affascinante teatro delle macchine e delle "tecniche artificiose" continuò a sedurre filosofi, matematici, ingegneri e architetti. Eppure, anche quando la meccanica sembrò concedersi momenti di svago con l'invenzione di fantasiosi automi, raramente si discostò dal suo intento primario: dimostrare che con l'uso sapiente di forze e fenomeni naturali era possibile spostare grandi pesi, condurre

acque, scavare pozzi, e, più in generale, procurare la vittoria sui fenomeni naturali. Numerosi compendi a stampa fissarono le infinite potenzialità dell'*ars mechanica*: dal *De Re Metallica* di Giorgio Agricola (1494-1555), pubblicato a Basilea nel 1563, al *Mechanicorum Liber* del marchese Guidobaldo Del Monte (1545-1607), pubblicato a Pesaro nel 1577, dal *Theatrum Instrumentorum et Machinarum* del riformato Jacques Besson (1530 c.-1573), edito a Lione nel 1578, alle *Artificiose macchine* (1588) del capitano Agostino Ramelli (1531-1600), dal *Novo teatro di machine et edifici* di Vittorio Zonca (1568-1602), pubblicato a Padova nel 1607, a *Le Machine*, redatto dall' "architetto della santa Casa di Loreto, ingegnere e cittadino romano Giovanni Branca da Pesaro"²⁶ (1571-1645), edito nel 1629²⁷. Ramelli, Besson e Zonca vantano un lungo apprendistato nel settore della cartografia, dalla quale probabilmente acquisirono una certa abilità nella rappresentazione di congegni meccanici per usi diversi. Si deve forse proprio a Besson l'introduzione della scala grafica a margine dei disegni di macchine, che, nel tentativo di assegnare loro indiscusso valore scientifico, alludeva a una additava concrete possibilità di realizzazione. Invero, la possibilità di tradurre le macchine raffigurate nei trattati in modelli funzionanti risultò piuttosto remota. Malgrado le seducenti didascalie, esse risultano lontane dalla realtà operativa del cantiere, risultando peraltro di dubbio giovamento alla costruzione. Valgano per tutte l'ingombrante "Machina per tirar pietra et altra materia bisognosa sopra le fabbriche"²⁸ e l'antieconomico "Edificio che trasporta il terreno da un luogo all'altro", entrambe illustrate da Zonca nel *Novo teatro di machine et edifici*²⁹.

La divulgazione e l'applicazione dei nuovi sistemi di calcolo messi a punto dai teorici francesi dell'Académie Royale des Sciences³⁰, segnò lo scarto culturale tra XVII al XVIII secolo e informò la graduale affermazione dell'ingegneria meccanica, pur nella permanenza della consuetudine al confronto con i più autorevoli modelli del passato, fondata in parte sul peso ancora schiacciante di Vitruvio. Eppure, prima di allora, il perfezionamento della tecnologia di supporto all'arte edificatoria, che, a Roma, trovò nella Fabbrica di San Pietro un ideale laboratorio sperimentale e un ineguagliabile serbatoio di risorse, era progredito per via sperimentale, nei grandi cantieri cinquecenteschi grazie al talento straordinario di artisti e tecnici del calibro di Antonio da Sangallo il giovane (1484-1546), Michelangelo Buonarroti (1475-1564), Domenico Fontana (1543-1607) e

26. MILIZIA, 1785, II, 129.

27. DEL MONTE, 1577; PIGAFETTA, 1581; RAMELLI, 1588; ZONCA, 1607; BRANCA, 1629.

28. ZONCA, 1607, 7.

29. GIANGRASPO, 1982, 110-127.

30. In Francia, nella prima metà del Settecento, furono istituiti due organismi preposti alla ricerca sulla costruzione e la meccanica degli edifici: il *Corps des Ponts et Chaussées* (1716) e l'*Ecole des Ponts et Chaussées* (1747), diretta tra gli altri da J. R. Perronet.

Giacomo Della Porta (1532-1602)³¹, nonché all'opera intuitiva e geniale di uno stuolo di valentissimi muratori e carpentieri. Invero, gli apparati provvisori, le macchine e l'iter operativo messi a punto alla fine del XVI secolo costituirono parte integrante di un più ampio programma operativo, che non poté prescindere da due condizioni strategicamente determinanti: la flessibilità d'uso dei dispositivi e il loro adattamento alla pratica ordinaria. I bisogni del cantiere e l'affidabilità richiesta a macchine, impalcati e attrezzature da sollevamento necessitarono di una lunga serie di prove pratiche, effettuate mediante il tradizionale ricorso a modelli in scala, testate con esiti non sempre positivi, ma validate da una serie di insuperati successi. Ciò valse per lo più per interventi di carattere straordinario; la maggior parte dei cantieri rinascimentali e barocchi preferì invece il rassicurante ricorso ai dispositivi tradizionali e, testati da un impiego plurisecolare, come argani, borbere, verricelli, capre e antenne, tutti realizzati in legno e canapi, con guarnizioni metalliche limitate dai costi elevati alle parti più esposte all'usura, e azionati dalla sola forza muscolare. Per la movimentazione dei materiali da costruzione e dei grandi carichi, il cantiere moderno reiterò l'uso di dispositivi già collaudati in età antica, seppur implementati e perfezionati nel corso del tempo: tra questi vanno ricordate macchine semplici, come leve e piani inclinati, ma anche strumenti quali rulli, biette, pulegge, paranchi, verricelli e argani. Uso e funzionamento della leva sono illustrati da Vitruvio nel settimo capitolo del libro X del *De Architectura*, ove, nel definire il fulcro "sottoleva", si specifica che "il capo della leva, che è più lontano dal centro, mentre è calato facendo il movimento circolare costringe col calare con poca forza porre in bilico un grandissimo peso"; analogamente, invertendo il verso della forza applicata alla leva, si potrà "levare in alto il peso"³². In precedenza, la leva fu illustrata nel *Mechanica problemata*, forse opera di un allievo di Aristotele (384-322 a.C.), nel quale con metodo sperimentale si prova come con l'applicazione di una forza contenuta possano essere movimentati grandi pesi³³. Tale assunto indusse studiosi di ogni epoca, tra i quali Leonardo e Galileo, a sostenere l'ipotesi che tutti i fenomeni meccanici, compresi il funzionamento di bilance, pulegge e verricelli, potessero essere ricondotti al principio della leva e del moto circolare³⁴.

31. Al pari dei maggiori architetti dell'antichità classica, Michelangelo fu al contempo "*architectum et machinatorem*" e contribuì ad assegnare nuovo prestigio all'aspetto più pragmatico della costruzione, fondato sull'imprescindibile interrelazione tra arte e tecnica (WALLACE, 2002; LAMBERINI, 1995).

32. VITRUVIO, 1556/1987, X, VII, 454.

33. Nella leva, forza motrice e forza resistente venivano applicate sulla medesima asta, con effetto direttamente

proporzionale alla sua lunghezza; per tale motivo, le leve furono realizzate in legno forte, oppure in ferro. In elementi da costruzione con spigoli fragili o pre-rifiniti, per impedirne lesioni e scheggiature, era consuetudine proteggere la superficie a contatto con la leva con fasciame di legno dolce, stracci, o paglia.

34. GIUFFRÉ, 1986, 23; CLAGETT, 1972, 23; BENVENUTO, 1981; DI PASQUALE 1996.

Il piano inclinato, raramente menzionato dai teorici antichi, ma simile alla leva nel principio meccanico, fu impiegato unicamente per le traslazioni orizzontali³⁵ e perfezionato dall'introduzione dei *curli* –cilindri in pietra o legno robusto (carpino)–, collocati tra carico e piano di scorrimento al fine di ridurre l'attrito e favorire la traslazione³⁶. L'impiego di pulegge, collegate al peso e alla sommità del piano inclinato, consentì di ridurre anche l'entità della forza motrice applicata³⁷.

I documenti dei cantieri romani di XVI-XVIII secolo informano puntualmente su tipo e consistenza degli attrezzi adoperati nelle diverse fasi della costruzione³⁸. Dai registri delle munizioni vaticane, come dai resoconti delle fabbriche private, è possibile individuare i termini, tecnici o dialettali, con cui tali strumenti venivano identificati. Tra le più comuni attrezzature da lavoro di muratori e scalpellini, ma anche di falegnami e fabbri, figurano canapi e funi di diversa misura, mazze di ferro, regoli, squadre, crivelli per calce e pozzolana, secchi (detti anche *schifi*) e piccoli bigonci, martelli, archipendoli, carrette di varia foggia, barelle, scale a pioli, leve di legno o di ferro e anche numerose scope per liberare l'area di lavoro dai detriti³⁹. Oltre a martelli, seghe, asce, *trivelli* e "*schiaivoni*"⁴⁰ era diffuso anche l'impiego di *mollette* e *uncini*, che, legati alla sommità delle funi da *burbera*, impedivano il rovesciamento dei secchi durante il sollevamento ai diversi impalcati del ponteggio (fig. 5). Le attrezzerie metalliche, la dote più preziosa dei capomastri, furono utilizzate e conservate con cura a causa dell'alto costo del ferro: martelli, martelline, lancette, scalpelli, seghe, ma anche staffe di varia foggia, usate per saldare travi di legno interzate e assemblare castelli, impalcati di servizio e macchine. Le ulivelle di ferro, di misura variabile tra i 67

35. Come ricorda Martines a proposito di Erone, "i meccanici dell'antichità classica consideravano macchine da sollevamento quelle che sospendono il carico mediante funi" (MARTINES, 1999, 263).

36. La prima trattazione teorica sul piano inclinato si deve a Pappo di Alessandria "che usa il principio della leva per determinare quale forza sia necessaria per sostenere un grave che rotola lungo un piano inclinato. La sua soluzione è errata, ma malgrado ciò fu accettata a lungo nel Medioevo e Galileo dovette usare tutta la sua dialettica per confutarla" (GIUFFRÉ, 1986, 45). La corretta intuizione e la conseguente formulazione analitica sono invece attribuite al padre domenicano Jordanus de Nemore, vissuto nella prima metà del XIII secolo, che nel trattato *De ratione ponderis* (1260) pose le basi per la successiva e definitiva sistematizzazione teorica galileiana.

37. MARTINES *ET AL.*, 2016.

38. Si veda a titolo d'esempio AFSP, arm. 26, E, 300, cc. 8 e segg., *Capitale esistente nelle monitioni della Reverenda Fabbrica di San Pietro [...] conforme all'inventario fatto il [...] 14 novembre 1650.*

39. Per *crivelli* si intendono i setacci a maglia più o meno larga necessari a vagliare rena e pozzolana per la confezione di malte e conglomerati; gli *schifi* sono secchi in legno con cerchiature metalliche di rinforzo, usati per il trasporto dei materiali; l'*archipendolo* è una livella costituita da un triangolo di legno ad angolo retto, dotato di un filo a piombo applicato nel vertice. Se la base del triangolo è posta in piano, il filo a piombo viene a disporsi esattamente sulla bisettrice dell'angolo (MARCIONI, 2004, 269-285, Glossario, *ad vocem*). Secchi metallici erano usati anche per lo scavo di pozzi e canali nell'antichità. Ne è prova la secchia rinvenuta sul fondo di un pozzo della galleria Torlonia sotto Monte Salviano, oggi custodita nel Museo di Celano (GIULIANI, 2019, 96-97).

40. *Ibidem*. Gli *schiaivoni* sono trivelli adatti a "forar le muraglie" e ad allargare gli stessi fori. Lo schiaivone, o *succhiello*, poteva raggiungere, e talvolta oltrepassare, i 12 palmi di lunghezza (2.76 m).

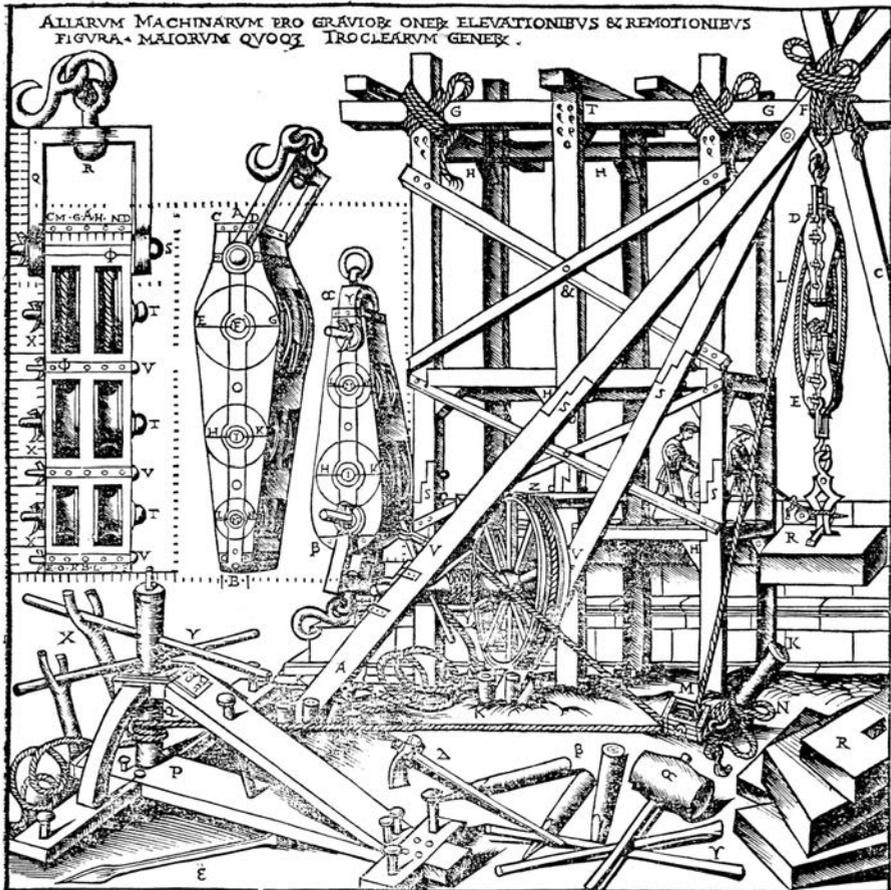


Fig. 5. Strumenti, attrezzi e macchine del cantiere edile, da CESARIANO 1521, libro X, cap. VI, 166 (*Machinarum tractoriarum ad onerum elevationes cum quibus movetur celeriter et expedite*).

e i 44 cm, erano gli strumenti indispensabili alla movimentazione dei blocchi lapidei. Usate senza soluzione di continuità e sostanziali modificazioni fin dall'antichità⁴¹, le ulivelle descritte nei testi a stampa e nei documenti di cantiere di XVII e XVIII secolo, sono composte da una robusta maniglia metallica terminante in due occhielli, due “mezzi cunei tramezzati da un quadrilungo” e un perno di chiusura. Alla maniglia sono assicurate le funi per il sollevamento. L’inserimento di due cunei laterali a sezione trapezoidale e di un terzo centrale a profilo quadrangolare nell’alloggiamento sulla pagina superiore del blocco

⁴¹ Sull’uso delle ulivelle e degli altri strumenti da lavoro in epoca antica si vedano in particolare ADAM, 1988 e LUGLI, 1957.

lapideo consentiva di applicare la pressione necessaria a bloccare saldamente i cunei alla pietra⁴² (fig. 11).

Tra le “masseritie” del cantiere edile figurano anche cariole d’olmo, scale, barelle, cassette per tenere i ferri, ruote di pietra per affilare gli strumenti da taglio, stadere e bilance per pesare i materiali sfusi, candele di sego e lanterne per lavorare nelle ore notturne, oltre naturalmente a canapi, tagli di legname di vario tipo, tragle, pulegge e girelle⁴³.

La *puleggia* o *polea*, fissa o mobile, realizzata in legno o in ferro, era il più semplice dispositivo da sollevamento, composto da una staffa, una maniglia e una *girella*. Definita *orbiculum* da Vitruvio e *raggio* dal suo commentatore cinquecentesco Daniele Barbaro, la *girella* costituiva il componente essenziale di ogni strumento o macchina da sollevamento⁴⁴. Consisteva in un disco di ferro o bronzo, oppure intagliato in legni “forti e nodosi”, con gola profilata a U e bordi arrotondati; il disco era sostenuto da due “guance” forate nella sezione centrale e predisposte per l’alloggiamento di un perno metallico, al contempo sistema di bloccaggio e asse di rotazione⁴⁵. Le girelle erano fissate alle casse di pulegge e tragle mediante dadi e piastre di bronzo, oppure con semplici perni, lignei o metallici, serrati da zeppe. Indispensabili per amplificare gli effetti della forza applicata per il tiro, “le girelle facilitano il corso delle funi, e tutto insieme cagiona, che si faccia a poco per volta quella forza che sarebbe bisognato fare in un tratto, per innalzare il peso non diviso”⁴⁶. Alla puleggia era collegato un uncino per l’aggancio della fune o del carico da sollevare, a seconda che la puleggia fosse di tipo fisso o mobile. Nel primo caso, utilizzato soprattutto per la traslazione orizzontale dei carichi, la puleggia era ancorata al dispositivo provvisorio di sostegno e il peso assicurato all’estremità opposta del canapo; nella seconda ipotesi, il peso era invece collegato direttamente alla puleggia⁴⁷.

La *traglia*, denominata da Vitruvio *troclea*, fu diffusamente utilizzata fin dall’antichità. Con essa era possibile “facilitare infinitamente, ed assicurare il maneggio de’ gran pesi in occasione di trasportarli, o inalzarli”⁴⁸. La traglia replicava, moltiplicandole, struttura e funzione della puleggia, e consisteva in una cassa, in ferro o legno, contenente una o più file di girelle a una sola

42. Per rendere l’ulivella solidale con il blocco lapideo, i cunei venivano bloccati da un perno passante per gli occhielli della maniglia; quindi si faceva aderire perfettamente lo strumento alla lunghezza dell’incavo agendo con mollette e biette.

43. AFSP, arm.1, A, 2, n. 49, *Conto de diversi legnami che furno compri per la colonna de S. Maria Maggiore [...] dal sig. Carlo Maderno Architetto della Fabrica* (7 ottobre 1614). MARCONI, 2009.

44. VITRUVIO, 1567, X, II, 445.

45. Il profilo a U che sagomava la gola della girella impediva l’incepparsi della fune durante la trasmissione del movimento.

46. *Castelli e Ponti*, 1743, 3, tav. V.

47. Per approfondimenti su tipologia e misure di pulegge e tragle si rimanda a MARCONI, 2004, 164-174.

48. *Castelli e ponti*, 1743, 6, tav. V. Il termine *traglia* è usato in prevalenza a Roma; in altre regioni, pur assumendo denominazioni differenti, lo strumento è comunemente identificato come *taglia*.

staffa. Gli elementi accessori –maniglie, staffe e perni– erano per solito fusi in ferro, dal momento che erano loro delegate resistenza, affidabilità ed efficacia del dispositivo. Le traglie venivano usate in coppia come i moderni paranchi, una fissata al castello provvisoriale o alla macchina, l'altra direttamente al carico da sollevare: “quelle legate sopra servono per tirare da basso in alto il peso, quelle legate al peso servono per dividerlo, benché unico, in tante parti, quanti sono i fili delle funi, che per esse passano”⁴⁹. Gli antichi *pentaspastos* descritti da Vitruvio erano di fatto paranchi costituiti da una traglia a doppia carrucola posta al piede della macchina e una traglia con carrucola tripla in alto⁵⁰. Perfezionate in diversi secoli di sperimentazioni, come provano anche diversi compendi e documenti di XVIII secolo, le traglie più diffuse furono quelle in bronzo a due girelle coassiali e con profilo a “incavo in costa senza labbri”, che impediva il pericoloso sfregamento delle funi sui bordi metallici. Cavicchie, perno e altri accessori erano forgiati in ferro ben temperato, così da poter “mettersi e levarsi, per levare con facilità le girelle e con esse le funi”⁵¹. Le traglie potevano raggiungere dimensioni e peso notevoli, al quale si aggiungeva quello dei canapi in esse investiti: una traglia armata con canapi di sezione consistente, deputata al tiro di pesi considerevoli, si aggirava sui 40 kg di peso, mentre funi più sottili, che servivano a “elevator pesi di minor consistenza o per tiri che occorrono nelle costruzioni ed elevazione di grandi massi”, armavano traglie con cassa in ferro alte circa 2 palmi (44.6 cm). Le versioni messe a punto alla fine del XVI secolo per la movimentazione dei grandi monoliti raggiunsero addirittura il metro di altezza (*fig. 6*).

La struttura di ferro pieno faceva di traglie e pulegge strumenti decisamente costosi, ma indispensabili tanto alla costruzione ordinaria, quanto, soprattutto, alle esecuzioni extra-ordinarie. Per la movimentazione delle circa 300 tonnellate di granito rosso dell'obelisco Vaticano, Domenico Fontana commissionò ad artigiani specializzati di Subiaco Castello la forgiatura di casse per traglie e pulegge, incluse quelle per i cosiddetti *traglioni*, traglie doppie alte 5 palmi (1.11 metri), “tutte di ferro con sei girelle di metallo”, disposte in due file sovrapposte inversamente posizionate. Si tratta di una traglia speciale, particolarmente potente, ideata da Fontana per le specifiche necessità dell'impresa vaticana, ma successivamente reimpiegata nell'installazione degli altri obelischi sistini e dei monoliti innalzati a Roma fino alla fine del Settecento⁵². L'investimento finanziario richiesto dalla fabbricazione di simili strumenti, ma anche di canapi e macchine di dimensioni eccezionali, ne comportò la continuità d'impiego per

49. *Castelli e ponti*, 1743, 6, tav. V.

50. VITRUVIO, X, 2, 3.

51. *Castelli e ponti*, 1743, 6, tav. V.

52. MARCONI, 2009.

almeno due secoli, favorito da rigide disposizioni volte alla tutela di attrezzature e macchine da cantiere, predisposte dalla Fabbrica di San Pietro in Vaticano, il più autorevole laboratorio di edilizia a Roma fino all'Unità d'Italia. Traglie,

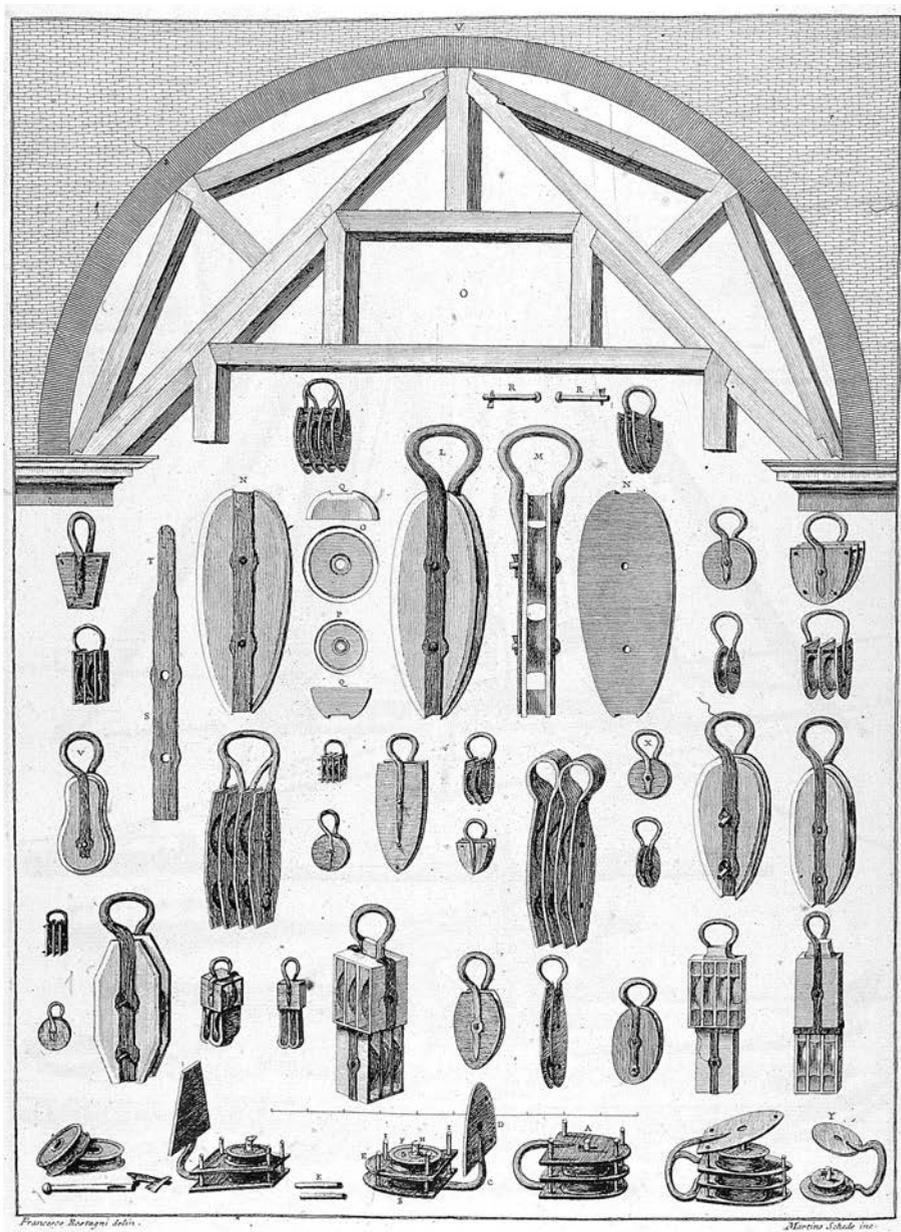


Fig. 6. Strumenti metallici da sollevamento: traglie, pulegge e girelle (da Castelli e ponti, 1743, tav. V).

gru, argani e perfino canapi di consistente dimensione, fabbricati per conto della Fabbrica, quindi inventariati e custoditi nei depositi delle “munitioni” vaticane, per circa due secoli furono sistematicamente noleggiati a fabbriche esterne, papali o private, previo accurato controllo dello stato di conservazione prima e dopo l’uso. Il “prestito” delle munizioni petriane si rivelò un utilissimo dispositivo di risparmio economico per i cantieri minori –non più obbligati alla fabbricazione di costose attrezzature– ma anche di trasmissione di un sapere tecnico e di una pratica operativa ormai definitivamente perfezionati e di efficacia garantita.

La fattura di gran parte di queste attrezzature spettava ai mastri “ferrari”, ai quali competeva anche la manutenzione degli strumenti in dotazione a muratori, falegnami, scalpellini e stuccatori, nonché la fornitura di catene, paletti e zeppe, serrature, catenacci, spranghe e staffe per i ponteggi. L’attrezzatura tipo necessaria al muratore ricalcava sostanzialmente quella delle epoche precedenti e includeva diversi tagli di legname, calce smorzata di buona qualità, tinozze per l’acqua, necessarie per bagnare tevolozze⁵³ e mattoni prima della posa in opera, oltre che per “dare acqua alli muri”; indispensabili anche scope, livelle, squadre, scale, cavalletti, accette, *sparviere*⁵⁴, scodelle per bagnare gli attrezzi, tenaglie, trivelli, forconi –usati per drizzare gli *arcarecci*⁵⁵ delle strutture provvisionali e portarle in posizione verticale– seghe da legno e altri strumenti utili alla costruzione degli impalcati provvisionali, inclusa tra le mansioni dei muratori. Altrettanto variegata e nutrita era la dotazione di strumenti da lavoro degli scalpellini. “Un pezzo di pietra lavorata ha inciso, sulla sua superficie, un linguaggio che può essere letto solo da coloro che ne abbiano imparato i segni”: Peter Rockwell ha così definito la “sottocultura molto antica” della lavorazione della pietra, la cui tradizione operativa è stata tramandata per secoli da diverse generazioni di artigiani⁵⁶. Gli scalpellini e gli scultori attivi a Roma tra Cinque e Settecento, fecero propria la prassi operativa antica, che rimase sostanzialmente immutata anche nella tipologia delle attrezzature. La funzionalità degli strumenti usati per lavorare la pietra, già documentati nell’antico Egitto, fu perfezionata dall’esperienza della statuaria e dei cantieri della Grecia classica. Eppure, come ha chiarito Rudolph

53. Il termine romano di *tevolozza* indica il mattone di recupero, estratto dalle rovine dell’antichità e diffusamente reimpiegato nelle fabbriche di età moderna, sia intero che in pezzame, e apprezzato per la sua compattezza e resistenza acquisite nella pluriscolare stagionatura, nonché per la sua sostanziale economicità (MARCONI, 2021).

54. Il termine *sparviere* –l’odierna *americana*– indicava la tavoletta in legno dotata di impugnatura, usata dal muratore per lisciare l’intonaco o per tenere a portata

di cazzuola un po’ di calcina. MARCONI, 2004, 269-285, Glossario, *ad vocem*.

55. Taglio di legname da lavoro con lunghezza minima di 30 palmi (6.70 m) e spessore compreso tra 9 once (17 cm) e un palmo (22.34 cm). MARCONI, 2004, 269-285, Glossario, *ad vocem*.

56. ROCKWELL, 1989. Sull’estrazione e lavorazione dei materiali e, più in generale sulle *officinae lapidariae*, si veda il recente VINCI ET AL., 2020.

Wittkower, le diverse epoche storiche hanno preferito alternativamente alcuni attrezzi piuttosto che altri, condizionando in misura non irrilevante la stessa continuità degli stili⁵⁷. Lo storico tedesco colloca al 500 a.C. alcune decisive modifiche alla pratica esecutiva, quali l'integrazione della primitiva opera di punta a quella di altri strumenti, l'introduzione dello scalpello piatto, dello scalpello dentato e del trapano e anche la messa a punto di alcuni metodi di trasferimento meccanico, tra cui quello a pantografo⁵⁸. Le attrezzature necessarie alla modellazione di marmi, travertini e altre pietre da taglio si distinguono in due categorie, vale a dire in strumenti che lavorano a percussione (come martelli, mazzuoli, mazze e cunei) e quelli che operano per abrasione. Rifinitura, intaglio e scultura dei blocchi lapidei erano eseguiti a *trapano*, *ferrotondo* (scalpello per esecuzioni meno raffinate) e *subbia*, uno degli attrezzi più antichi, composto da un'asta metallica di circa 25 cm, dotata di un'estremità appuntita con profilo piramidale e diametro variabile tra i 10 e i 25 mm⁵⁹. Appartenevano al corredo di scultori e scalpellini anche la *gradina*, la *bocciarda* –detta anche “mazzuolo quadro” o *boucharde*, un martello dalla testa quadrata con il bordo da taglio modellato a reticolo con caselle di forma piramidale–, lo *scalpello*, lo strumento più diffuso e versatile, l'*ungbietto*, simile allo scalpello, che si adoperava per intagli in sottosquadro e scanalature a base piatta e sezione quadrata, e la *sgorbia*, impiegata solitamente per la lavorazione del legno e delle pietre tenere, consentiva di eliminare porzioni di pietra dal profilo ricurvo. Gli strumenti ad abrasione, di più antica origine, erano usati invece per tagliare (seghe), modellare (lime, raspe, raschietti e pietre grezze), levigare o lucidare. La loro azione era favorita dall'uso congiunto di inerti abrasivi, come smeriglio, arenarie, pomice e sabbia e polveri, che ne miglioravano l'efficacia.

Simili strumenti sono documentati nella pratica antica e rimasti pressoché immutati nella foggia e nei materiali componenti⁶⁰.

Analoga sostanziale derivazione dall'antico riguarda le macchine da sollevamento presenti nei cantieri edili di età moderna, il cui impiego è già attestato nei cantieri della Grecia di V secolo a.C. Qui i sistemi di trasporto e sollevamento dei materiali da costruzione, anch'essi mutuati dalla pratica egiziana e sostanzialmente riconducibili a leva e piano inclinato, si rivelarono inadatti all'edificazione dei grandi templi in pietra e richiesero l'invenzione di appositi dispositivi meccanici. Difatti, in età antica come in quella moderna, il montaggio di colonne monolitiche, la corretta giustapposizione dei rocchi,

57. “C'è stato un unico scultore nella storia dell'arte totalmente dedito allo scalpello dentato e alla gradina, ed è stato Michelangelo” (WITTKOWER, 1993, 10).

58. WITTKOWER, 1993.

59. ROCKWELL, 1996; BESSONE, 1935.

60. LANCASTER, 2021, 164-166.

così come il sollevamento e la movimentazione di poderosi architravi lapidei, necessitarono di robusti congegni elevatori, facilmente assemblabili e azionabili tramite pulegge, funi e argani. Si ricordano a tal proposito l'impiego massiccio di pulegge e macchine da sollevamento per la costruzione dell'Eretteo sull'Acropoli di Atene e l'installazione della trabeazione del tempio di Apollo a Didime⁶¹. Successivamente, come riferisce Vitruvio, alle sperimentazioni condotte da Chersifron e Metagenes a Efeso seguì la decisiva implementazione della tecnica romano imperiale con la messa a punto di una serie di dispositivi di grandissima efficienza⁶². Gli scritti di Erone e dei meccanici alessandrini tramandano la consuetudine all'uso di tali dispositivi, dimostrando peraltro come la cosiddetta vite di Archimede avesse già trovato impiego nella valle del Nilo. Nella seconda parte della sua *Méchanika* (seconda metà del I secolo d.C.), Erone illustrò cinque macchine semplici: verricello, leva, puleggia, cuneo e vite, la cui utilità risiede soprattutto nella capacità di muovere pesi considerevoli applicando forze moderate. Tale proprietà è evidente soprattutto nell'argano (*baroulkòs*), già di larghissimo impiego e al quale Erone dedicò addirittura un trattato sul sollevamento dei gravi⁶³. Tra i dispositivi presentati figurano leghe metalliche resistentissime, meccanismi come blocca-pulegge, ingranaggi di ruote, anche ellittiche, rulli dentati, valvole di vario tipo, viti, molle lineari ed elicoidali, ma anche poderose gru e macchine da trivellazione⁶⁴. La permanenza della meccanica alessandrina nei secoli successivi è provata, oltre che dalle applicazioni pratiche, anche dalle numerose riedizioni degli scritti di Erone, tra le quali quella apparsa in Italia nel 1578⁶⁵. L'utilizzo dei due tipi di macchina descritti da Vitruvio e i quattro tipi illustrati da Erone Alessandrino attraversò dunque i secoli, registrando una serie di utili modifiche, indotte dagli sviluppi della meccanica bellica e dal carattere di urgenza e immediata applicabilità ad essa sotteso⁶⁶. Verricelli, burbere e argani impiegati nelle fabbriche rinascimentali⁶⁷, ereditati dalla *machinatio* romana e dai virtuosi cantieri gotici, sfruttavano l'azione meccanica di un tamburo rotante, al quale si avvolgeva la fune collegata al carico da sollevare⁶⁸. Il verricello, denominato "molinello" da Vitruvio e indicato nelle fonti romane di XVII secolo anche come "verrocchio",

61. GILLE, 1978, 165.

62. DI PASQUALE, 2004.

63. FERRIELLO *ET AL.*, 2016; DI PASQUALE, 2008.

64. TRABUCCO, 2010.

65. CANALI, 2008.

66. CARRA DE VAUX, 1988; MARTINES, 1999, 262, nn 21-23;

GILLE, 1978, 190; DRACHMANN, 1963, 19-140;

FLEURY, 1993; MARCONI, 2006.

67. Dal punto di vista funzionale, la differenza tra verricello e argano risiede nel fatto che, mentre il

primo innalza direttamente il carico che gli è applicato, il secondo genera l'azionamento di un tiro mediato da traglie e carrucole, utilizzabile anche per il trasporto orizzontale o inclinato.

68. L'uso di pulegge, verricelli e argani in età antica è stato illustrato, tra gli altri, da CHOISY, 1873; DE MONTAUZAN, 1908; LUGLI, 1957; MARTIN, 1965; ORLANDOS, 1968; FARRINGTON, 1978; ADAM, 1988; USHER, 1993, III, 330-353; WILLIMANN, 1997; SPOSITO, 2008.

era un argano ad asse orizzontale, costituito da un tamburo cilindrico rotante di legno robusto, alle cui testate trovavano alloggio le aste di ferro di manovra. Il “capo tiratore”, cioè la fune deputata al sollevamento, era avvolto per un primo tratto attorno al tamburo in due o tre spire⁶⁹. L'estremità opposta della fune era collegata a una puleggia, che ne tendeva e direzionava il tiro, a sua volta collegata al carico da sollevare; la puleggia, sottoposta a sforzi di rilevante entità, era fissata a un robusto sostegno, per solito un dispositivo ligneo. Versatilità e facilità di manovra consentivano l'installazione del verrocchio alle diverse quote dei ponteggi, così come in vani praticati nei muri, oltre che al piede di qualsivoglia struttura provvisoria⁷⁰.

La *burbera*, simile al verricello nella tipologia e nel funzionamento, veniva solitamente montata sugli impalcati provvisori e armata con funi di circa 3.5 cm di diametro, avvolte per alcune spire attorno al tamburo rotante (fig. 7). Alle due estremità della fune erano fissati gli *anzini*, uncini metallici per l'aggancio dei secchi (*schifi*) deputati al trasferimento alle varie quote di lavoro di calce, mattoni e materiali minuti, oppure del fasciame di funi che consentiva il sollevamento di travi e componenti lignei. La differenza tra verricello e burbera risiedeva negli apparati di supporto; infatti, pur essendo entrambi dispositivi ad asse orizzontale, per verrocchio le fonti secentesche indicano il solo cilindro rotante, adattabile sia alla struttura muraria in costruzione, sia a strutture lignee provvisorie, mentre la burbera è l'insieme cavalletto-tamburo-fune⁷¹. La stessa etimologia dei termini contribuisce a sottolineare tale differenziazione: verrocchio deriva dal verbo latino *verrere*, trascinare, mentre il termine burbera è mutuato dal lombardo *bürba*, cilindro girevole per il sollevamento delle funi da pozzo, introdotto nel lessico tecnico romano dalle maestranze lombardo-ticinesi.

La macchina impiegata con più frequenza nei cantieri di tutte le epoche per la movimentazione di blocchi lapidei e grandi componenti lignei rimane comunque l'argano, funzionale al sollevamento di pesi consistenti, documentato, tra gli altri, nelle aree sotterranee del Colosseo e nell'anfiteatro di Capua, rimase pressoché immutato per secoli nella struttura e nel principio meccanico. Ne

69. “Il qual uomo nel raccogliere la corda osserverà che le voltate mai si accavallino e scorrino fuori del mezzo del Verocchio, e nel caso che ciò accadesse, perché col girare le fila formano l'andamento di una vite, così egli con destrezza allentando alquanto le girate le farà per quanto puole sempre in mezzo; come ancora volendo fare abbassare il peso si allenterà poco alla volta il capo senza che dia stratti alli quali il canapo o corda soffre non poco” (VALADIER, 1828-39, III, 45).

70. VALADIER, 1828-39, III, 46, tav. CLXXVIII. Il trattato di Valadier, ancorché pubblicato intorno agli anni

'30 del XIX secolo, costituisce una preziosa epitome della pratica costruttiva romana, derivata dall'antico e impiegata senza soluzione di continuità fino alle soglie del contemporaneo.

71. Gli inventari delle attrezzature in dotazione alla Fabbrica di San Pietro in Vaticano riferiscono sull'impiego diffuso di verricelli, argani, burbere e attrezzature accessorie come secchi, uncini, mollette da burbera e mazzi di zaganelle (funi di sezione sottile), “chiodi grossi per la burbera”, “ancini da burbera de ferro”, fusi d'argano (MARCONI, 2004, IV, 142-143).

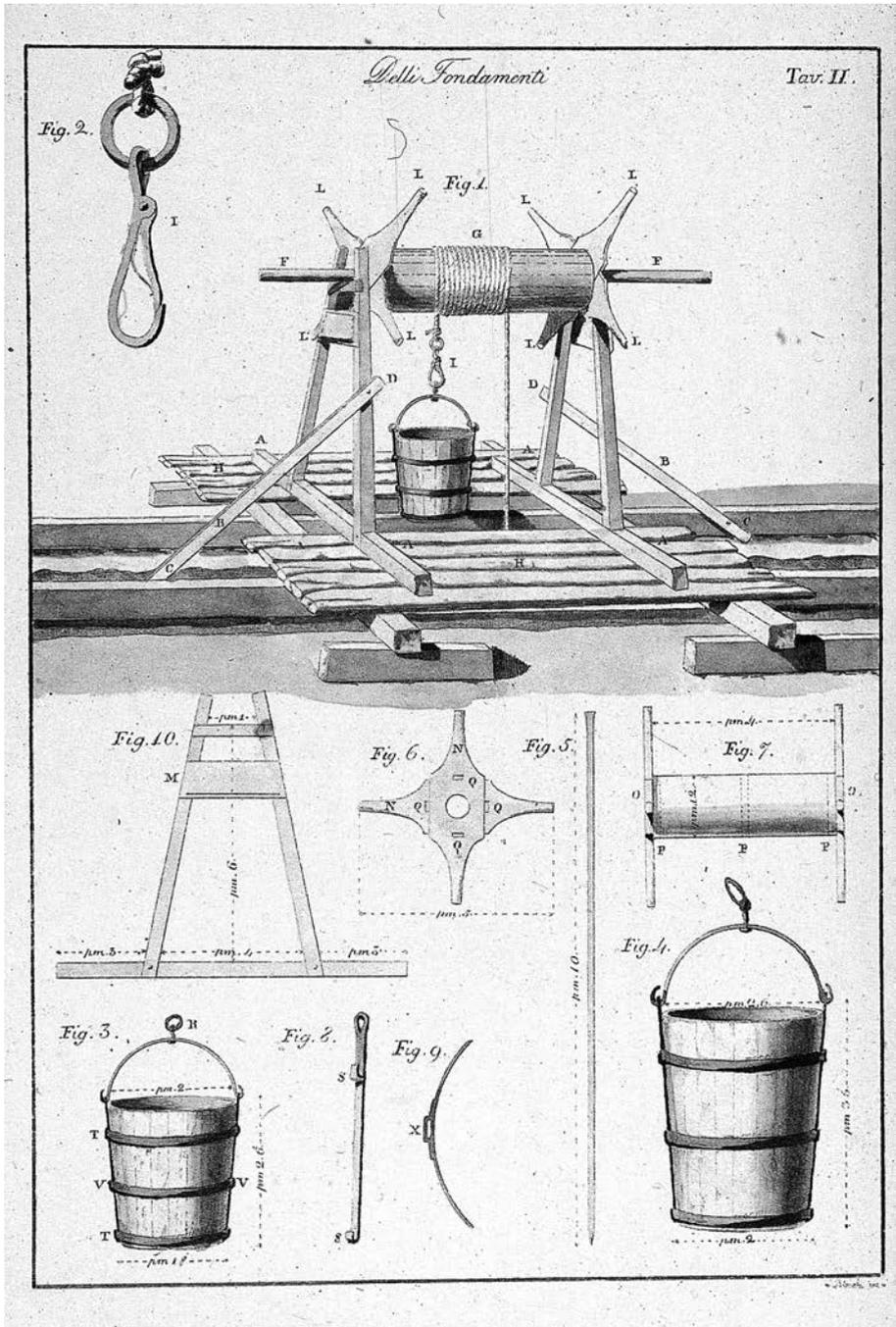


Fig. 7. Burbera con relativi componenti e accessori, da VALADIER, G. (1828-39), vol. III, tav. II.



Fig. 8. Argano ligneo ad asse verticale utilizzato per la movimentazione di grandi carichi nella Basilica Vaticana, cm 198x80x124, 1877, Fabbrica di San Pietro in Vaticano, Ottagono di San Basilio. Per gentile concessione della Fabbrica di San Pietro in Vaticano.

rimangono alcune testimonianze di età antica (come il rilievo di tardo IV sec. sulla base dell'obelisco di Teodosio a Istanbul), nonché diverse altre di epoca medievale e moderna – oltre ad alcuni prototipi musealizzati, come l'argano ad asse orizzontale di I secolo d.C., rinvenuto nel 1932 a Ercolano⁷², e quello ad asse verticale di grandi dimensioni, oggi custodito nella Fabbrica di San Pietro in Vaticano (fig. 8). L'argano più usato fu proprio quello ad asse verticale, manovrabile mediante quattro stanghe (*aspe*) disposte a croce e azionabili anche da 16 uomini simultaneamente. Per la movimentazione di carichi straordinari agli uomini erano associati anche i cavalli, per il controllo dei quali occorreva particolare esperienza e attenzione. Perfezionato nel meccanismo di rotazione, reso invertibile da Filippo Brunelleschi, che lo adattò alle precipe esigenze del cantiere della cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze (1420-1436)⁷³, l'argano fu oggetto di studio di Leonardo da Vinci, che ne indagò possibili sviluppi con applicazione di ingranaggi antifrizione e rulli cilindrici all'argano a tre velocità⁷⁴. Si cimentarono nella messa a punto di altre e più

72. LANCASTER, 2021, 179.

73. LAMBERINI, 1999.

74. L'argano brunelleschiano aveva la peculiarità di poter invertire il senso di rotazione degli alberi cilindrici

orizzontali, consentendo di mutare il senso di salita e discesa del carico senza mai staccare i buoi dal giogo (DI PASQUALE, 1987, 163-181. Altre notizie in GALLUZZI, 1996, 100-104).

articolate varianti di questo dispositivo anche i già menzionati Taccola, Ghiberti, Francesco di Giorgio e Giuliano da Sangallo⁷⁵. Quest'ultimo illustrò diversi congegni meccanici a complemento dei suoi disegni di architettura, nei quali la rievocazione della tecnologia antica si coniugava alla ricerca del prodigio tecnico e della magnificenza di dispositivi ideati per operazioni spettacolari, come l'erezione di grandi monoliti o il trasporto delle piramidi⁷⁶. Permane comunque l'interesse di Giuliano per la rappresentazione di congegni anche semplici, come la vite a triplo gancio, che sfruttava il principio della ripartizione dei pesi, o il montacarichi azionato da burbera e munito di un sistema a vite perpetua, che consentiva di sollevare e abbassare simultaneamente due carichi appesi alle sue estremità.

Nei secoli successivi si contano altre raffigurazioni dell'argano, come quelle incluse nel compendio di Domenico Fontana sulla traslazione dell'Obelisco Vaticano, riproposte da Alessandro Specchi tra gli strumenti impiegati per la costruzione della Basilica di San Pietro, descritti nel *Templum Vaticanum* di Carlo Fontana (1638-1714) del 1694⁷⁷ (fig. 9).

L'iconografia di tutte le epoche attesta l'impiego di argani e verricelli sia come macchine semplici, sia associati a congegni ben più articolati e fantasiosi, spesso inesitati in quanto di dubbia funzionalità. Fino alle soglie del contemporaneo, il cantiere edile si avvale dunque delle medesime *machine tractoriae*, le sole, secondo Alberti, in grado di rispondere alle effettive necessità della costruzione⁷⁸. Il loro uso prolungato è prova del carattere tradizionale e pragmatico che informò prassi esecutiva e tecnologia edilizia ancora a ridosso dell'introduzione della costruzione in cemento armato. Fino ad allora, legno, ferro e canapi rimasero i principali costituenti di argani, burbere e verricelli, ma anche di antenne, capre e falconi. Ogni modifica o innovazione fu registrata e acquisita solo con l'uso e la pratica diretta. Successivamente, nel solco della frattura tra scienza meccanica e pratica di cantiere, e della rivoluzionaria introduzione della costruzione in cemento armato, all'abbandono delle macchine tradizionali fece eco la loro obliterazione finanche nei manuali per architetti e ingegneri. Attrezzature e macchine tradizionali godranno invece di rinnovata fortuna critica nei manuali destinati ad altri operatori edili⁷⁹.

Per il sollevamento a grandi altezze di materiali ed elementi finiti di peso considerevole, il cantiere edile –antico e moderno– si avvale di capre, antenne e bighe, congegni di grande potenza assimilabili alle gru attuali, composti da

75. PARSONS, 1939; UCCELLI, 1944; ROSSI, 1962.

76. BELLUZZI ET AL., 2017; BORSI, 1985, 317.

77. FONTANA, 1694, III, V, 127.

78. ALBERTI, [1485] 1966, II, VI, VII-VIII.

79. ASTRUA, 1927/1979.

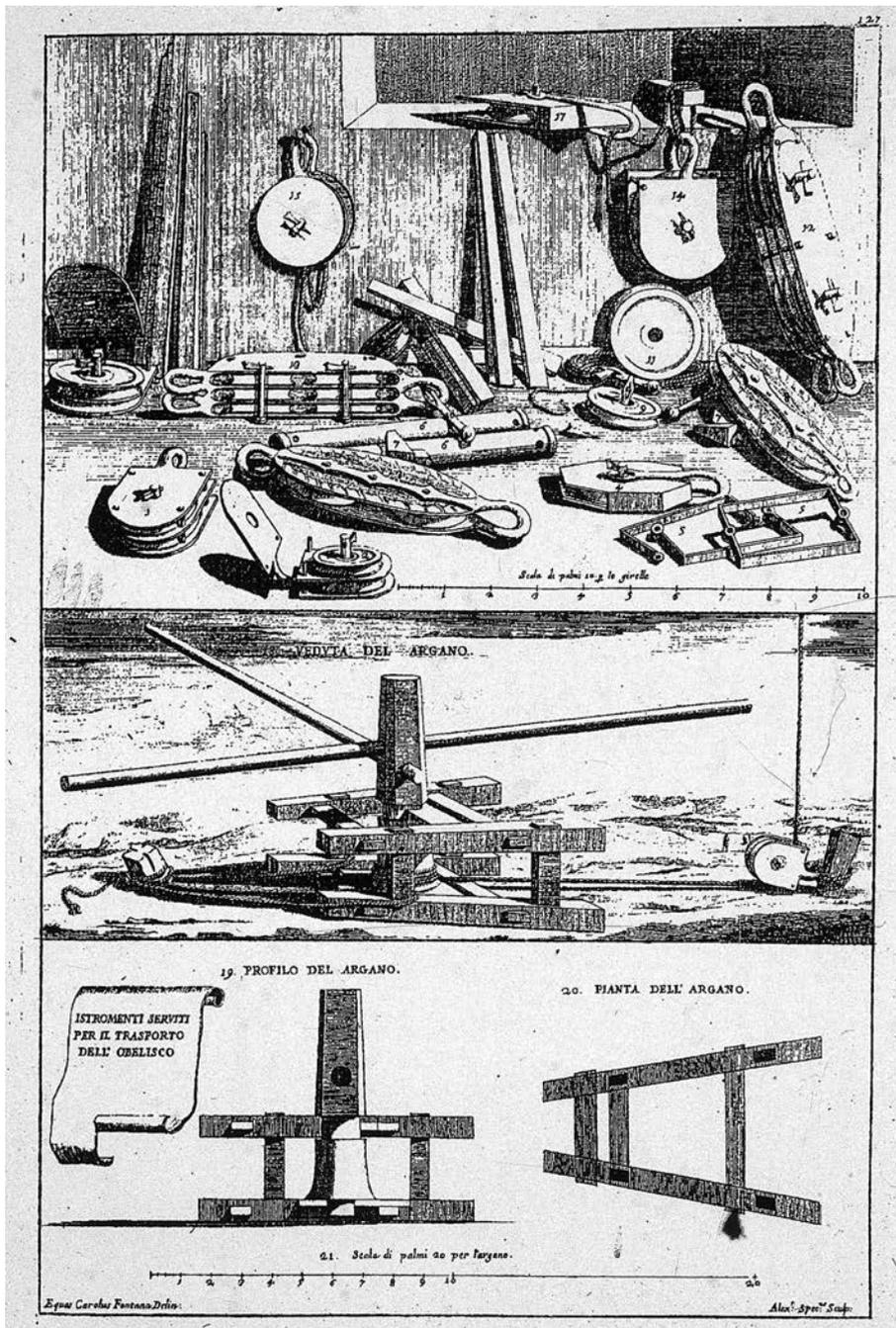


Fig. 9. Alessandro Specchi, attrezzature impiegate per il trasporto dell'obelisco Vaticano e raffigurazione di un argano a quattro braccia, da FONTANA, 1694, libro III, cap. V, p. 127.

robuste travi lignee e impalcati per il supporto di tragle e pulegge, a loro volta collegate ad argani e verricelli. Per operazioni di natura straordinaria, quali la movimentazione di obelischi e grandi monoliti, furono invece impiegate poderose impalcature lignee, i cosiddetti “castelli”, sostegno robusto per paranchi, argani e verricelli. La *capra* fu la macchina usata con più assiduità nei cantieri di tutte le epoche. Il tipo più semplice, definita *chiusa* o *serrata*, è assimilabile a un impalcato ligneo piramidale, formato da tre lunghe travi rettilinee, due delle quali chiamate “gambe” e la terza “piede”, connesse in sommità da legature di canapi rinforzate da cinti metallici a formare una sorta di robusto treppiede, al cui vertice era appesa la traglia fissa del paranco azionato da un verricello. Più articolata era invece la versione definita *capra aperta*, sia nel tipo semplice, una sorta di grande cavalletto ligneo, sia nella versione adatta a “collocare le statue nelle nicchie”; quest’ultima si contraddistingue per la sezione di testata rinforzata da mozzature lignee diagonali necessarie a contrastare le oscillazioni indotte dal carico. In generale, una capra aperta si componeva di quattro *piedi*, o *gambe*, e di una traversa superiore; i primi sostenevano sia il peso proprio della macchina, sia quello del carico applicato, differenziandosi nella misura dei componenti, più lunghi e con funzione di sostegno i posteriori, più corti e con sezione terminale ingrossata per sorreggere la traversa superiore quelli anteriori. I piedi erano stabilizzati con funi, oppure fissati a picchetti infissi nel terreno. La posizione verticale era assicurata da *puntelli*, o *code*, assimilabili a saettoni, e dal *coperchio*, traversa orizzontale di chiusura, fissata a incastro e rinforzata da *staffe*. La base della capra era rinsaldata da una seconda traversa orizzontale collocata al piede delle *gambe* (figg. 10a-10b).

Nell’ottavo libro dell’*Idea dell’Architettura Universale*, Vincenzo Scamozzi informa che la capra chiusa in uso presso gli antichi veniva armata “con legni, e minori, e maggiori; e si ordiva la fune con tre girelle, ò con 4, à con 6 ò semplici, ò doppie, e si usava il molinello [verricello], ò in sua vece si metteva un fuso con la ruota, e con l’argana, e stanghe, ò pure addopravano una ruota viatica”⁸⁰. Le capre consentivano di eseguire gran parte delle operazioni ordinarie, dal sollevamento di capitelli, colonne e statue, alla movimentazione di grandi blocchi di materiale lapideo e perfino di obelischi “fracti”. Il loro uso permase a lungo nel cantiere edilizio romano, documentato dalla manualistica otto e novecentesca e perfino dai repertori fotografici degli anni Trenta e Quaranta del XX secolo⁸¹.

80. La “ruota viatica” è la ruota calcatoria, “mossa dal camminar per dentro de gli huomini, e questo secondo la importanza del peso che si doveva elevare ad alto” (SCAMOZZI, 1615, parte seconda, VIII, XVIII, 331).

81. PORETTI E CASCIATO, 2002.

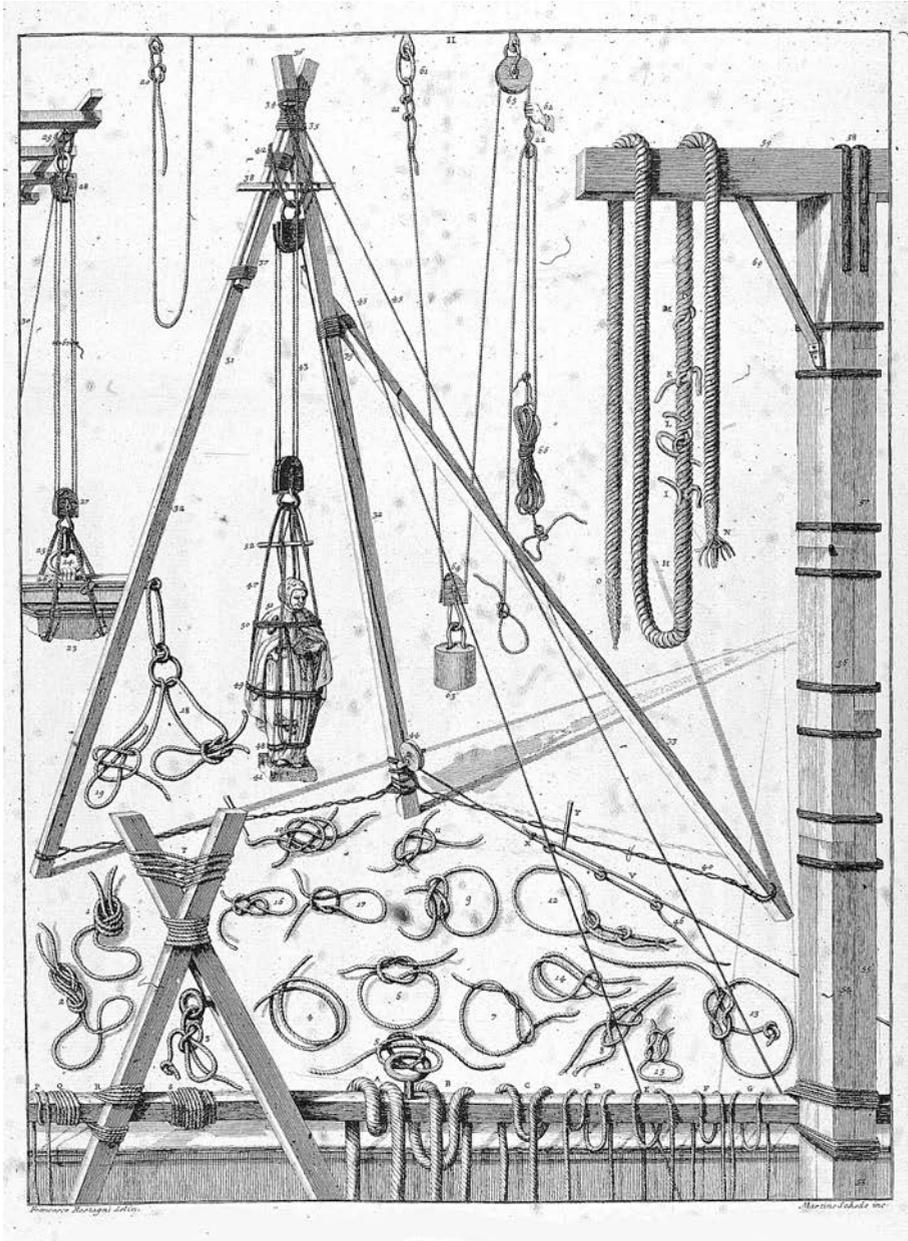


Fig. 10a. Capra chiusa e paranco. In basso, rassegna dei canapi e delle annodature; a destra, falcone montato su candela (da Castelli e ponti, 1743, tav. II).

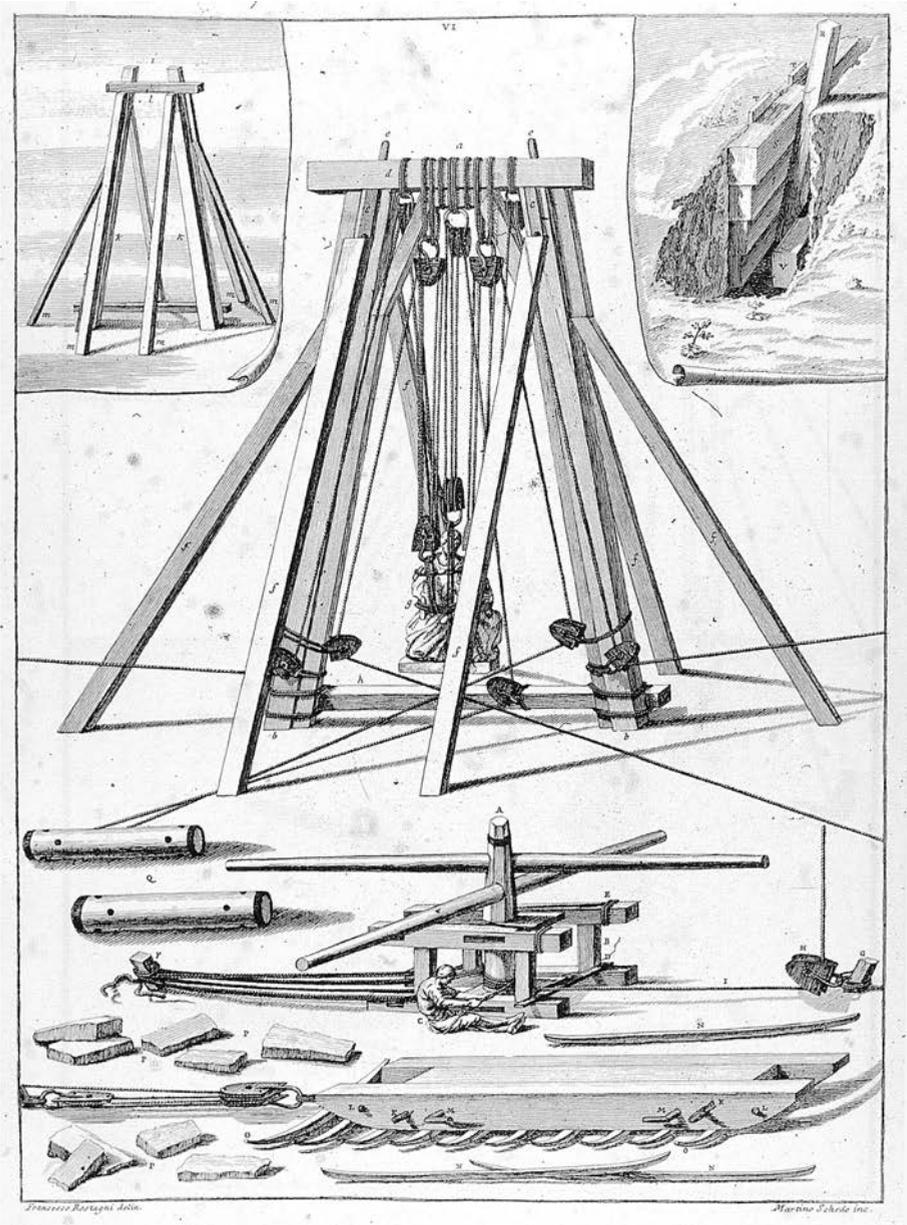


Fig. 10b. Capra aperta. In basso, argano, curli e strascino [da Castelli e ponti, 1743, tav. VI].

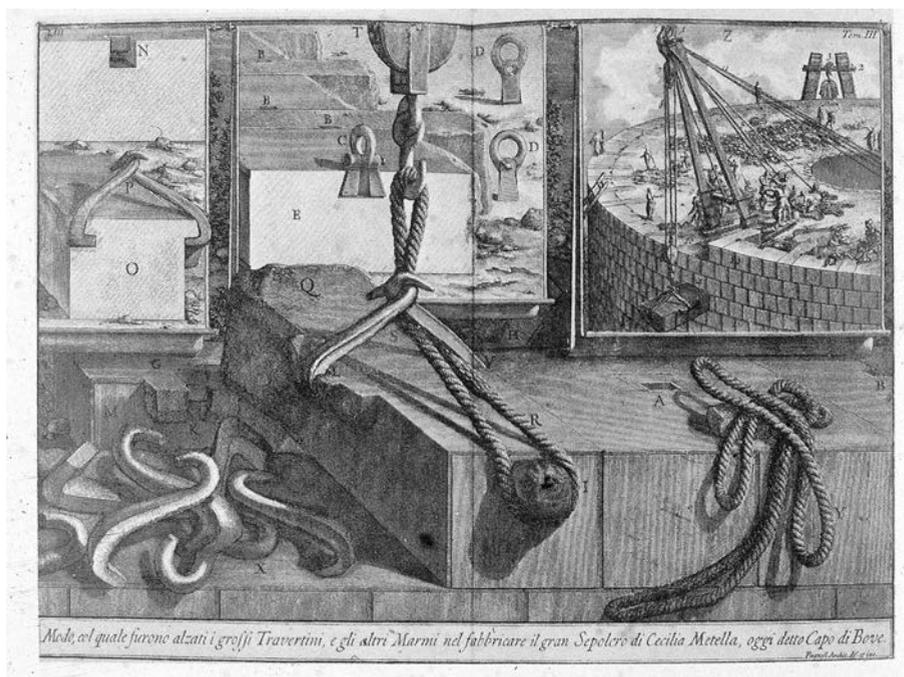


Fig. 11. Modo col quale furono alzati i grossi Travertini e gli altri Marmi nel fabbricare il gran Sepolcro di Cecilia Metella, oggi detto Campo di Bove (da PIRANESI, 1756, tav. III). Oltre alla biga, sono visibili le ulivelle e le poste lasciate nei blocchi lapidei per l'aggancio dei canapi.

Analogamente ereditata dall'antico e diffusamente impiegata nei cantieri quattrocenteschi, un'altra potente macchina da sollevamento, la *biga*, era invece costituita da due lunghi sostegni verticali, serrati in sommità da "vincigli" (legature) di funi a formare un angolo di 30° - 40°. Una traversa lignea sosteneva la traglia fissa del paranco. Usata nei cantieri navali –anche dell'antichità– per inalberare i bastimenti, e nei cantieri edili per il sollevamento di grandi conci lapidei ad altezze considerevoli, la biga poteva raggiungere i 40 metri di altezza e, soprattutto, poteva essere facilmente montata in posizione inclinata a qualsiasi quota per superare qualsiasi ostacoli o disallineamenti murari in fase di manovra. La biga fu puntualmente descritta, nei componenti e nel meccanismo elevatore, da Giovan Battista Piranesi (1720-1778), nella sua illustrazione del "Modo, col quale furono alzati i grossi travertini, e gli altri marmi nel fabbricare il gran sepolcro di Cecilia Metella oggi detto Capo di Bove" nel *Castrum Caetani* (fig. 11):

La «macchina, mediante la quale alzavansi li grossi Macigni [era composta da] due Travi proporzionate ai pesi, che doveansi alzare, piantate a piramide,

e mobili sopra un Piano di grossi tavoloni di legno, concatenati insieme a foggia di telaro; legate da capo da un Perno di ferro, al quale raccomandavasi la Taglia. Fermato il Piano de' suddetti tavoloni, o sia Piede della Macchina ad alcuni Travertini, piantati qua, e là nel masso, per legare i corsi delle Scaglie; e data alle Travi sufficiente pendenza, e sporto fuori del Muro, sicché possano comodamente ricevere il Sasso, colle Funi assicuravansi. Alzato il Sasso col mezzo della Fune, delle Taglie e del Mulinello, fino al piano, tiravasi mediante le Funi, le Travi per il capo indietro tanto, quanto il Sasso potesse posare sul detto Piano, ove usate le predette diligenze di farlo ben connettere univasi agli altri Sassi del Corso. Da ciò può dedursi, che gli Antichi sopra ogni cosa studiassero la facilità d'innalzare simili enormi Macigni, per costruire Fabbriche corrispondenti alle loro grandi idee, e di perpetua durabilità, lasciandole talvolta rozze, e senza Ornamento In vero molte se ne veggono di tal fatta, ma sì massiccie, e sode, che sembrano fatte più dalla Natura, che dall'Arte⁸².

In condizioni particolarmente sfavorevoli si ricorreva all'uso combinato di bighe e capre serrate, che consentivano di rimuovere o porre in opera elementi lapidei, anche di una certa consistenza, a quote elevate e senza l'ausilio di strutture provvisori⁸³. La manualistica ottocentesca accomunò capre, bighe e antenne sotto la denominazione generica di "gru", pur esistendo tra loro una sostanziale differenza: nelle prime il peso veniva sollevato all'interno della macchina con disposizione baricentrica del tiro, mentre nella moderna *gru*, assimilabile all'antenna, il peso saliva in posizione eccentrica lungo la verticale passante al di fuori della base di appoggio⁸⁴. L'ampia diffusione di queste macchine e il loro reiterato impiego, documentato fino ai primi decenni del Novecento, si devono alla provata efficacia, ma anche alla collaudata rapidità di montaggio e smontaggio⁸⁵.

Tra le macchine da sollevamento più potenti in dotazione del cantiere antico e moderno la più diffusa e versatile fu senza dubbio l'*antenna*. Era costituita da un lungo fusto verticale, prodotto dall'intersatura di travi di castagno ben pulite e riquadrate, montato su una piattaforma appoggiato al suolo, oppure

82. PIRANESI, 1756/1848, III, 53, 166.

83. La capra poteva essere installata direttamente sui ponteggi di servizio, mentre la biga era necessariamente fissata al suolo e controventata per contrastarne le oscillazioni in fase di esercizio. Le due macchine erano azionate da argani collegati ai paranchi; un terzo argano garantiva la corretta tensione della fune legata alla sommità della biga e la sua giusta inclinazione. Il carico, per solito un grande concio lapideo o un capitello, veniva collegato alla traglia mobile della biga, sollevato dall'argano

corrispondente e quindi trasferito alla traglia collegata alla capra. L'azionamento combinato dei tre argani e la controllata inclinazione della biga rendevano possibile la corretta posa in opera dell'elemento costruttivo (SACCHI, 1879, II, 501).

84. DONGHI, 1925, 231.

85. "Occorrendo di lasciarle armate anco di notte, innanzi di adoperarle fa di mestieri di avere la precauzione di esaminare lo stato dei venti e di stirarli allora che si fossero rilasciati" (SACCHI, 1879, II, 500).

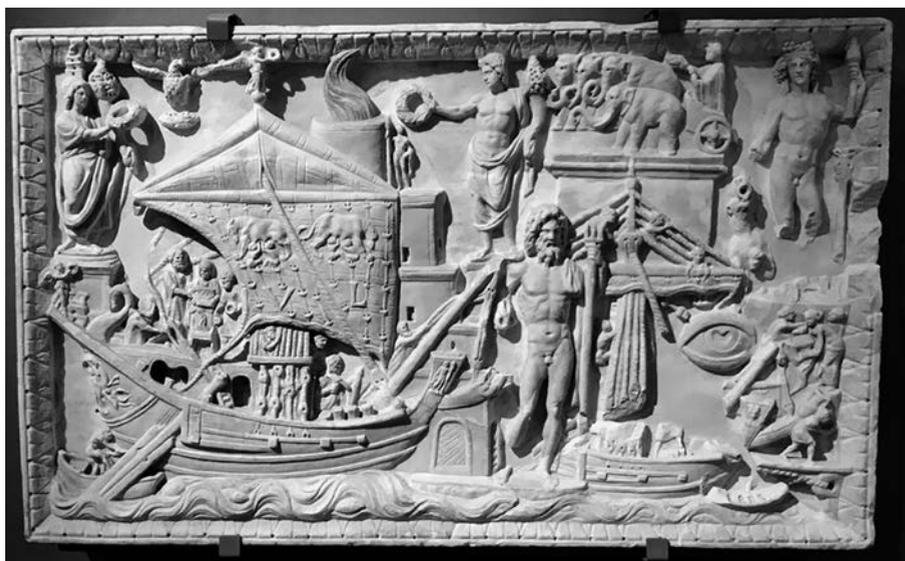


Fig. 12a. Roma, Museo Torlonia. Bassorilievo del Portus Augusti (Ostia), III sec. d.C. Si scorge un'antenna armata con otto funi, agganciate al braccio mediante *sphendônai* e passanti attraverso le *scapulae* delle carrucole (*pentaspaston*), sulle cui superfici esterne si contano i due assi di rotazione del *trochilos* e il fermo dell'estremità della corda.

parzialmente interrato⁸⁶. All'estremità superiore, libera oppure munita di una corta traversa detta *falcone*, era agganciato un robusto paranco con tragle in ferro a più mute di girelle, che ne moltiplicavano l'efficacia di esercizio. La forza motrice necessaria all'azionamento dell'antenna –di tipo muscolare almeno fino all'introduzione dell'alimentazione a vapore– era generata da un argano collegato al paranco. Una puleggia fissata al piede della macchina garantiva il corretto rinvio del canapo di manovra all'argano (*figg. 12a-12b*). Talvolta, specie in età antica, in luogo dell'argano veniva impiegata la ruota calcatoria, di maggior potenza, seppur di impegnativo ingombro, come documentato dall'iconografia pittorica rinascimentale e barocca. *La Grande Torre di Babele*, opera di Pieter Bruegel (1525-1569) del 1563, può essere considerata un efficace compendio pittorico del sapere tecnico del tempo, sintetizzato dalla rappresentazione di innumerevoli dettagli tecnico-costruttivi. Analoga dettagliata testimonianza è rintracciabile nella sinagoga di Huqoq, in Israele, di V sec. d.C., nel cui mosaico pavimentale, nella porzione dedicata alla costruzione della Torre di Babele, è raffigurato un cantiere edile con tanto di antenna per il sollevamento di grandi blocchi lapidei, strumenti e macchine da lavoro (*fig. 13a-13b*). Un'altra testimonianza sull'uso dell'antenna mobile è fornita dal dipinto eseguito sulla

⁸⁶. *Ivi*, 499.

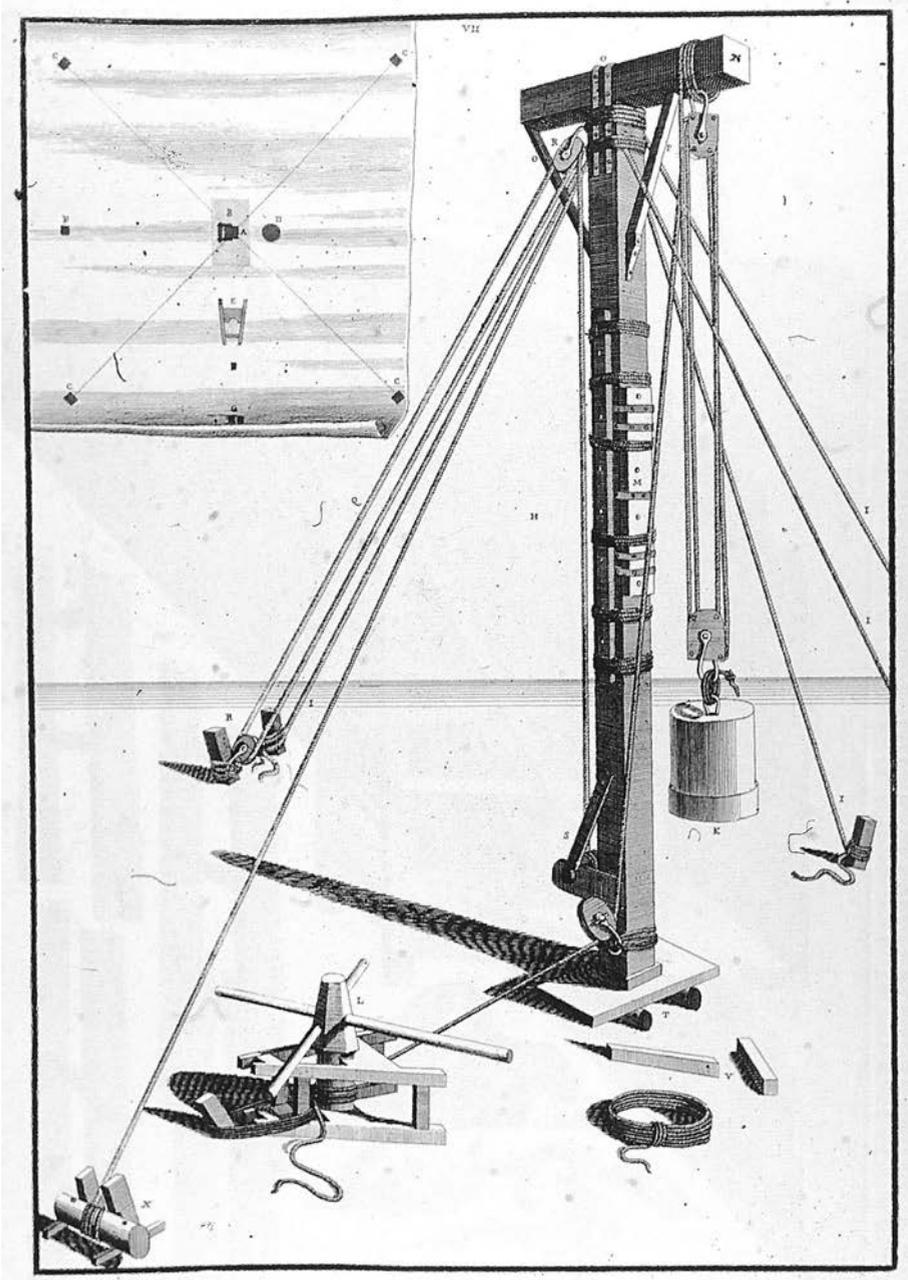


Fig. 12b. Antenna mobile su curli, munita di falcone, ventole e organo (da *Castelli e ponti*, 1743, tav. VII).

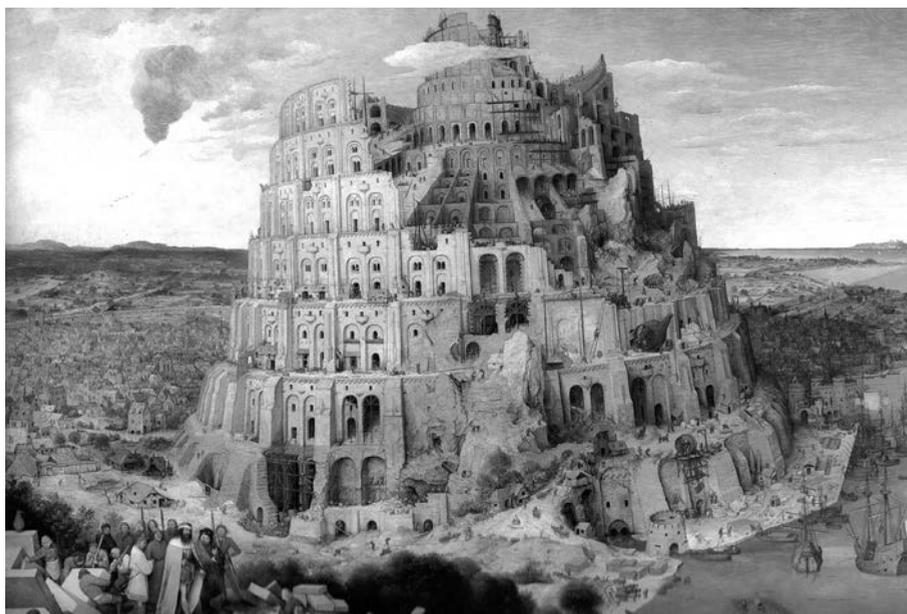


Fig. 13a. Pieter Bruegel il Vecchio, *La grande torre di Babele*, 1563 (da SEIPEL, 1997, 59).

spalliera di un arredo fiorentino dell'epoca di Cosimo de' Medici, databile agli anni 1515-1520. Nel cantiere ideale qui raffigurato, interpretato da Lamberini come espressione umanistica dell'*ars aedificatoria*, compare un'antenna controventata, con terminazione a doppia mensola, azionata da una ruota calcatoria e fissata su una base, forse lignea, assimilabile a un carrello munito di quattro piccole ruote piene⁸⁷.

Il poderoso fusto dell'antenna, che poteva raggiungere altezze considerevoli e pertanto veniva interrato per un buon tratto al fine di mantenerne la posizione verticale, era controllato e stabilizzato da tre o quattro "ventoloni", funi di grande spessore disposte radialmente e ancorate a "passoni" infissi nel terreno, che bloccavano la macchina in posizione verticale o inclinata, garantendone la stabilità in fase di esercizio. Anche l'antenna moderna fu ereditata dalla *machinatio* antica e in particolare dal *dicolos* greco, macchina di grandi dimensioni capace di movimentare carichi consistenti. Tali apparecchiature furono oggetto di un lento processo ideativo e realizzativo, che ebbe origine nei porti delle *poleis* greche, ove già dal periodo arcaico furono realizzate attrezzature (*géranoi*), capaci di sollevare pesi fino a 5-6 quintali. Vitruvio definisce la gru come *Polyspastos*, alludendo alla caratteristica di questo dispositivo di moltiplicare

87. LAMBERINI, 1994b.

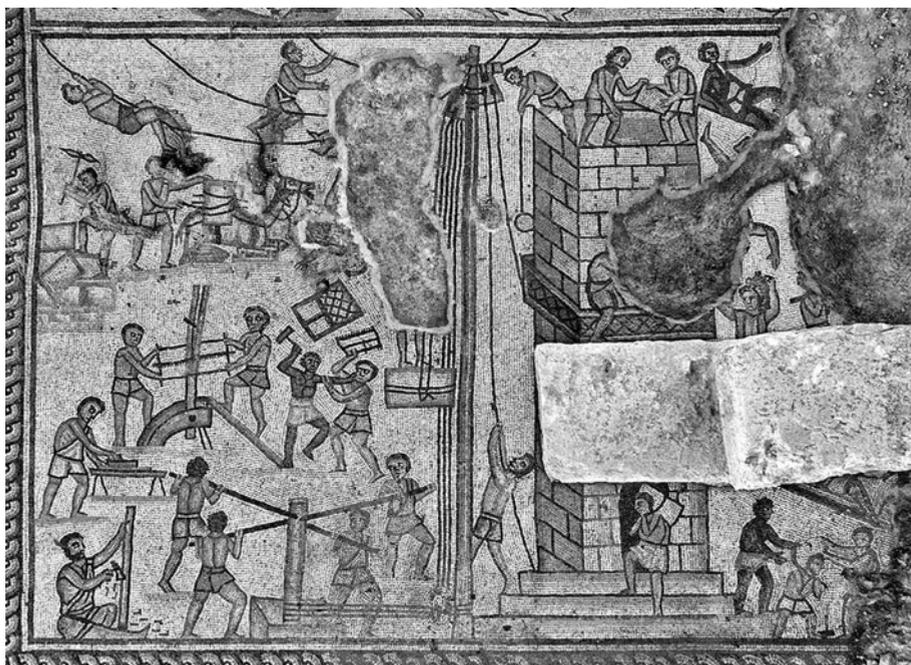


Fig. 13b. Opera musiva nella sinagoga di Huqoq, Israele, V sec. d.C. Nel cantiere edile raffigurato, forse riferito alla costruzione della Torre di Babele, si scorgono un'antenna per il sollevamento di grandi blocchi lapidei, strumenti e macchine da lavoro, quali argani, seghe da legno, mazzuoli e scalpelli (<https://ilfattostorico.com/2018/12/13/mosaici-biblici-nella-sinagoga-di-huqoq/>)

la forza motrice dell'argano o del verricello ad esso collegato⁸⁸. L'antenna usata nei cantieri edili era affine al dispositivo meccanico usato per inalberare i vascelli, vale a dire a "quell'abete lungo fino a quaranta metri, semplice o composto, che messo obliquo a lato dell'albero serve a portare la vela latina [...]. Le antenne degli antichi prendevano il nome distinto dagli alberi e dicevasi antenna di maestra, e antenna di trinchetto. L'Antenna moderna si attrezza con il paranco"⁸⁹. Per garantire la stabilità delle antenne, Vitruvio consigliava di "cavare una fossa quadrata molto a fondo", nella quale adagiare una trave di legno robusto e fissare le estremità della "fune che esce dal suolo"⁹⁰. Per maggior sicurezza, "sopra questo tronco sono attraversati de gli altri pezzi [di legno] sopra i quali si calca la terra, et così teniranno bene"⁹¹. L'espedito è ricordato anche da Leon Battista Alberti (1404-1472) che, pur non trattando il tema delle

88. Gru lignea munita di paranco triplo, armata con tragle a tre ordini di girelle, ognuna delle quali era investita dai relativi canapi, per un totale di ben 18 pulegge (MARTINES, 1999, 261).

89. GUGLIELMOTTI, 1889, *ad vocem*.

90. VITRUVIO (1556/1987), X, III, 448.

91. PORTOGHESI, 1978, XXXIV.

macchine in un capitolo specifico del *De Re Aedificatoria* (1485), ripropose gli insegnamenti vitruviani suggerendo di bagnare a più riprese la terra che colma lo scavo così da renderla più pesante⁹². Successivamente, Giovanni Antonio Rusconi, nella sua epitome del trattato vitruviano intitolata *Dell'Architettura* e pubblicata nel 1590, fissò graficamente il “modo di issare una capra” mediante un verrocchio collocato al piede della macchina⁹³. La filiazione delle macchine da cantiere dalla meccanica navale è evidente già alla metà del Cinquecento, come mostrano le macchine per “scaricare navigli” illustrate da Besson alle tavole 36 e 38 del *Theatrum instrumentorum et machinarum*⁹⁴ e da Scamozzi, che descrive l'antenna come “un albero di molti legni incalmati l'un nell'altro, e di altezza proporzionata all'edificio, e di grossezza convenevole, e ben cinto, e fortificato all'intorno, e governato dalle sarti affermate quà e là: alla sommità del quale attaccavano una gran taglia, e l'altra à basso, haveva la tanaglia, ò ganzo, che teniva il peso”⁹⁵.

Prove del reiterato impiego dell'antenna in area romana sono rintracciabili nei resoconti esecutivi della Fabbrica di San Pietro in Vaticano, che danno conto di antenne di grandi dimensioni utilizzate per la costruzione della cappella del Re, nel transetto sinistro (1577), per il montaggio del rivestimento in piombo delle costole della cupola grande (1605)⁹⁶, per l'esecuzione della prolunga della navata maderniana -ove furono impiegate diverse antenne di quercia, armate con argani, tragle e canapi⁹⁷, oltre che per l'edificazione della facciata (1612), per la quale è documentata la “portatura e drizzatura” sul sagrato della Basilica di tre grandi antenne in grado di sollevare i pesanti blocchi di travertino che ne rivestono la superficie⁹⁸. Per la costruzione del portico beniniano di piazza San Pietro (1656-1671), inoltre, furono sperimentate con successo e impiegate antenne mobili che, trasferite alternativamente nei diversi settori del cantiere, consentirono una più rapida ed economica posa in opera degli enormi rocchi delle 284 colonne di travertino⁹⁹. Secondo quanto riferito da Baldinucci, si deve a Luigi Bernini, allora soprintendente alle fabbriche dei Palazzi Apostolici, l'invenzione della macchina, “per avanti non più veduta, né usata”, con la quale “furono messe in opra tutte le pietre dei colonnati, e portico di San Pietro”¹⁰⁰. Si trattava di un dispositivo mobile, composto dalla combinazione di tre antenne alte 70 palmi (circa 15,5 m), ognuna delle quali portava due tragle di ferro,

92. ALBERTI, (1485/1966), VI, VIII, 490.

93. RUSCONI, 1590, X, 135; PORTOGHESI, 1965, 78.

94. BESSON, 1578, tavv. XXXVI-XXXVIII.

95. SCAMOZZI, 1615, II, libro VIII, XVIII, 331.

96. AFSP, arm. 26, A, 178, c. 27r, *Entrate e uscite della Fabbrica di San Pietro (1605-1606)*.

97. ORBAAN, 1919, 38.

98. ORBAAN, 1919, 107.

99. VILLANI, 2016; D'AMELIO, 2008; DEL PESCO, 1988; BRAUER E WITTKOWER, 1931.

100. BALDINUCCI, 1682, 153.

“di sei palmi e mezzo d'altezza (circa 1,5 m) e d'un sol pezzo”, a sei girelle di metallo, tre per un verso e tre per un altro a quello contrario”¹⁰¹. Tuttavia, dal *Diario dei lavori dei Portici circolari*, documento prezioso che informa puntualmente sulla cronometrica organizzazione del cantiere (redatto tra il 1659 e il 1662), sembra che il congegno meccanico descritto da Baldinucci sia interpretabile non tanto come un unico dispositivo, quanto piuttosto come l'uso congiunto e sincronico di tre diverse grandi antenne, di cui si dà puntuale descrizione¹⁰². Tali macchine –impiegate anche per l'installazione delle statue di coronamento¹⁰³– erano montate su piattaforme trasportabili e le ventole servivano sia a stabilizzarle in fase di esercizio, sia a inclinarle in modo da avvicinare il più possibile i rocchi all'asse della colonna¹⁰⁴. Per l'installazione dei capitelli sulla facciata d'ingresso verso Borgo, invece, si rese necessaria la costruzione di un “ponte di legni grossi per poterci andare sopra con li Castelli”, vale a dire di un ponteggio robusto sul quale montare biga e verricello¹⁰⁵.

La consuetudine all'uso dell'antenna è attestata anche nelle fabbriche private, favorita dalla notevole contrazione dei tempi di esecuzione. La garanzia offerta dal collaudo nella Fabbrica di San Pietro indusse infatti i cantieri privati ad avvalersi delle antenne mediante la diffusa pratica del noleggio¹⁰⁶; tra gli altri, documentano tale prassi i resoconti esecutivi della chiesa di Sant'Agnese in Agone (1652-1658), relativi in particolare agli anni in cui don Camillo Pamphilj, esautorando Carlo Rainaldi, incaricò Francesco Borromini della direzione dei lavori (1654-1658)¹⁰⁷. Datano a questo periodo le ricevute di nolo di diversi strumenti da sollevamento di proprietà della Fabbrica petriana, tra i quali 166 staffe e ulivelle di ferro, una burbera da montare sul ponteggio della cupola, 12 curli di diversa dimensione cerchiati in ferro e ancora traglie, pulegge, girelle di metallo, ma anche attrezzi da lavoro come archipendoli, squadre, regoli, zappe, carriole, funi per legare i ponteggi, una stadera e alcune ventole¹⁰⁸. Nella distinta della fornitura si distingue il noleggio di due imponenti antenne di abete, alte rispettivamente 29 e 28 metri, con una sezione al piede di circa 45 cm. La prima, gravemente danneggiata dall'uso, non poté essere riutilizzata dalla Fabbrica, che pertanto ne richiese il pagamento a prezzo intero, stimato con altri ferramenti resi inutilizzabili in 195 scudi¹⁰⁹. Si tratta di due imponenti macchine da sollevamento, allagate rispettivamente su via dell'Anima e di fronte alla facciata

101. *Ibidem*.

102. AFSP, arm. 17, E, 29.

103. MARCONI, 2015A.

104. *Ivi*, cc. 3-4 e c. 9.

105. *Ivi*, c. 17, 26 settembre 1659.

106. MARCONI, 2004, 30-37.

107. D'AMELIO E MARCONI, 2000; RASPE, 1996; EIMER, 1970; MONTALTO, 1957.

108. AFSP, arm. 26, E, 606, *Libro dove si notano tutte le Robe che si prestano dalla Reverenda Fabbrica di San Pietro (1650-1685)*, cc. 3v, 5r, 6r - 6v.

109. AFSP, arm.7, F, c. 466.

sulla piazza, simili ai prototipi in uso a San Pietro raffigurati da Nicodemus Tessin il Giovane (1654-1728) nella seconda metà del Seicento in occasione del suo viaggio a Roma¹¹⁰ (fig. 14). Tali dispositivi rimasero in uso fino a tutto l'Ottocento, modificati nei materiali, ma non nel principio funzionale. Le raffigurazioni di gru girevoli e gru a "portale con avambecco", prodotte dalla manualistica otto e novecentesca, ricalcano i prototipi precedenti, a meno della sostituzione dei componenti lignei con quelli metallici e l'azionamento con motori elettrici¹¹¹. Nella prima età moderna, dunque, la conoscenza tecnica a servizio del cantiere edile, pratica e teorica, fu oggetto di un graduale ma significativo processo di riorganizzazione e perfezionamento. Le prime formulazioni della legge della leva stimolarono un'ampia discussione sulla meccanica teorica e sul ruolo delle discipline pratico-matematiche in relazione alla filosofia naturale. Tale processo contribuì alla definizione della fondamentale questione metafisica sul valore gnoseologico dell'approccio matematico alla comprensione della natura, con conseguente processo di appropriazione e trasformazione del sapere antico in Occidente¹¹². Eppure, la concreta immediatezza del processo costruttivo, la dimensione e la scala delle grandi imprese edilizie di XV-XVIII secolo necessitarono di riferimenti e competenze operative certe e affidabili. Quanto effettivamente necessario e selettivamente richiesto dalle necessità operative della pratica edilizia moderna fu individuato nell'autorevole insegnamento dell'antica pratica del costruire, la quale, costantemente indagata, sperimentata e implementata, poté lambire le soglie del contemporaneo, ribadendo la sua millenaria efficacia.

110. I disegni di Tessin sono una preziosa testimonianza dei dispositivi meccanici in dotazione alla Fabbrica di San Pietro e al cantiere edile romano in generale, tra le quali si distinguono l'argano a due braccia, manovrato da un uomo e da un cavallo, e l'antenna inclinabile (Stockholm,

Nationalmuseum, THC 581 e 2499). Cfr. MAGNUSSON, 1999A e 1999B; OLIN, 2014.

111. ZAGNOLI, 1962, 157; BARTOLINI CESTARI, 1990.

112. VALLERIANI 2017; VALLERIANI, 2014; DURAND, 2012.

Bibliografia

- ADAM, J. P. (1988): *L'arte di costruire presso i Romani. Materiali e tecniche*, Milano.
- ALBERTI, L. B. (1485/1966): *L'Architettura - De Re Aedificatoria [1485]*, Ed. a cura di Orlandi, G. e Portoghesi, P., Milano.
- ASTRIA, G. (1927/1979): *Manuale completo del capomastro assistente edile*, Milano.
- BALDINUCCI, F. (1682): *Vita di Bernini*, Firenze.
- BARTOLINI CESTARI, C. (1990): "L'introduzione dei materiali metallici nelle macchine da sollevamento ottocentesche: la forma nella innovazione tecnologica. Problemi di conservazione", in, Casciato, M., Mornati, S., Scavizzi, C. P. (a cura di), *Il modo di costruire*, Roma, 267-278.
- BELLI, G. (2008): *Notes sur le transport et le soulèvement des colonnes dans l'architecture des XVe et XVIe siècles*, in *La colonne*, a cura di R. Gargiani, Lausanne, 90-115.
- BELLUZZI, A., ELAM, C. E. FIORE, F. P. (a cura di) (2017): *Giuliano da Sangallo*, Milano.
- BENVENUTO, E. (1981): *La scienza delle costruzioni nel suo sviluppo storico*, Firenze.
- BESSON, J. (1578/2001): BESSON, *Theatrum instrumentorum et machinarum*, Lione (ed. a cura di Sonnino, M., Roma, 2001).
- BESSONE, M.A. (1935): *I marmorari romani*, Milano.
- BIRAL, A. E MORACHELLO, P. (1985): *Immagini dell'ingegnere tra Quattro e Settecento*, Milano.
- BORSI, S. (1985): *Giuliano da Sangallo. I disegni di architettura e dell'antico*, Roma.
- BRANCA, G. (1629): *Le Machine*, Roma.
- BRAUER, H. E WITKOWER, R. (1931): *Die Zeichnungen des Gianlorenzo Bernini*, Berlin.
- CANALI, F. (1999): "Per un primo "corpus" di testi di teoria architettonica nell'età antica: Vitruvio Pollione, "Erone Alessandrino", Epafrodito e Vitruvio Rufo: alcuni passi sulle correzioni ottiche e sulle tecniche costruttive antiche (colonne, pilastri e strutture spingenti) tra I sec. a. C. e V sec. a. C.. in *Quaderni di storia dell'architettura e restauro*, 22, 85-103.
- CARRA DE VAUX, B. (1988): *Les Mécaniques de Héron d'Alexandrie*, Paris.
- CASTELLI E PONTI, (1743): *Castelli e ponti di maestro Niccola Zabaglia con alcune ingegnose pratiche e con la descrizione del trasporto dell'Obelisco Vaticano e di altri del Cavalier Domenico Fontana*, Roma.
- CESARIANO, C. (1521/1969): *De Architectura. Translato commentato et affigurato da Cesare Cesariano*, Como/ Monaco.
- CHOISY, A. (1873): *L'art de bâtir chez les Romains*, Paris.
- CIAGGETT, M. (1972): *La scienza della meccanica nel Medioevo*, Milano.
- CUPELLONI, L. (1996): *Antichi cantieri moderni. Concezione, sapere tecnico, costruzione da Iktimos a Brunelleschi*, Roma.
- D'AMELIO, M. G. (2008): "Il bello, il proprio, il necessario" nel colonnato di San Pietro a Roma: architettura, economia, cantiere", in *Mélanges de l'École Française de Rome. Italie et Méditerranée*, 119, 2, 375-385.
- D'AMELIO M. G. E MARCONI, N. (2000): *Macchine, apparati e cantieri nella fabbrica borrominiana di Sant'Agnese in Agone a Roma*, in Frommel, C.L. e Sladek E. (a cura di), *Francesco Borromini*, Milano, 406-418.
- DE MONTUZAN, G. (1908): *Essai sur l'art et la science de l'ingénieur romain*, Paris.
- DEL MONTE, G. (1577): *Mechanicorum Liber*, Pesaro.
- DEL PESCO, D. (1988): *Colonnato di San Pietro: dei Portici antichi e la loro diversità, con un'ipotesi di cronologia*, Roma.
- DI PASQUALE, G. (2004): *Tecnologia e meccanica. Trasmissione dei saperi tecnici dall'età ellenistica al mondo romano*, Firenze.
- DI PASQUALE, G. (2008): *The drum lifting machine of Heron of Alexandria*, in *La colonne*, a cura di R. Gargiani. Lausanne, 32-41.
- DI PASQUALE, S. (1987): *Leonardo, Brunelleschi and the Machinery of the Construction Site*, in *Leonardo da Vinci: Engineer and Architect*, Montreal. 163-181.
- DI PASQUALE, S. (1996): *L'arte del costruire tra conoscenza e scienza*, Venezia.
- DONGHI, D. (1925): *Manuale dell'architetto*, Torino.
- DRACHMANN, A. G. (1963): *The Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity*, Copenhagen.
- DURAND A. (a cura di) (2012): *Des outils des machines et des hommes: études offertes à Georges Comet*, Aix-en-Provence.
- EIMER, G. (1970): *La fabbrica di S. Agnese in Navona*, Stockholm.
- FARRINGTON, B. (1978): *La scienza nell'antichità*, Milano.
- FERRIELLO, G., GATTO, M. E GATTO R. (2016): *The Baroukòs and the Mechanics of Heron*, Firenze.
- FIORE, F. P. (1978): *Città e macchine del '400 nei disegni di Francesco di Giorgio Martini*, Firenze.
- FIORE, F. P. (1993): *Francesco di Giorgio architetto*, Milano.
- FLEURY, P. (1993): *La mécanique de Vitruve*, Caen.
- FONTANA, C. (1694): *Templum Vaticanum et ipsius origo*, Roma.
- GALLUZZI, P. (a cura di) (1996): *Gli ingegneri del Rinascimento da Brunelleschi a Leonardo da Vinci*, Firenze.
- GIANGRASPO, P. (a cura di) (1982): *L'architettura delle macchine. Il Rinascimento*, Milano.
- GIARDINA, G. R. (2003): *Erone di Alessandria. le radici filosofico-matematiche della tecnologia applicata*, Catania.
- GILLE, B. (1978): *Histoire des techniques: techniques et civilisation, techniques et sciences*, Paris.
- GILLE, B. (1980): *Les mécaniciens grecs: la naissance de la technologie*, Paris.

- GIORGIONE, C. (2019): *Leonardo da Vinci. La scienza prima della scienza*, Napoli.
- GIUFFRÉ, A. (1986): *La meccanica nell'architettura*, Roma.
- GIULIANI F. C. (2019): *Lezioni sull'architettura antica*, Roma.
- GOMBRICH, E. H. (1971/2002): *Arte e progresso. Storia e influenza di un'idea*, Roma-Bari.
- GUGLIEMOTTI, A. (1889): *Vocabolario marino e militare*, Roma.
- GULLINI, G. (1990): "Ingegneria e artigianato industriale", in Pugliese Carratelli, G. (a cura di), *Magna Grecia. Arte e artigianato*, Milano.
- HODGES, H. (1970): *Technology in the Ancient World*, London.
- LAMBERINI, D. (1994a): "Costruzione e cantiere: le macchine", in Millon, H. e Magnago Lampugnani, V. (a cura di), *Rinascimento da Brunelleschi a Michelangelo*, Milano, 479-480.
- LAMBERINI, D. (1994b): "Macchine da cantiere nella Firenze del primo '500: l'eredità brunelleschiana tra "imitatio", reinvenzione e continuità tecnica", in Dezzi Bardeschi, M. (a cura di), *La difficile eredità: architettura a Firenze dalla Repubblica all'assedio*, Firenze, 106-121.
- LAMBERINI, D. (1995): "Dalle "pietre" di Rodolico alle macchine da cantiere. Nuovi indirizzi di ricerca, fonti storiche e documenti iconografici per la storia delle tecniche costruttive", in Lamberini, D. (a cura di), *Le pietre delle città d'Italia*, Firenze, 183-204.
- LAMBERINI, D. (1999): "All'ombra della cupola: tradizione e innovazione nei cantieri fiorentini quattro e cinquecenteschi", in *Annali di Architettura - CISA Andrea Palladio 10/11*, 276-287.
- LANCASTER, L. C. (2019): "La costruzione della Colonna Traiana", in Di Pasquale, G. (a cura di), *L'arte di costruire un capolavoro: la Colonna Traiana*, Firenze, 73-74.
- LANDELS, J. G. (1978): *Engineering in the ancient world*, Berkeley.
- LUGLI, G. (1957): *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*, Roma.
- MAGNUSSON, B. (1999a): "Nicodemus Tessin il giovane (1654 – 1728)", in Garms, J. (a cura di), *L'esperienza romana e laziale di architetti stranieri e le sue conseguenze*, Roma, 37-50.
- MAGNUSSON, B. (1999b): "Drawing on Rome: Nicodemus Tessin, Christina and the creation of a royal ambience", in Magnusson, B. (a cura di), *Cristina di Svezia e Roma*, Roma, 47-63.
- MALACRINO, C. (2010): *Ingegneria dei Greci e dei Romani*, Verona.
- MARCONI, N. (2004): *Edificando Roma barocca. Macchine, apparati, maestranze e cantieri tra XVI e XVIII secolo*, Città di Castello.
- MARCONI, N. (2006): "Tradition and technological innovation on Roman building sites from the 16th to the 18th century: construction machines, building practice and the diffusion of technical knowledge", in Schlimme, H. (a cura di), *Practice and Science in Early Modern Italian Building. Toward an Epistemic History of Architecture*, Milano, 137-152.
- MARCONI, N. (2007): "Carlo Maderno a San Pietro. Organizzazione e tecniche del cantiere per il completamento della Basilica Vaticana", in Mollisi G. (a cura di), *Swizzeri a Roma*, num. mon. "Arte e Storia a Roma", 35, Lugano, 88-107.
- MARCONI, N. (2008): "Per costruire o restaurare ideate: le Macchine e i Ponti di mastro Nicola Zabaglia", in Pergolizzi, A. M. (a cura di), *Magnificenze Vaticane. Tesori inediti dalla Fabbrica di San Pietro*, Roma, 154-177.
- MARCONI, N. (2009): "L'eredità tecnica di Domenico Fontana e la Fabbrica di San Pietro in Roma: tecnologie e procedure per la movimentazione dei grandi monoliti tra XVI e XIX secolo", in Fagiolo, M. e Bonaccorso, G. (a cura di), *Studi sui Fontana. Una dinastia di architetti ticinesi a Roma*, Roma, 45-56.
- MARCONI, N. (2010): "Genitor Urbis ad usum Fabricae: il trasporto fluviale dei materiali per l'edilizia nella Roma del Cinquecento", in Travaglini, C. e G. Bonaccorso, G., (a cura di), *Le acque e la città (XV-XVI secolo)*, Roma, 143-166.
- MARCONI, N. (2015a): *Castelli e Ponti. Apparati per il restauro nell'opera di mastro Nicola Zabaglia per la Fabbrica di San Pietro in Vaticano*, Foligno.
- MARCONI, N. (2015b): "La Fabbrica di San Pietro in Vaticano per l'edilizia di Roma tra XVII e XIX secolo. Officina, innovazione, divulgazione", in Sabatini, G. e Turriziani, S. (a cura di), *L'Archivio della Fabbrica di San Pietro come fonte per la storia di Roma*, Roma, 95-119.
- MARCONI, N. (2021): "Muro fatto di tevolozze": laterizi di reimpiego nei cantieri di Roma barocca", in Bukowiecki, E., Pizzo, A. e Volpe, R. (a cura di), *Demolire, riciclare, reinventare. La lunga vita e l'eredità del laterizio romano nella storia dell'architettura*, Roma, 65-75.
- MARTIN, R. (1965): *Matériaux et techniques*, Paris.
- MARTINES, G. (1999): "Macchine da cantiere per il sollevamento dei pesi nell'antichità, nel Medioevo, nei secoli XV e XVI", in *Annali di architettura del Centro Studi Andrea Palladio*, 10-11, 261-275.
- MARTINES, G., BRUNO M. E CONTI, C. (2016): "Lifting Blocks, 1th-5th Century AD: The inclined Plane", in De Laine, J., Camporeale, S., e Pizzo, A. (a cura di), *Arqueologia de la Construcción: Man-made materials, Engineering and Infrastructure*, a cura di, *Anejos de Archivo Español de Arqueología*, 77, 185-200.
- MICHELI, G. (1995): *Le origini del concetto di macchina*, Firenze.
- MILIZIA, F. (1785): *Memorie degli architetti antichi e moderni*, Bassano.
- MONTALTO, L. (1957): "Travertino e marmo per S. Agnese in Agone", in *Studi Romani*, 4, 401-414.
- OLIN, M. (2014): "An Italian architecture library under the polar star: Nicodemus Tessin the Younger's collection of books and prints", in *Art bulletin of Nationalmuseum Stockholm*, 20, 109-118.

- ORBAAN, J. A. F. (1919): *Der Abbruch Alt-Sankt-Peters (1605-1615)*, Berlin.
- ORLANDOS, A. K. (1968): *Les matériaux de construction et la technique architecturale dans anciens Grecs*, Paris.
- PARSONS, W. B. (1939): *Engineers and Engineering in the Renaissance*, Baltimore.
- PIGAFETTA, F. (1581): *Le Mechaniche dell'illustrissimo Signor Guido Ubaldo de' Marchesi del Monte*, Venezia.
- PIRANESI, G. B. (1756/1849): *Le antichità romane*, Paris. ed. 1849.
- PORETTI S. E CASCIATO M. (a cura di) (2002): *Il palazzo della Civiltà Italiana. Architettura e costruzione del Colosseo Quadrato*, Roma.
- PORTOGHESI, P. (1965): *Infanzia delle macchine*, Roma.
- PORTOGHESI, P. (1978): "Gli obelischi e le macchine nel Rinascimento", in Fontana. D., *Della Trasportatione dell'Obelisco Vaticano*, Portoghesi, P. e Carugo, A. (a cura di), Milano.
- PRAGER, F. D. E SCAGLIA, G. (1970): *Brunelleschi: Studies of his Technology and Inventions*, Cambridge.
- RAMELLI, A. (1588): *Le diverse et artificiose macchine*, Parigi.
- RASPE, M. (1996): "Borromini und Sant'Agnese in Piazza Navona. Von der päpstlichen Grablege zur Residenzkirche der Pampphili", in *Römisches Jahrbuch für Kunstgeschichte*, 31, 313-368.
- ROCCO, G. (2003): *Guida alla lettura degli ordini architettonici antichi. II. Lo ionico*, in *Guide di ricerca storica e restauro*, 4. Napoli.
- ROCKWELL, P. (1989): *Lavorare la pietra. Manuale per l'archeologo, lo storico dell'arte e il restauratore*, Roma.
- ROSSI, P. (1962): *I filosofi e le macchine (1400-1700)*, Milano.
- ROSSI, P. (2000): *La nascita della scienza moderna in Europa*, Roma- Bari.
- RUSCONI, G. A. (1590): *Dell'Architettura*, Venezia.
- SAALMAN, H. (1980): *Filippo Brunelleschi: The Cupola of Santa Maria del Fiore*, London.
- SACCHI, A. (1879): *L'Economia pratica del fabbricare*, Milano.
- SCAGLIA, G. (1961): "Drawings of Brunelleschi's Mechanical Inventions for the Construction of the Cupola", in *Marsyas*, X, 45-68.
- SCAGLIA, G. (1966): "Drawings for Machines for Architecture from the Early Quattrocento in Italy", in *Journal of the Society of Architectural Historians XXV*, 90-114.
- SCAMOZZI, V. (1615): *L'idea dell'Architettura Universale*, Vicenza.
- SEIPEL, W. (a cura di) (1997): *Pieter Bruegel il Vecchio al Kunsthistorisches Museum di Vienna*, Milano.
- SHAPIN, S. (2003): *La rivoluzione scientifica*, Torino.
- SPOSITO, A. (2008): *Tecnologia antica: storie di procedimenti, tecniche e artefatti*, Palermo.
- TACCOLA - DI JACOPO, M. (1427-1433/1969): *De Ingeniis ac edifiitiis non usitatis*. Firenze (ed. a cura di J. M. Beck. Milano. 1969).
- TRABUCCO, O. (2010): *L'opere stupende dell'arti più ingegnose: la recezione degli Pneumatika di Erone Alessandrino nella cultura italiana del Cinquecento*, Firenze.
- UCCELLI, A. (1944): *Storia della tecnica dal Medio Evo ai nostri giorni*, Milano.
- USHER A. P. (1993): "Macchine e meccanismi", in Singer, C. Holmyard, E. J. e Rupert Hall, A. (a cura di), *Storia della tecnologia*, Torino.
- USHER, A.P. (1954): *History of Mechanical Inventions*, Cambridge
- VALADIER, G. (1828-39): *L'Architettura pratica dettata nella Scuola e Cattedra dell'Insigne Accademia di San Luca*, Roma.
- VALLERIANI, M. (2014): "Appropriation and transformation of ancient science", in *Nuncius*, 29 (1), 1-8.
- VALLERIANI, M. (2017): *The Structures of Practical Knowledge*, Berlin.
- VILLANI, M. (2016): *Il Colonnato di piazza S. Pietro: opera che fra le antiche poche ne ha pari, fra le moderne nessuna*, Roma.
- VENTURI, A. (1917): "Affreschi nella delizia estense di Sassuolo", *L'Arte* 20. 65-98.
- VINCI, M. S., OTTATI, A. E GOROSTIDI PI D. (2020): *La cava e il monumento. Materiali, officine, sistemi di costruzione e produzione nei cantieri edili di età imperiale*, Roma.
- VITRUVIO (1556/1987): *I dieci libri dell'Architettura di Marco Vitruvio tradotti et commentati da monsignor Daniele Barbaro*, Venezia (ed. a cura di M. Tafuri e M. Morresi, Milano 1987).
- WALLACE, W. E. (2002): "Michelangelo Engineer", in Conforti, C. e Hopkins, A. (a cura di), *Architettura e tecnologia. Acque, tecniche e cantieri nell'architettura rinascimentale e barocca*, Roma. 97-107.
- WILLMANN, J. (1997): "Dal cuneo al mouse", in *Rassegna*, 69, 6-19.
- WITTKOWER, R. (1993): *La scultura raccontata da Rudolf Wittkower. Dall'antichità al Novecento*, Torino.
- WITTKOWER, R. (1996): *Tecnologie della lavorazione della pietra*, Venezia.
- ZAGNOLI, V. (1962): "Organizzazione del cantiere edile", in Pica A. e Pifferi, E. (a cura di), *Cento anni di edilizia 1862-1962*, Roma.
- ZONCA, V. (1607): *Novo teatro di machine et edificij per varie e sicure operazioni*, Padova.