

Ao8

354

Alessia Bianco

Machinatio

Per una storia della diagnostica
architettonica precontemporanea



Copyright © MMXI
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133/A-B
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-4289-2

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: settembre 2011

*A Mattia,
perpetuum mobile*

Questo lavoro, che non si correla all'attività di ricerca dottorale o da assegnista, contiene le risultanze di uno studio autonomo, la cui conduzione mi ha accompagnato per non poche albe degli ultimi tre anni.

Desidero ringraziare:

il Prof. Vittorio Ceradini, per i preziosi e generosi suggerimenti;
mia madre, per la scrupolosa e competente correzione delle bozze.

Un pensiero riconoscente al Prof. Edoardo Mollica.

In copertina: macchina bellica per demolire fortificazioni (ERRARD DE BAR-LE-DUC J., *Le premier livre des instruments mathématiques et mécaniques*, Jan Janson, Nancy, 1584).

INDICE

PRESENTAZIONE di <i>Vittorio Ceradini</i>	p.	11
INTRODUZIONE	p.	13
PREMESSA: meccanica e macchine	p.	15
L'ANTICHITÀ	p.	19
Referenze bibliografiche	p.	26
IL MEDIOEVO	p.	27
Referenze bibliografiche	p.	38
IL SECOLO XV	p.	39
Referenze bibliografiche	p.	74
IL SECOLO XVI	p.	75
Referenze bibliografiche	p.	104
IL SECOLO XVII	p.	105
Referenze bibliografiche	p.	142
IL SECOLO XVIII	p.	143
Referenze bibliografiche	p.	178
Referenze iconografiche	p.	179
Bibliografia generale	p.	183
Webgrafia	p.	187
Glossario	p.	189
Indice delle persone e dei luoghi	p.	197

*La
meccanica
è il paradiso
delle scienze
matematiche.*

(Leonardo da Vinci,
Codice E, f. 8v)

PRESENTAZIONE

Il diagnosta vitruviano

Vitruvio subito mette le cose in chiaro. Nel capitolo I del libro I espone cosa debbono sapere coloro che sono impegnati nell'arte di edificare. Leggere l'elencazione è deprimente: subito si vuol cambiare mestiere per palese insufficienza di requisiti.

Di contro gli strumenti che deve usare un architetto per progettare sono estremamente semplici: due o tre tipi di matite, carta, un metro e, solo per situazioni sofisticate, un compasso.

Anche per eseguire una architettura occorrono in cantiere un filo a piombo, una livella, macchine semplici quali leva, cuneo, vite, puleggia e i loro derivati. L'architettura è quindi arte che dipende pressoché esclusivamente dal grado di conoscenza e cultura storica di chi la crea, la realizza, la controlla, l'analizza, la gestisce, la mantiene e la restaura e la conserva.

Questo libro ha per titolo "*Machinatio*" ma solo apparentemente è rivolto a quella parte "strumentale" che abbiamo sopra definito semplice. Il sottotitolo rivela le finalità del libro: "*Per una storia a...*" e propone al lettore di meditare sulla complessità e vastità del bagaglio di conoscenza storicamente accumulata dall'arte di edificare, fino al XVIII secolo.

La meccanica del costruire deve tener conto di due diversi tipi di limite: l'equilibrio delle parti e la resistenza dei materiali. Se le regole dell'equilibrio sono note (a meno del problema dell'attrito) da quasi tre millenni, le regole relative alla resistenza dei materiali vengono studiate da soli due secoli.

Troppi pochi per definire qualcosa di completo. Infatti oggi non sappiamo bene neppure quali sono i requisiti di resistenza più opportuni da analizzare. Per quasi tutta la storia dell'arte di edificare per resistenza si intendeva quella assoluta, cioè quella nei confronti del tempo, al deterioramento lento del materiale, di tutto ciò che può capitare nella vita di un edificio nel suo sito.

Oggi invece sappiamo quasi tutto di cosa succede in un elemento di una costruzione, stati di sollecitazione, stati di deformazione, stati di vibrazione, anche al variare delle condizioni geometriche, delle plasticizzazioni, degli snervamenti, delle caratteristiche chimiche. Pochissimo, e meno di prima, sappiamo come questi stati varieranno nei lunghi secoli di vita di un buon edificio, proprio quelle architetture che sono meritevoli di conservazione.

Meno utile è porsi troppe domande per quelle costruzioni nate quasi provvisoriamente, per un uso rapido, confezionate con la scritta: "da consumarsi preferibilmente entro" una certa data, che hanno caratterizzato il modo di costruire del XX secolo.

L'Autrice mostra che la diagnostica è solo uno strumento, anch'esso semplice, dei tanti necessari per tentare di comprendere una cosa molto complessa come un qualsiasi prodotto dell'arte di edificare. È uno dei diversi

modi di compiere una analisi storico-critica. Nel trattare omogeneamente l'argomento si ferma prudentemente alle soglie del XIX secolo, in quanto oltre è necessario cambiare l'impostazione del problema, lasciando ad altri, o a lei stessa in altra forma, il completamento del lavoro.

L'Autrice del libro rivela chiaramente la sua formazione di architetto conservatore, cioè colui che applica, per qualsiasi argomento o oggetto, il metodo storico, finalizzato alla valutazione critica per la conservazione dell'architettura. Ciò necessita di una vasta e approfondita formazione tecnica. Applicatasi nella diagnostica strumentale, definisce la figura del "diagnosta vitruviano", colui che conosce l'architettura per come è all'interno, per come è stata realizzata, per come ci è pervenuta, per la sua vita fisiologica e patologica.

Il diagnosta vitruviano, conoscendo la strumentazione ed operando con propria mano, può pervenire a valutazioni e giudizi complessivi, che determineranno l'esistenza futura di quella architettura, magari solo osservandola da ciò che appare in superficie. Può eseguire diagnosi speditive in pochi minuti, assumendosi enormi responsabilità, come l'autrice ha avuto modo di cimentarsi nell'immediato post-terremoto aquilano, attribuendo agibilità o meno ad edifici strategici, scuole, monumenti, senza poter utilizzare alcun mezzo diagnostico strumentale.

Il libro ci suggerisce che, da una parte è necessario conoscere l'uso degli strumenti tecnologici nel loro sviluppo storico, per poter utilizzare consapevolmente quelli oggi disponibili, i quali, per quanto sofisticati, sono al più combinazioni di cose semplici, ma dall'altra afferma che il "diagnosta d'architettura" sia "vitruviano", per la semplice ragione che: "*L'architettura è una scienza che è adornata da molte cognizioni (...) Deve l'architetto saper la grammatica ..., il disegno, la geometria, l'ottica, l'aritmetica, l'istoria, la filosofia, la fisica, la musica, la medicina, l'astronomia...ecc. ecc.*".

VITTORIO CERADINI

Professore Associato di Restauro Architettonico

INTRODUZIONE

Partes ipsius architecturae sunt tres: aedificatio, gnomonice, machinatio.
(Vitruvio, *De architettura*, libro I, cap. III)

Il senso del libello, che vi trovate tra le mani, è contenuto tutto nella citazione sopra riportata e da cui è tratto il titolo stesso di questo lavoro: *machinatio*; tratta difatti, in modo sistematico, sebbene essenziale e necessariamente mai esaustivo-di qui il sottotitolo-della storia degli strumenti, dei ritrovati e dei congegni che hanno accompagnato l'arte del costruire. L'autorevole e colta letteratura su questo vasto e dibattuto argomento-che spazia dai meccanismi di misura del tempo agli ordigni da guerra, dai dispositivi per la misura di spazio alle apparecchiature per il cantiere edile-avrebbe dovuto ragionevolmente indurmi a non vedere l'occorrenza di un tale lavoro; tuttavia il volumetto affronta, all'interno di questo ampio mosaico, un tassello poco indagato, se non per episodi, quello cioè afferente alle *machinae* specificatamente impiegate per l'effettuazione di prove, indagini ed accertamenti sull'edilizia, in termini di analisi sperimentale, soprattutto meccanica, relativa alla caratterizzazione dei terreni di fondazione, alla qualità dei materiali, al comportamento strutturale delle costruzioni, non di rado a supporto di teorie correlate all'arte del costruire e del restauro.

La diagnostica strutturale è oggi un campo fortemente tecnicistico e tra i meglio qualificati nel mondo della pratica professionale; è uno tra i settori più vivi e innovativi della ricerca scientifica applicata al costruire e al restaurare, lo dimostrano i tanti Laboratori di indagini tecnico-scientifiche, che animano i Dipartimenti di Architettura e Ingegneria dei nostri Atenei. Eppure è una scienza troppo diffusamente ritenuta "moderna", senza storia, nata insieme alla *Scienza delle costruzioni* e pressoché ignota al mondo dell'*Arte del costruire*, perché sorta come esigenza di rispondere ad un modo di concepire il costruire non più come equilibrio e tecnica, ma come resistenza e materiali. Falso. Ecco perché questo excursus si ferma al secolo XVIII.

Lo studio della genesi della diagnostica strutturale non è quindi un esercizio accademico; è piuttosto il tentativo di trovare le radici antiche e molteplici delle metodologie, delle pratiche e dei protocolli diagnostici che oggi usiamo, secondo criteri unificanti e garantisti di affidabilità, ma forse talvolta appiattenti, anche perché predeterminati da una normativa necessaria, ma fortemente codificata-basti pensare alle prescrizioni in materia di indagini sulle strutture esistenti, contenute nelle NTC'08 e seguenti.

Questo modesto lavoro ha infine l'ambizione di contribuire alla narrazione dell'ingegno, curiosità e fantasia, che sono, insieme al rigore di merito e di metodo, i tratti salienti del diagnosta sperimentatore di tutti i tempi.

A. B.

*La
meccanica
si accostò all'architettura
sino a divenirne
indispensabile strumento scientifico.*

(Antonino Giuffrè,
La meccanica nell'architettura: la statica,
Nuova Italia Scientifica, Roma, 1985)

PREMESSA: meccanica e macchine

La scienza delle macchine e nello specifico di quelle utilizzate per comprendere caratteristiche e proprietà di materie e materiali, sistemi tecnologici e strutture, è una disciplina antica e si connette strettamente alla storia e all'evoluzione della meccanica¹. Questa scienza, nell'accezione contemporanea, con cui viene ad essere definita come lo studio dell'equilibrio e del moto dei corpi, fondata sul principio di inerzia, è intesa come una branca primaria della matematica, in quanto disciplina che fonda la comprensione del moto sull'astrazione teorica di concetti matematicamente investigati. In tale ottica la meccanica viene ad essere distinta in "meccanica moderna", quella nata con la rivoluzione culturale e scientifica del Seicento-da Galileo (1564-1642) a Newton (1642-1727), durante la quale l'investigazione astratta e il metodo matematico entrano nella comprensione, sino ad allora in larga parte esperienziale, della fisica e della scienza dei materiali². Così sarà fino al secolo XX, quando con Planck (1858-1847) e Schrödinger (1887-1961) e soprattutto dal 1905 con la meccanica relativistica di A. Einstein (1879-1955) e dal 1921 con la meccanica quantistica di W. Heisenberg (1901-1976) si introduce la "meccanica contemporanea", come superamento del calcolo differenziale ed integrale, che era stato sino ad allora la fondamentale chiave di lettura dei problemi ingegneristici³.

Ma la "meccanica moderna" non nasce dal nulla, è erede di un patrimonio antico, in parte ignoto, avaro di testimonianze e lacunoso nelle fonti, che rientra nell'amplessima definizione di "meccanica antica"-da Talete (ca 624-545 a.C.) a Leonardo (1452-1519)-e che fondava lo studio dell'equilibrio e del moto sul dato esperienziale; la speculazione era posta su un fondamento non matematico, ma omologamente spesso astratto, talvolta di forte rigore logico, nell'accezione anticamente filosofica e speculativa, che possiamo ritenere avesse questa disciplina⁴.

¹USHER A., *A history of mechanical inventions*, Dover publication, New York, 1982.

²DUGAS R., *Historie de la mecanique*, Du Griffon, Neuchâtel, 1955.

³CORRADI M., *Meccanica e ingegneria*, in HOSJIN M. (a cura di), *Storia della scienza*, vol. VI, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma, 2002.

⁴STAHL W. H., *Roman science*, JB press, Wisconsin, 1962.

Tuttavia la “meccanica moderna” e “contemporanea” non possono considerarsi effetto di una cesura con l’Antichità, ne è evidenza la continuità concettuale, espressa nel suo stesso fondamento speculativo⁵: ancora oggi questa disciplina si alimenta e vive nell’ambiguità dicotomica delle finalità di questa scienza; è disciplina che studia l’equilibrio e il moto? o piuttosto investiga lo studio delle macchine e dei meccanismi? Questo dualismo, che è il fondamento concettuale della disciplina, è forse l’eredità più incisiva della meccanica antica e intorno ad essa si è sviluppata la sua storia⁶, che è anche lo studio dello sforzo di superare la distinzione troppo semplicistica della “meccanica antica” come studio logico-empirico di macchine e meccanismi⁷ e la “meccanica moderna” e “contemporanea”, come lo studio matematico-astratto del moto e dell’equilibrio⁸. D’altro canto la macchina è da intendere, anche qui dualmente, come strumento di esperienza, ma anche di misura e verifica delle astrazioni connesse alla speculazione teorica sulla meccanica; di contro è tra le sue stesse finalità anche quello pragmatico di inventare strumenti utili alla vita dell’uomo⁹. In tale scenario la storia delle macchine utilizzate per lo studio dei materiali e delle strutture si pone in posizione equidistante, in quanto esse sono sia strumenti di misura (in un’accezione più vicina alla “meccanica moderna”) che marchingegni (con un significato più vicino a quello assunto dalla “meccanica antica”). Ma altresì in questa ottica le valenze sono molteplici; l’Antichità nello studio dei meccanismi non perseguiva tra i suoi prioritari fini quello tecnicistico di inventare macchine da lavoro; l’Antichità poneva nella fatica, prima ancora che nel censo e nella cultura, l’elemento ordinatore del suo schematismo sociale, non aveva apprezzamento per il lavoro manuale ed esaltava la speculazione intellettuale. Aristotele (384-322 a.C.) motiva la necessità della schiavitù come inammissibilità di liberare l’uomo dalla fatica, per l’impossibilità di un automatismo radicale del lavoro. Tale irrealizzabilità era dettata dalla mancanza di materiali di

⁵SASSI M., *La scienza dell’uomo nella Grecia antica*, Boringhieri, Torino, 1988.

⁶DIJKSTERHUIS E. J., *Il meccanicismo e l’immagine del mondo*, Milano, Feltrinelli, 1971.

⁷VEGETTI BORINGHIERI M. (a cura di), *Il sapere degli antichi*, Einaudi, Torino, 1985.

⁸ROSSI C. et alia, *Alcune tappe verso l’automazione*, in atti II Convegno nazionale di storia dell’ingegneria, Napoli, 7-9 aprile 2008.

⁹MARCHIS V., *Storia delle macchine*, Bari, Laterza, 1994.

sintesi, se non per poche leghe metalliche, e soprattutto dall'indisponibilità di adeguati mezzi di produzione dell'energia, se non quella umana e animale o l'acqua e il vento. Ciò è ancor più valido se si considera che l'Antichità vede nella matematica, quindi anche nella meccanica, una variante, una declinazione della filosofia, se intesa come speculazione sulla natura¹⁰; in questo ordinamento culturale non ha ragione di esistere la necessità della misura¹¹. Di contro la "meccanica moderna", se da una parte introduce l'astrattismo del metodo matematico, dall'altra si fonda su una profonda fiducia tecnica nelle macchine. La fabbricazione delle lenti per correggere le disfunzioni visive è una "pratica" antica, ma solo il cannocchiale è il riverbero consapevole delle leggi della fisica ottica. Una consapevolezza con molta efficacia espressa da Galilei, che definisce le macchine come *artificii ed invenzioni tali che con la sola applicazione della forza sua possa eseguire l'effetto desiderato*¹², come anche nell'accezione di strumenti di misura qualitativa e quantitativa. La macchina, nella concezione galileiana, è la mutuazione in manufatto utilistico non solo del raziocinio e dell'ingegno, che moltiplicando e surrogando la fatica e il tempo del lavoratore, ne esalta la semplicità e l'intelletto, ma anche la trasposizione del sapere intellettuale e speculativo. Le "macchine semplici" del secolo XVII sono congegni minimalisti, basati sulla razionale combinazione di pochi ritrovati antichi-la leva, la vite, l'argano, la carrucola; essi sono ideati, spesso anche tramite l'osservazione esperienziale della natura, progettati e realizzati per vincere inerzia e attrito e trovare nell'essenzialità una strategia di riduzione della dissipazione dell'energia atta ad azionare queste macchine, che era sì animale ma ancora in larga parte umana. Ad esse al contempo si contrappone la macchinazione, propria dei congegni di svago e di meraviglia, d'illusione e di gioco; questi ritrovati di contro perseguono l'artificio, la ridondanza, secondo un criterio di somma e moltiplicazione di macchine semplici, per realizzare congegni grandiosi, curiosi, armoniosi o fantasiosi, ma fortemente dissipativi di

¹⁰BENVENUTO E., *An introduction to the history of structural mechanics*, Springer, New York, 1991.

¹¹AAVV, *Enciclopedia della scienza e della tecnica*, McGraw Hill, Milano, 1965.

¹²GALILEI G., *Le Meccaniche, delle utilità che si traggono dalla scienza meccanica e dai suoi in strumenti*, Padova 599-edizione critica e saggio introduttivo di Romano Gatto, Olschki, Firenze, 2002.

energia, pesanti, costosi o poco durevoli. A questa categoria appartengono le macchine teatrali e i giochi d'acqua, gli automi e le marionette, ma anche ritrovati didattici, come la sfera celeste o gli orologi astronomici, sino alle macchine che simulano illusoriamente i principi della fisica e della meccanica, come la vite senza fine di Archimede (287-212 a.C.) o le sfere del moto perpetuo. Il giudizio storico su questi congegni è stato a volte molto rigoroso, vedendo in essi la negazione del principio stesso di razionalità ed essenzialità, che rendono le macchine efficaci al loro scopo; questa però è una valutazione parziale, basti pensare alle interessanti connessioni tra la macchinazione e le arti visive, quali l'architettura dell'effimero, la coreografia, la musica meccanica (l'organo è spesso annoverato tra le macchinazioni), o le scienze mediche, in primo luogo l'anatomia. All'accezione negativa della macchinazione non di rado viene erroneamente associato il termine *machinatio*: è un equivoco.

Nell'etimologia originaria¹³ *machinatio* ha un significato diametralmente opposto alla macchinazione; *machinatio* nel trattato vitruviano è l'annovero tecnico, quasi tecnicistico, delle macchine da guerra, da lavoro, da cantiere. Questa fiducia e aspettativa nelle macchine dell'età della "meccanica moderna" trova per alcuni versi la sua negazione nella "meccanica contemporanea", quale percezione non più dell'utilità, ma della necessità delle macchine nell'ordinamento della vita sociale, oltre che produttiva, della nostra epoca. La "meccanica contemporanea" è chiamata a confrontarsi con un sistema culturale mai così tecnologicamente avanzato e al contempo diffidente, perché a confronto con una complessità sfuggente. Le macchine di misura ne sono l'emblema; la contemporaneità ha acquisito la cognizione prima scientifica, poi culturale, che il miglioramento della misurabilità si esplica tramite la percezione dell'errore e quindi la consapevolezza dell'incapacità dell'esattezza. La computazione automatica, che si fonda sul binomio 0-1, riconosce così il paradosso dell'infinito nell'infinito. Questa coscienza è la dolenza che accompagna la meccanica relativistica e quantistica. Riconoscendo nella perfezione siderale un'alterità inconciliabile col mondo dell'immanente, si è gettato un ponte per alcuni tratti paradossale tra l'Antichità e la Contemporaneità.

¹³*Partes ipsius architecturae sunt tres: aedificatio, gnomonice, machinatio*
POLLIONE M., *De architectura...cit.*

(VITRUVIO

L'ANTICHITÀ

La mancanza e la perdita di un corpus di testimonianze scritte o iconiche dell'Antichità ha portato, non solo ad una comprensione parziale delle conoscenze e delle conquiste scientifiche e tecniche del tempo e con esse dei ritrovati che ne accompagnavano la vita, ma anche ad avere pochi strumenti di comprensione dei pochi congegni dell'Antico giunti fino a noi.

Tra le poche, e quindi anche per questo preziose, fonti relative alle macchine antiche vi è il notissimo trattato di architettura di Vitruvio (sec. I a.C.)¹⁴, una sorta di memoriale dell'attività professionale del suo autore, che, come egli stesso indica nell'incipit al Libro I vuole essere il tentativo di comporre una sintesi organica, sebbene scettica, delle conoscenze teoriche e pratiche dell'architetto della sua epoca; il testo è quindi una sorta di summa del sapere tecnico dell'età romana di I secolo a.C., giunto a noi senza immagini, e che verrà sentito, a partire dal secolo XV, non solo come una preziosa fonte di conoscenza dell'architettura e del mondo antico-Vitruvio difatti percepiva la romanità in continuità e quindi pienamente erede del mondo greco-ma in primo luogo come un testo fondamentale nel riconoscimento dell'architetto come un intellettuale, che trova nella pratica architettonica uno strumento di espressione del sapere astratto¹⁵.

Vitruvio nel suo scritto dedica ampio spazio alle macchine, facendone nel X libro una trattazione sistematica e monografica, riportandovi descrizioni di congegni e ritrovati diffusamente presenti in tutto il testo, a indicazione della rilevanza operativa delle macchine nell'Antichità, specialmente nel campo delle costruzioni¹⁶.

Il X libro distingue le macchine tra quelle che servono semplicemente ad alleviare la fatica fisica (il sollevamento o la movimentazione) e quelle che invece supportano l'uomo esaltandone l'ingegno, l'arguzia

¹⁴VITRUVIO POLLIONE M., *De architectura*, traduzione di MIGOTTO L., Edizioni Studio Tesi, Firenze 2010-rist. anast. tratta da *Zehn Bücher über Architektur*, Übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Curt Fensterbusch, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1796.

¹⁵*La filosofia rende l'architetto grande* (VITRUVIO, *De architettura....cit.*, libro I, cap. VII).

¹⁶“...sine quibus (le macchine) nulla res potes esse non impedita...” (VITRUVIO, *De architettura....cit.*, libro X, cap. IV).

(le macchine da guerra)¹⁷; questa distinzione, molto prossima a quella che ancora odiernamente caratterizza il modo di considerare le macchine-noi oggi potremmo trovare una distinzione analoga tra un trapano e una videocamera-evidenzia come le macchine fossero una presenza costante e multiforme del mondo antico.

Vitruvio difatti procede distinguendo le macchine in classi d'uso¹⁸: *tractorium* (ossia da trazione, come le macchine da cantiere: *recamus*, *troclea*, *artemon*, *trispastos*, *pentapastos*, etc), *spirabile* (atte a sollevare l'acqua: *organus*, *timpanus* o che sfruttano l'acqua come forza motrice: *hydraleta*, *coctea*) e *scansorium* (le macchine meccaniche: *vectis*, *statera*, etc); una trattazione specifica e dettagliata infine è dedicata alle macchine da guerra (*scorpium*, *ballista*, *catapulta*) e da assedio (*aries*, *testudo*).

Pur tuttavia in nessuna di queste categorie sono descritte strumentazioni atte a conoscere e testare le proprietà dei materiali da costruzione o delle soluzioni tecnologiche adottate; ciò deve in primo luogo ricondursi probabilmente al fatto che molti di questi controlli indagativi venivano ad essere effettuati con gli stessi strumenti atti alla lavorazione dei materiali; ad es. per verificare la bontà di una pietra veniva oscultato il suono emesso battendone la superficie (non diversamente, in termini concettuali, da una moderna prospezione sonica vibrazionale) o per verificare la stagionatura di un legno veniva infisso un chiodo di dimensioni date, verificando quanti colpi fossero necessari alla sua completa penetrazione e se questa induceva lesioni o separazione delle fibrature (associabile concettualmente a un moderno pilodyn o penetrometro da legno).

Eppure nel testo, sebbene in modo sparso, vengono descritti alcuni curiosi strumenti o metodi investigativi. Ciò induce a supporre che queste strumentazioni, pur esistendo, avessero un ruolo marginale nella pratica operativa, anche rispetto agli strumenti cantieristici veri e propri, tra cui in primo luogo le macchine da movimentazione o sollevamento dei materiali; d'altro canto anche le macchine da guerra e da assedio avevano un riverbero operativo estremamente più ampio ed incisivo della categoria di strumentazioni, in modo non molto diverso da oggi.

¹⁷“Ex his sunt quae μηχανισμοῖσιν alia ὀργανισμοῖσιν moventur” (VITRUVIO, *De architettura...cit.*, libro X, cap. II).

¹⁸Cfr. VITRUVIO, *De architettura...cit.*, libro X, cap. I.

A tal fine si riporta, tratta dalla Colonna traiana-che in molte parti manifesta la conoscenza profonda, seppure esperienziale, nell'Antichità di tutti i fondamenti della meccanica-un'interessante immagine (fig. 1), che mostra come gli stessi corpi militari fossero usi partecipare, ove fosse necessario, ad attività cantieristiche, anche di una certa complessità; la permeabilità quindi tra le diverse categorie applicative della *machinatio* doveva essere in Antichità piuttosto consolidata.



Fig. 1 Colonna traiana, dettaglio

Tra questi congegni investigativi Vitruvio riporta il metodo, introdotto da Andronico di Cyrra (sec. II a.C.) (fig. 2), per verificare quanti e quali venti spirassero in un detto sito, anche al fine di valutare la salubrità di un luogo e quindi l'attitudine di un sito ad ospitare un insediamento umano¹⁹. Vitruvio narra che Andronico fece erigere in Atene una torre ottagonale e in cima vi fece apporre un congegno, fornito di una verga, che ruota liberamente in un senso, ma non in quello opposto; da notare che il monumento è chiamato anche *horologium*, a indicare il

¹⁹Cfr. VITRUVIO, *De architettura...cit.*, libro I, cap. IV.

carattere di strumento di misurazione del congegno posto in sommità alla torre, atto però non a misurare il tempo, ma i venti e le correlate condizioni termoigrometriche; infatti tramite il monitoraggio della rotazione della verga si poteva comprendere la direzione di provenienza del vento e quindi la sua tipologia; insomma un congegno che, con qualche elasticità, potremmo associare alle tante strumentazioni di stazione oggi disponibili per il rilevamento e monitoraggio dei parametri termoigrometrico e di esposizione ambientale.



Fig. 2 Il congegno di Andronico di Cyrra (sx) e Torre di Andronico ad Atene (dx)

Vitruvio descrive anche delle tecniche per valutare le caratteristiche idrogeologiche e geotecniche dei terreni ove realizzare un insediamento; per verificare la variazione del contenuto d'acqua di un terreno, propone di scavare una buca profonda 5 piedi e larga 3, di inserirvi un vaso rovesciato internamente cosparso di olio, di riempire la fossa con paglia o fronde e di attendere un giorno; se il vaso l'indomani è asciutto, il contenuto d'acqua del terreno è scarso,

proponendo, poi, anche delle varianti con lana grezza e una lucerna²⁰. Un sistema semplice, ma idealmente correlabile ai freatimetri, tensiometri e trasduttori di pressione dei laboratori di terre, che oggi effettuano investigazioni idrogeologiche e geotecniche (fig. 3).



Fig. 3 Schema del sistema vitruviano di investigazione della %Ur dei terreni

Molta attenzione è data ai sistemi investigativi sulla qualità e salubrità dell'acqua, che Vitruvio suggerisce di verificare bollendo legumi-se questi cucineranno velocemente, allora l'acqua è salubre²¹-oppure realizzando due fosse rivestite internamente in calcestruzzo e collegate tra loro ad altezza diversa, in modo che l'acqua, passando da una fossa all'altra, manifesti le sue impurità depositandole sul fondo²²; così come oggi le analisi acque vedono la chimica applicata investigare l'alcalinità (nel primo caso) o la torbidità e l'equivalenza in sabbia per decantazione (nel secondo caso) (fig. 4).

²⁰Cfr. VITRUVIO, *De architettura...cit.*, libro VIII, cap. IV.

²¹Cfr. VITRUVIO, *De architettura...cit.*, libro VIII, cap. I.

²²Cfr. VITRUVIO, *De architettura...cit.*, libro VIII, cap. XIII.

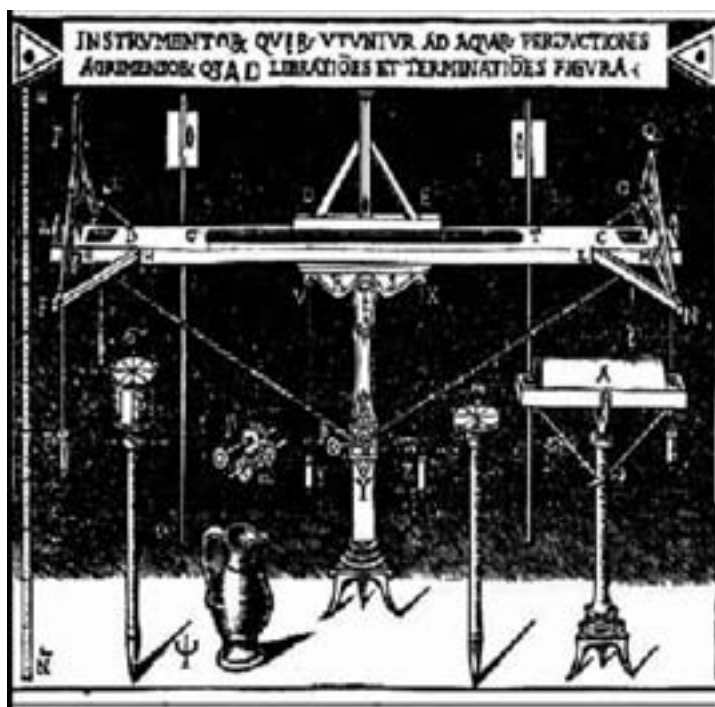


Fig. 4 Strumenti vari per la conduzione e l'analisi di torbidità dell'acqua

Dalla lettura di Vitruvio emerge in conclusione che tal varietà di metodiche e tecniche dell'Antichità si basa o sull'uso di oggetti ordinari o sull'utilizzo di strumenti e marchingegni-l'odometro, il mesolabio, l'orologio di Ctesibio (sec. IV a.C.) che si fondano sull'applicazione ingegnosa e la combinazione sapiente di pochi ritrovati basilari della meccanica e della tecnica applicata, quali la ruota dentata, la leva o l'argano. D'altro canto di molti di essi abbiamo soltanto descrizioni tratte dalle fonti; i reperti materiali sono difatti pochissimi, non stati ritenuti non depositari di valore venale né espressivo. Tra questi uno dei più celebri e rari è il meccanismo di Anticitera²³, un dispositivo, con ogni probabilità di età ellenistica, rinvenuto nel 1901 da alcuni pescatori tra i resti di un'antica nave naufragata in prossimità dell'isola

²³CORRADI M., *Meccanica e ingegneria*, in HOSJIN M. (a cura di), *Storia della scienza*, vol. VI, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma, 2002.

di Anticitera, tra le acque del Canale tra Citera e Creta, lungo una delle principali antiche rotte del Mediterraneo Orientale (fig. 5).

I primi studi sul ritrovamento avvennero a partire dagli anni '20, quando si cominciò a comprendere che fosse un congegno meccanico, in prima ipotesi identificato come un astrolabio; poi una serie di intensi studi anni '50 ha portato a comprendere come questo, con ogni probabilità fosse costituito da una scatola in legno, da cui fuoriusciva una manovella, che azionava l'insieme dei rotismi in lega metallica che compongono lo strumento vero e proprio, il quale si compone di un insieme di due ruote dentate, azionate da 37 ingranaggi su asse unico; la scatola di legno è nel contempo contenitore e telaio, oltre che strumento comparatore, grazie alla presenza di tre quadranti. Sebbene sia piuttosto noto il meccanismo di funzionamento è invece molto dibattuta la sua funzione.

Per larga parte degli studiosi si tratta di uno strumento per il calcolo o a simulazione astronomica (un astrolabio per Jean Theophrastus-1928; un planetario per Derek De Solla Price-1951 e Allan George Bromley-1966) per taluni altri uno strumento di misura meccanica del tempo; per pochi un odometro o uno strumento meccanico per la rottura a flessione dei materiali, forse legno, assimilabile ad un odierno frattometro meccanico.



Fig. 5 *Il Meccanismo di Anticitera*

L'ANTICHITÀ
Referenze bibliografiche

- ARCHIMEDE DI SIRACUSA, *Opera Archimedis Syracusani philosophi et mathematici ingeniosissimi per Nicolaum Tartaleam Brixianum... multis erroribus emendata, ex purgata, ac in luce posita... Appositisque manu propria figuris quae graeco exemplari deformatae, ac deprauatae erant, ad rectissimam symetriad omnia instaurata reducta & reformata elucent*, Venturino Ruffinelli, Venezia, 1543.
- ARISTOTELE, *Ton en teide tei biblio periechomenon, onomata kai taxis. Eorum quae in hoc libro continentur, nomina & ordo. Theophrasti de historia plantarum, libri decem. Eiusdem de causis plantarum, libri sex. Aristotelis problematum, sectiones duo de quadraginta. Alexandri aphrodisiensis problematum, libri duo. Aristotelis mechanicorum, liber unus*, Manuzio, Venezia, 1497.
- CHAIGNET A. E., *Pythagore et la philosophie pythagoricienne: contenant les fragments de Philolaus et d' Architas traduits pour la première fois en français*, rist. anast., Culture et civilisation, Bruxelles, 1873.
- CUOMO S., *Pappus of Alexandria and the mathematics of late antiquity*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- DI BYZANTIUS P., *Pneumatica: the first treatise on experimental physics: west ern version and eastern version: facsimile and transcript of the Latin Manuscript, CLM 534, Bayerische Staatsbibliothek, Munich; translation and illustrations of the Arabic Manuscript, A. S. 3713, Aya -Sofya, Istanbul; with notes and technical commentary by Frank David Prager*, Reichert, Wiesbaden, 1974.
- DOLLO C. (a cura di), *Archimede: mito, tradizione, scienza*, Olschki, Firenze, 1992.
- FARIAS D., *Studi sul pensiero sociale di Filone*, Giuffrè, Milano, 1992.
- LUCREZIO CARO T., *Titi Lucretii Cari De rerum natura libri sex. Additae sunt conjecturae et emendationes Tan. Fabri. Cum notulis perpetuis*, Ioannem Lenerium, Salmurii, 1662.
- SEXTUS E., *Aduersus mathematicos, hoc est, aduersus eos qui profitentur disciplinas, opus eruditissimum... Graece numquam, Latine nunc primum editi, interprete Henrico Stephano. Accessit & Pyrrhonis vita, ex Diogene Laertio*, Martinum Iuunem, Parigi, 1569.
- SIDER D., *The fragments of Anaxagoras: edited with an introduction and commentary*, Meisenheim am Glan, Hain, 1981.
- TURANO F., *Le leggi non scritte negli uccelli di Aristifane*, Soc. Cooperativa Tip., Padova, 1972.
- VITRUVIO POLLIONE M., *De architectura*, traduzione di MIGOTTO L., Edizioni Studio Tesi, Firenze, 2010-rist. anast. tratta da *Zehn Bücher über Architectur*, Übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Curt Fensterbusch, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Damstadt, 1796.

IL MEDIOEVO

Le conoscenze della meccanica antica e di alcuni fondamenti teorici, che sottendono ai ritrovati tecnologici dell'Antichità, trovano nel Medioevo una certa continuità, data dalla diffusione della trattatistica antica soprattutto aristotelica e archimedeo²⁴.

Molto meno, invece, si può sapere circa la trasmissione della memoria dei ritrovati, dei congegni e delle macchine antiche in età medievale, rendendo difficile la comprensione di quanto della *machinatio* di questo periodo sia oggetto di una elaborazione autonoma dell'epoca e quanto invece sia da attribuirsi alla trasmissione della conoscenza dei ritrovati antichi²⁵.

La meccanica vede in quest'epoca un primo tentativo di generalizzazione. Dal concetto aristotelico di equilibrio alla rotazione dei corpi rigidi sembra trarsi, tramite gli studi di Giordano Nemorario (ca 1170-1237), una prima sistematizzazione del principio dei lavori virtuali; ma la leva ovviamente è un ritrovato arcaico, che nel Medioevo trova un uso del tutto continuativo con l'evo antico²⁶.

Gli studi di Archimede sui pesi vedono nel Medioevo una prima astrazione del concetto di equilibrio di pesi e delle forze in Guglielmo d'Ockham (ca 1280-1349) e i suoi collaboratori e discepoli, tra cui in primo luogo Giovanni Buridano (ca 1290-1358)²⁷; la correlazione con la carrucola è immediata, quanto indiretta.

Le riflessioni di Pappo di Alessandria (sec. IV a.C.) sul centro di sospensione confluiscono nella definizione di baricentro negli studi di Alberto di Sassonia (ca 1316-1390) e Nicola d'Oresme (1323-1382); eppure l'argano durante il Medioevo continua ad essere, come in Antichità, un ritrovato pratico, non correlato alle astrazioni teoriche²⁸.

²⁴DE SANTILLANA G., *Le origini del pensiero scientifico: da Anassimandro a Proclo 600 a.C.-500 d. C.*, Sansoni, Firenze, 1966.

²⁵CLAGETT M., *La scienza della meccanica nel Medioevo*, Feltrinelli, Milano, 1982.

²⁶FRAU B., *Note di tecnologia meccanica antica*, GAR, Roma, 1980.

²⁷BURIDANO J., *Kommentar zur Aristotelischen physik*, Minerva, Frankfurt, 1964.

²⁸BASALLA G., *The evolution of technology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.

Questa antica cesura trova ancora una sua ragion d'essere forse nella distinzione aristotelica tra “arti liberali” e “arti meccaniche”²⁹. Le macchine semplici-il cuneo, la ruota e l'asse, il piano inclinato, la vite-sembrano trovare quindi in epoca medievale una piena continuità con l'evo antico³⁰.

Eppure il Medioevo è un'epoca di febbrile attività tecnica, o meglio tecnicistica; i trattati medievali sull'argomento sono piuttosto dei manuali, delle guide operative, che sommano una serie di regole pratiche senza connetterle alle riflessioni astratte di cui prima³¹.

Anche le modalità con cui vengono rappresentate le macchine in età medievale riverberano questo assunto; il disegno tecnico e meccanico dell'epoca medievale è una rappresentazione figurata, di cui il senso dell'espressione estetica e formale, quasi decorativa, nega l'essenzialità, l'astrazione e lo schematismo, che sono propri del linguaggio del disegno meccanico, come verrà concepito molto tempo dopo³².

Una straordinaria fonte di conoscenza del cantiere medievale e delle attività e figure che lo componevano è data da due principali categorie: le immagini miniate e i cosiddetti ricettari³³.

Le miniature sono prevalentemente rappresentazioni figurate, poste a perimetro di immagini sacre, celebrative o di descrizione della vita contadina; il cantiere è quindi ritratto come scena di vita quotidiana o talvolta strumentalmente alla propaganda di attività e iniziative di un sovrano³⁴; ciò fa sì che queste scene si organizzino secondo un registro scenico gerarchico piuttosto stigmatizzato e privando dette immagini di un carattere descrittivo tecnico, sebbene siano ugualmente molto preziose, perché fonti dirette sincroniche³⁵.

In linea generale il protagonista di queste scene è il *conceptor* (ideatore e committente), sia perché la rappresentazione stessa ha un fine

²⁹DERRY T. K., *A short history of technology from the earliest times to A.D. 1900*, Dover, New York, 1993.

³⁰FORBES R. J., *Studies in ancient technology*, Brill, Leiden, 1958.

³¹AAVV, *Libri, macchine e strumenti per la storia della tecnica*, Allemandi, Torino, 1998.

³²AAVV, *La cultura delle macchine: dal Medioevo alla Rivoluzione Industriale nei documenti dell'archivio storico Amma*, Allemandi, Torino, 1989.

³³STAUDENMAIER J. M., *I cantastorie della tecnologia: ritessere l'umana convivenza*, Jaca Book, Milano, 1988.

³⁴AAVV, *Tecnica e società nell'Italia dei secoli XII-XVI*, Editrice C.R.T., Pistoia, 1987.

³⁵DOUGLAS SCOTTI A., *Botteghe fabbriche e cantieri: la grande storia della tecnologia*, VoLo publisher, Firenze, 2008.

celebrativo o propagandistico, ma anche in quanto rappresenta l'istituzione che ha finanziato e promosso l'opera, sia egli un sovrano, un abate, un mecenate o il referente di una corporazione.

Ad accompagnare il committente o finanziatore presso il cantiere è l'*architectus*, più diffusamente appellato in quest'epoca come *architector*; egli, essendo inteso non ancora come l'ideatore, ma come l'attuatore dell'opera, deve dimostrare il corretto andamento delle attività e del suo ruolo di *doctor aedificandi*, di *primus magister*³⁶.

Sul fondo, in scarto di scala, si svolge imperturbata la vita del cantiere: *latomi* (scalpellini), *calcinares* (calcaroli) e *carpentari* (falegnami) al piede dell'edificio; *positoires* (manovali) e *servientes* (trasportatori) impegnati su scale e ponteggi o alla manovra di *scalae*, *machinae*, *rotae*, e *tornamenta* (mezzi di sollevamento); *caementari* (muratori) e *marmorari* (marmisti e intonacatori) in sommità della costruzione a edificare muri e realizzare finiture³⁷.

Ma tra queste figure ve ne una, il *geometrico*, talvolta definito *geometricalis operis magister*, che, sebbene sia rappresentato insieme agli altri operatori manuali del cantiere, spesso se ne distingue per lo scarto dimensionale o per la caratterizzazione degli abiti o per la posizione di preminenza, rispetto ai lavoratori all'intorno (fig. 6). Il *geometrico*, diversamente da come è talvolta descritto dalla storiografia, non aveva un'azione di controllo sulla disciplina e il rendimento delle maestranze, questo ruolo era difatti assolto dai *cachepoli*, che difatti sono rappresentati muniti di verghe e bastoni. Il *geometrico* invece è rappresentato nell'atto di misurare il piombo di un muro in corso di costruzione, di verificare a vista l'idoneità di una fornitura di legno o di pietre appena arrivata in cantiere; i suoi strumenti sono l'*amussis* (squadra), il *circinus* (compasso da spessore), il *perpendicularum* (filo a piombo), per verificare la geometria di ciò che si andava costruendo, ma anche il *malleus* (martello, in genere di legno) e la *stadera romana*, (meglio descritta di seguito), per valutare qualità e caratteristiche dei materiali forniti³⁸.

Il *geometrico* è, quindi, una figura, presente con continuità in cantiere e che oggi porremmo a cavallo tra il "direttore dei lavori" e il "diagnosta strumentale in corso d'opera", una professionalità, quest'ultima, oggi fortemente specializzata, di alta formazione tecnico scientifica,

³⁶MUMFORD L., *Technics and civilization*, Brace&Co., New York, 1934.

³⁷FORTI U., *Storia della tecnica dal Medioevo al Rinascimento*, Sansoni, Firenze, 1957.

³⁸KLEMM F., *Storia della tecnica*, Feltrinelli, Milano, 1959.

indipendente dal progettista e dal direttore dei lavori, oltre che dall'impresa. La sua attività è volta a garantire la committenza ed è sempre più presente nei cantieri, soprattutto delle grandi opere infrastrutturali.

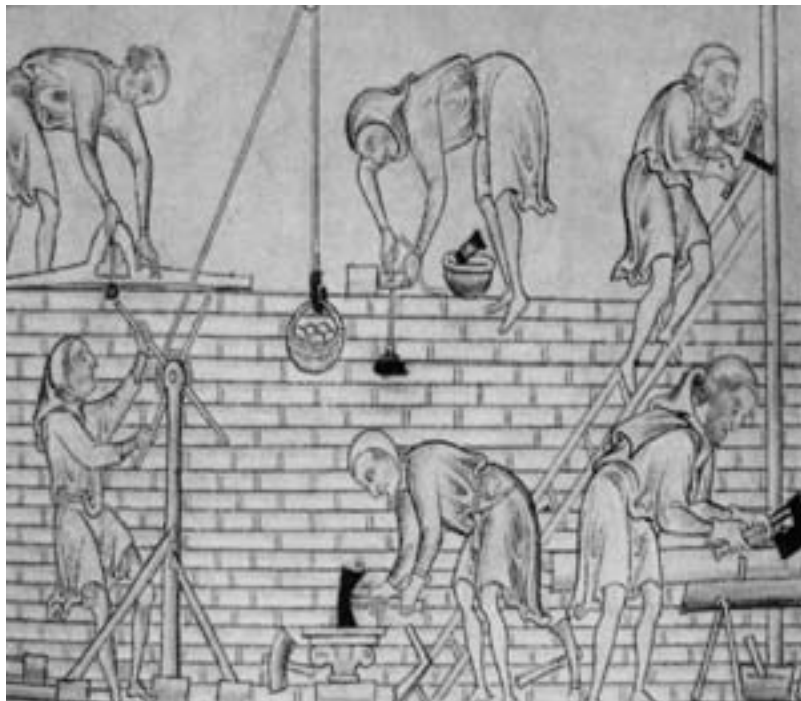


Fig. 6 *Un cantiere medievale, dettaglio*

I ricettari invece sono trattati disorganici, di carattere fortemente pragmatico, che si incentrano in larga parte sui metodi geometrici per la definizione delle forme (soprattutto le curvature di archi e volte) e delle proporzioni della fabbrica tra pianta ed elevato, oltre che contenere talune indicazioni operative su regole pratiche, tecniche e metodiche produttive e cantieristiche, sebbene queste fossero in larga parte trasmesse in bottega per via orale e tenute strettamente segrete, talvolta alla stessa corporazione³⁹.

³⁹AAVV, *On premodern technology and science*, Undena, Malibu, 1976.