Bernardino Baldi e il recupero del pensiero tecnico-scientifico dell'antichità

Giovanni Ferraro

INDICE DEI NOMI

MATHEMATA
Materiali di storia e filosofia della scienza

1

Giovanni Ferraro

Bernardino Baldi e il recupero del pensiero tecnico-scientifico dell'antichità

INGENIVM DOCTRINA ET LITERIS FORMANDVM

Edizioni dell'Orso

Volume pubblicato con il contributo XXXXXXXX

15100 Alessandria, via Rattazzi 47
Tel. 0131-25.23.49 - Fax 0131-25.75.67
E-mail: info@ediorso.it-edizionidellorso@libero.it
http: //www.ediorso.it

ISBN 978-88-7694-XXX-X

In copertina:

XXXXXXXX

Indice

Introduzione

Bernardino Baldi[1] è una significativa figura di quella cultura rinascimentale in cui la passione per l'arte e la letteratura si accompagnava con quella per la scienza e la tecnologia. Fu poeta versatile, esperto di problemi linguistici e lessicali, raffinato cultore di svariate lingue classiche e moderne, storico delle matematiche, architetto, studioso di tecniche costruttive, di apparati meccanici, di meccanica. La sua attività scientifica si colloca nell'ambito di quella che è nota come "scuola di Urbino", iniziata da Federico Commandino (1509-1575), e che ebbe un ruolo essenziale nel recupero della scienza antica e nella sua assimilazione e divulgazione. Baldi partecipò attivamente a tale processo che fu di recupero e di restaurazione ma anche di analisi, di discussione, di riformulazione, di adeguamento e che contribuì a creare l'ambiente culturale in cui la scienza galileana prese le mosse. Proprio tale fatto, a mio parere, rende la figura di Baldi di notevole interesse per la storia della scienza, l'analisi dei suoi lavori scientifici aiuta, infatti, la comprensione del quel complesso di eventi all'origine della scienza moderna.

[1] Per notizie biografiche su Baldi, si vedano: Fabrizio Scarloncino, *De vita et scriptis Bernardini Baldi urbinatis*, in *Benardini Baldi Urbinatis Guastallae abbatis in mechanica Aristotelis Problemata Exercitationes; adiuncta succinta narratione de autoris vita et scriptis*, Moguntiae, typis et sumptibus Viduae Joannis Albini, 1621 (nel prosieguo sarà menzionata come: *Exercitationes*), pp. n. n.; Ireneo Affò, *Vita di Bernardino Baldi*, Parma, Carmignani, 1783; Guido Zaccagnini, *Bernardino Baldi nella vita e nelle opere*, seconda edizione corretta e notevolmente ampliata con appendice di versi e prose inedite, Pistoia, Società Anonima Tipo-litografica Toscana, 1908; Giovan Maria Crescimbeni, *La vita di Bernardino Baldi. Abate di Guastalla*, a cura di I. Filograsso, Urbino, QuattroVenti, 2001; Alfredo Serrai, *Bernardino Baldi. La vita, le opere. La biblioteca*, Milano, Edizioni Sylvestre Bonnard, 2002.

Baldi nacque a Urbino il 6 giugno 1553[2]. Studiò, dapprima, latino e greco sotto la guida dell'umanista Gianantonio Turoneo[3] e, poi, a partire dal 1570, matematica, avendo per maestro Federico Commandino[4]. Tra il 1573 e il 1575 frequentò l'Università di Padova; nell'intenzione dei genitori avrebbe dovuto seguire i corsi di medicina o di legge, ma egli si sentiva molto più attratto da altre discipline[5] e così finì con l'interessarsi principalmente di filosofia, di poesia greca e di matematica. Seguì, tra gli altri, il corso di meccanica tenuto da Pietro Catena (1501-1576), ma ne rimase del tutto insoddisfatto, stante il duro giudizio che ne diede nella *Cronica de' matematici*[6]:

> Pietro Catena [D. C. 1573]. Padovano. Mentre io mi trovavo nello studio di Padova, leggeva pubblicamente le matematiche, e da lui vidi esporre le *Meccaniche* di Aristotile. Egli era vecchio, e faceto di maniera, che spesso era piena la sua scuola di genti desiderose più di ridere, che d'imparare. Non era uomo di profonda dottrina, e non ha dato fuori del suo altro che una semplice e piccola *Sfera*[7].

[2] La data è fornita da Scarloncino (cfr. *De vita*, pp. n. n.). Affò (*Vita*, cit., p. 2) afferma che negli "Elogi degli Uomini ill. di Urbino", un manoscritto "cortesemente mandato dal sig. Annibale Olivieri", è riportata la data del 5 giugno.

[3] Cfr. "Epitafio di G. Antonio Turoneo, umanista e maestro dell'autore" in Bernardino Baldi, *Gli epigrammi inediti, gli Apologhi e le Ecloghe*, a cura di D. Ciàmpoli, Lanciano, Carabba, 1914, vol. I, p. 81.

[4] Cfr. Scarloncino, *De vita*, cit., pp. n. n.

[5] Cfr. Bernardino Baldi, *Il genio ovvero la misteriosa perenigrazione* in Serrai, *Bernardino Baldi*, cit., Appendice IV.

[6] Bernardino Baldi, *Cronica de' matematici overo Epitome dell'istoria delle vite loro Opera Di Monsignor Bernardino Baldi da Urbino abate di Guastalla*, Urbino, per Angelo Ant. Ponticelli, 1707. Fu ripubblicata in *Versi e prose scelte di Bernardino Baldi*, ordinate e annotate da Filippo Ugolini e da Filippo-Luigi Polidori, Firenze, Felice Le Monnier, 1859, pp. 417-511. I riferimenti sono a quest'ultima edizione.

[7] Baldi, *Cronica de' matematici*, cit., p. 501. In realtà, Catena diede alcuni interessanti contribuiti alla filosofia delle matematiche che sembrano sconosciuti a Baldi: si veda Anna De Pace, *Le matematiche e il mondo*, Milano, Francoangeli, 1993, pp. 187-230 e Giulio Cesare Giacobbe, *La riflessione metamatematica di Pietro Catena*, "Physis" 15 (1973), pp. 178-196.

Baldi, invece, deve aver avuto in buona considerazione il suo docente di greco, Maximos Margunios (1549-1602), un erudito bizantino che gli fece da guida nello studio della poesia greca ed ebbe anche una certa influenza sui suoi interessi scientifici. Gli fornì, infatti, una copia della *Belopoeca* di Erone[8], trattato che, probabilmente, iniziò a tradurre in tale occasione, anche se pubblicò solo nel 1616[9].

Nel 1575 Baldi lasciò l'università di Padova[10] e continuò i suoi studi a Urbino dove collaborò con Commandino aiutandolo, tra l'altro, nella preparazione dei disegni[11] per le edizioni degli *Elementi* di Euclide[12], delle *Collezioni matematiche* di Pappo[13] e della *Pneumatica* di Erone[14]. Alla morte del suo maestro fece parte della cerchia di Guidobaldo del Monte (1545-1607), altro allievo di Commandino, che fu per lui un amico e un collega e con cui condivise l'appassionato amore per le matematiche[15]. Nel 1580 fu nominato matematico di corte da Ferrante Gonzaga e, alcuni anni dopo, nel 1586 divenne abate di Guastalla[16]. L'intransigente difesa dei diritti della sua abbazia lo condusse a conflitti con le autorità locali e alle dimissioni nel 1609. Ritornato nella sua città natale, ebbe

[8] Cfr. Scarloncino, *De vita*, cit., pp. n. n.; Affò, *Vita*, cit., pp. 10 e 187.

[9] *Heronis Ctefibii Belopoeca, hoc est Telifactiva, Bernadino Baldo Urbinate, Guastallae abbate, illustratore et interprete. Item Heronis vita eodem auctore*, Augustae Vindelicorum, typis Davidis Franci, 1616.

[10] Ciò fu probabilmente anche dovuto al timore suscitato da un'epidemia di peste (cfr. Affò, *Vita*, cit., p. 7; Zaccagnini, *Baldi*, cit., p. 14).

[11] Scarloncino afferma: "cui viro in delineandis figures ad Euclidis, Pappi et Heronis monumenta manum commodavit" (*De Vita*, cit., pp. n. n.).

[12] Federico Commandino, *Euclidis elementorum libri XV, una cum scholiis antiqui*, Pisauri, apud C. Francischinum, 1572 (è chiaro che se le informazioni date da Scarloncino sono corrette, la preparazione delle figure per l'*Euclide* di Commandino deve risalire ai primi anni settanta del XVI secolo).

[13] Pappo Alessandrino, *Mathematicae Collectiones a Federigo Commandino urbinate in Latinum conversae, et Commentariis illustratae*, Pisauri, apud Hieronymum Concordiam, 1589.

[14] *Heronis Alexandrini Spiritalium Liber, a Federico Commandino Urbinate, Ex Graeco, Nuper In Latinum Conversus*, Urbino, 1575.

[15] Scarloncino, *De vita*, cit., pp. n. n.

[16] Affò, *Vita*, cit., pp. 27-33 e Zaccagnini, *Bernardino Baldi*, cit., pp. 17 e sgg.

alcuni incarichi dal duca Federico Maria II[17]. Ad Urbino, infine, morì il 10 ottobre 1617[18].

La parte più interessante dell'attività scientifica di Baldi, almeno per quanto riguarda l'oggetto di questo saggio, può essere fatta risalire agli anni giovanili prima che diventasse abate di Guastalla; all'epoca, però, la sua produzione rimase inedita e solo in parte fu pubblicata, opportunamente rielaborata, negli anni che seguirono. Al periodo giovanile si possono ascrivere la traduzione dell'ottavo libro delle *Collezioni matematiche* di Pappo[19] e degli *Automati* di Erone, data alle stampe nel 1589,[20] la redazione dei *Paradossi matematici*[21] e la stesura del commento ai *Problemi meccanici*[22], pubblicato postumo, nel 1621, con il titolo *In mechanica Aristotelis Problemata exercitationes*[23].

Negli anni successivi Baldi si dedicò alla composizione di due trattati su Vitruvio, pubblicati molto più tardi, dopo il ritorno a Urbino[24]. Nel 1587 iniziò la stesura delle *Le vite de'*

[17] Affò, *Vita*, cit., pp. 33 e sgg.

[18] Ivi, p. 138.

[19] Paul Lawrence Rose, *The Italian Renaissance of Mathematics. Studies on Humanists and Mathematicians from Petrarch to Galileo*, Genève, Droz, 1975, pp. 244 e 247-248. Il manoscritto è conservato a Parigi (Bibliothèque Nationale, MS Latin 10280, cc. 183r-202v).

[20] Erone Alessandrino, *De gli automati overo machine se moventi, Libri due, tradotti dal greco da Bernardino Baldi. Abbate di Guastalla*, Venezia, Girolamo Porro, 1589 (nel prosieguo: *Automati*).

[21] Il manoscritto è andato perso e non è neanche certo se l'opera fosse scritta in italiano con il titolo *Paradossi matematici* o in latino con il titolo *Paradoxa centum Mathematica*. Nella *Biblioteca picena o sia notizie istoriche delle opera e degli scrittori piceni*, Osimo, Presso D. Quercetti, 1791, nel tomo secondo (p. 54) è riportata la seguente notizia: "Paradoxa centum Mathematica in foglio. Nel Catalogo de' codici, consegnati al sig. Grazio Albani dalla sig. Chiara Corona Baldi, si notano questi Paradossi con titolo latino; ed all'incontro, nell'Indice Vaticano sono registrati con frontespizio volgare." Cfr. anche Affò, *Vita*, cit., pp. 196 e 203.

[22] Cfr. parte 2.

[23] Cfr. nota n. 1.

[24] *De verborum vitruvianorum significatione, sive perpetuus in M. Vitruvium Pollionem commentarius. Auctore Bernardino Baldo Urbinate, Guastallae abbate. Accedit vita Vitruvij, eodem autore*, Augustae Vindelicorum, ad insigne pinus [Joannes Praetorius], 1612 e *Scamilli impares Vitruviani a Bernardino Baldo*

matematici, opera in cui cercò di raccogliere le biografie di tutti i matematici vissuti fino alla sua epoca e che non solo pubblicò mai[25] ma forse neanche concluse[26]. Rimasero inediti anche i *Novae Gnomonices Libri Quinque*[27], composti nel 1592.

Intensa fu anche l'attività letteraria di Baldi, che sembra spesso risentire dei temi trattati in quella scientifica, come in alcuni dei suoi *Cento apologhi* e nei poemi didascalici *L'artiglieria, L'inventione del Bossolo da navigare, La nautica.* Scrisse anche una raccolta di poesie amorose, il *Lauro*, vari dialoghi, varie opere storiche e poetiche e dedicò molto tempo agli studi della geografia e dell'arabo da lui appreso durante alcuni soggiorni a Roma[28].

***

La vasta attività scientifica di Baldi presenta aspetti di notevole interesse per la storia della scienza; ad esempio, la sua analisi delle travi, delle volte e degli archi condotta nel commento alla *Quaestio XVI* delle *Exercitationes* è un

Urbinate nova ratione esplicati: refutatis priorum interpretum Gulielmi Philandri refutatis priorum interpretum Gulielmi Philandri, Danielis Barbari, Baptistae Bertani sententijs, Augustae Vindelicorum, ad insigne pinus [Joannes Praetorius], 1612.

[25] Le due più ampie raccolte delle biografie scritte da Baldi sono state edite da Enrico Narducci, *Vite inedite dei matematici italiani scritte da Bernardino Baldi*, "Bullettino di Bibliografia e Storia delle Scienze Matematiche e Fisiche", 19 (1886), pp. 350-640 e da Elio Nenci: Bernardino Baldi, *Le vite de' matematici, edizione annotata e commentata della parte medievale e rinascimentale*, a cura di Elio Nenci, Milano, Francoangeli, 1998.

[26] Nella *Cronica de' matematici overo Epitome dell'istoria delle vite loro Opera Di Monsignor Bernardino Baldi da Urbino abate di Guastalla*, Urbino, per Angelo Ant. Ponticelli, 1707 sono raccolte notizie biografiche su matematici non menzionati nelle *Vite de' matematici.* Nella prefazione a B. Baldi, *Le vite de' matematici*, cit., pp. 22-23, Nenci giunge alla conclusione che tutte le biografie scritte sono pervenute fino a noi salvo, al più, quella di Leon Battista Alberti.

[27] Il manoscritto della *Gnonomica* è andato perso. Cfr. Affò, *Vita*, cit., pp. 196 e 203.

[28] Sull'attività poetica di Baldi, si possono utilmente consultare le due recenti volumi: il primo curato da Elio Nenci, *Bernardino Baldi (1553-1617) studioso rinascimenatale: poesia, storia, linguistica, meccanica, architettura*, Milano, Francoangeli, 2005; il secondo edito a cura di Giorgio Cerboni Baiardi, *Bernardino Baldi Urbinate*, Urbino, Accademia Raffaello, 2006.

importante contributo alla nascita della meccanica delle strutture. Tali specifici contributi non sono, però, l'oggetto di questo saggio[29], il cui obiettivo è, piuttosto, quello di mostrare come l'opera di Baldi sia stata parte del processo culturale che nel Rinascimento portò a rivalutare la meccanica e a trasformarla da arte servile in una scienza matematica e astratta. A tale fine, analizzerò, nella prima parte, il *Discorso di chi traduce sopra le machine se moventi*[30], un breve scritto che funge da introduzione agli *Automati* con l'intenzione di chiarire il ruolo della meccanica nella cultura del tempo. Nella seconda parte, cercherò di individuare i principi ispiratori delle *Exercitationes* con l'obiettivo specifico di cogliere alcuni aspetti del processo di matematizzazione della natura nel tardo Rinascimento[31].

[29] Per un'analisi di tali contributi, rinvio ai recenti studi condotti da Antonio Becchi, *Q. XVI. Leonardo, Galileo e il caso Baldi: Magonza, 26 marzo 1621*, traduzione di testi latini, note e glossario a cura di Sergio Aprosio, Marsilio, Venezia 2004; Gianni Micheli, *La traduzione degli Automata*, in Nenci, *Bernardino Baldi*, cit., pp. 247-268, Romano Gatto, *Bilance e leve nel trattato* In mechanica Aristotelis problemata exercitationes *di Bernardino Baldi* in *Bernardino Baldi*, cit., pp. 269-301; Rocco Sinisgalli, *Bernardino Baldi e la scuola matematica di Urbino* in Baiardi, *Bernardino Baldi Urbinate*, cit., pp. 251-267.

[30] In seguito: *Discorso di chi traduce*; è riprodotto nell'appendice di questo saggio. Le citazioni sono riferite a tale appendice.

[31] Nell'esegesi di alcuni passi dei *Problemi meccanici*, mi sono avvalso dei consigli del prof. Pietro Cobetto Ghiggia cui va il mio sentito ringraziamento.

Parte 1

La rivalutazione della meccanica e il *Discorso di chi traduce*

Baldi iniziò a lavorare sugli *Automati* di Erone durante gli anni del suo apprendistato matematico con l'obiettivo di contribuire al programma di traduzione di Commandino, il "vecchio e saggio Uranio", come ebbe a chiamarlo nelle sue *Egloghe*[32]. Secondo Baldi, era desiderio di Commandino pubblicare una traduzione del testo di Erone: tuttavia, i molti impegni e la cattiva qualità del manoscritto lo fecero desistere. Commandino ne parlò allora al suo allievo che accettò con giovanile entusiasmo. Durante una visita a Padova, Gian Vincenzo Pinelli mise a disposizione di Baldi un manoscritto "alquanto più corretto" di quello di Commandino, grazie al quale il futuro abate di Guastalla riuscì a superare le difficoltà dovute alle "scorrettioni" presenti nel testo greco su cui aveva lavorato[33]. Baldi sperava di pubblicare la sua versione degli *Automati* congiuntamente alla traduzione della *Pneumatica* di Erone che Commandino stava preparando[34]. La morte di Commandino impedì la realizzazione di tale progetto[35] ma non scoraggiò Baldi che continuò a lavorare intensamente sugli *Automati* portando a termine la traduzione già nel 1576[36]. Per la pubblicazione, tuttavia, Baldi dovette attendere fino al 1589, perché, "distratto da molti altri negotij", fu costretto a lasciare

[32] Cfr. Baldi, *Versi e prose scelte*, cit., p. 204.

[33] Tali informazioni sono contenute nella biografia di Erone, inviata in forma di lettera a Pinelli, e conservata alla Biblioteca Ambrosiana di Milano, manoscritto D 332 inf., c. 107r (cfr. Micheli, *La traduzione degli Automata*, cit., pp. 247-248 e Rose, *The Italian Renaissance of Mathematics*, cit., p. 246).

[34] Cfr. *Automati*, c. 1r.

[35] Micheli, *La traduzione degli Automata*, cit., p. 247. La traduzione di Commandino della *Pneumatica* di Erone fu pubblicata dagli eredi nel 1575 (cfr. nota n. 14).

[36] Si veda il colofone degli *Automati*.

"dormire" il suo lavoro[37]. La nomina ad abate lo aveva poi condotto a studi di altro genere e la traduzione sarebbe stata del tutto dimenticata[38], se non fosse intervenuto il conte Giulio Thiene. Su sua "istanza", Baldi incominciò a preparare il manoscritto per la pubblicazione[39]; la morte di Thiene, il 5 ottobre 1588, non fermò il lavoro di preparazione, in quanto Giacomo Contarini, amico di Thiene e appassionato di matematica, vi si interessò e Baldi poté finalmente pubblicare gli *Automati* nel 1589[40].

Il lavoro fatto da Baldi per la preparazione del manoscritto dovette consistere, anzitutto, in un'ampia revisione del testo[41], nel ridisegnare le figure, nell'aggiungere alcune note e nello scrivere l'introduzione[42], il *Discorso di chi traduce*, che costituisce il principale oggetto di studio dei successivi capitoli.

1. Prefazioni di opere tecnico-scientifiche e giustificazione della matematica

Lo scopo dichiarato del *Discorso di chi traduce* è quello di illustrare l'antichità delle macchine semoventi, di spiegare il fine per cui erano state costruite, di discutere le figure dei loro inventori e, anche, di chiarire alcuni aspetti del libro di Erone, che, per la sua antichità, è "oscurissim[o], e a molti grand'huomini ha dato cagione di errare"[43]. In realtà, il *Discorso di chi traduce* è, per Baldi, soprattutto l'occasione per una giustificazione culturale della meccanica. Un lettore moderno potrebbe essere sorpreso dal fatto che si senta la necessità di

[37] *Automati*, c. 1r.

[38] *Automati*, c. 1v.

[39] *Ibidem.*

[40] *Ibidem.*

[41] In una copia degli *Automati* conservata a Firenze (Biblioteca Laurenziana, Fondo Ashburnahm 1535), vi è una nota manoscritta in cui Baldi afferma: "è stato ritradotto e mandato fuori da me e donato al Signor Giacomo Contarini in Venezia" (citato in Micheli, *La traduzione degli Automata*, cit., p. 248).

[42] *Ibidem.* Baldi dedicò gli *Automati* a Contarini.

[43] *Discorso di chi traduce*, p. 147.

una tale giustificazione; nel Rinascimento, però, lo *status* culturale e scientifico della meccanica – l'arte di costruire le macchine – era incerto e non era per nulla ovvia la sua natura di scienza. Si deve, anzi, notare che non solo la meccanica ma le matematiche nel loro complesso godevano di un'ambigua considerazione e necessitavano di una giustificazione che desse loro un'adeguata collocazione nell'ambito della cultura superiore. Nel Medioevo il ruolo svolto dalle discipline matematiche era stato, infatti, piuttosto modesto. È vero che Boezio e altri studiosi avevano trasmesso alla cultura medievale l'idea per cui l'aritmetica, la geometria, la musica e l'astronomia fossero una parte essenziale dell'educazione intellettuale di un uomo libero; tuttavia, nella pratica, gli studi di matematica erano trascurati e delle arti del quadrivio solo l'astronomia era seriamente studiata. La geometria aveva un ruolo modesto nei corsi di studio ed era vista principalmente come uno strumento utile alla comprensione dell'astronomia. Era, infatti, abituale premettere all'insegnamento astronomico l'esposizione di alcuni libri di Euclide; tuttavia, per tenere lezioni sulla *Sfera* di Sacrobosco, non era richiesta nelle università medioevali una specifica preparazione in geometria. Anche l'aritmetica e la musica raramente ricevevano attenzione nel *curriculum* universitario. Un'eccezione era rappresentata, nel XIV secolo, dall'università di Oxford; ivi le scienze del quadrivio erano studiate accuratamente e l'attività di ricerca coinvolgeva anche le discipline matematiche. Tuttavia, solo tra la fine del 1400 e la metà del 1500, la matematica incominciò ad emergere da una situazione di scarsa considerazione e ad assumere un ruolo autonomo nelle università europee divenendo una disciplina meritevole in se stessa di essere studiata[44]. È stato notato da alcuni storici che la cultura umanistica contribuì alla rinascita dello studio delle matematiche[45]; tuttavia, le opinioni

[44] Cfr. Neal W. Gilbert, *Renaissance Concepts of Method*, Columbia University Press, New York, 1960, pp. 81 e 83.

[45] Sull'influenza degli umanisti nella rinascita degli studi matematici in Italia, si vedano Rose, *The Italian Renaissance of Mathematics*, cit. e Gilbert, *Renaissance Concepts of Method*, cit. In particolare, Gilbert osserva che, agli occhi degli umanisti, lo studio della geometria era spesso considerato con sollievo rispetto alla cavillosità della logica tradizionale. Inoltre, alcuni

degli umanisti erano discordi[46] e molti studiosi rinascimentali sentirono la necessità di scrivere in difesa delle discipline matematiche[47]. Tale necessità fu particolarmente sentita, tra gli altri, da Commandino, il cui impegno nel restituire al loro originale rigore i testi fondamentali della matematica greca nasceva anche "dall'esigenza di cercare un modello ideale, un punto di riferimento capace di suscitare interesse ed entusiasmo per la matematica in modo che tale disciplina tornasse ad essere uno dei momenti più significativi del sapere umano"[48].

In sintonia con il suo maestro Commandino, Baldi fece un notevole sforzo per offrire una giustificazione culturale allo studio delle matematiche. L'esempio più imponente di tale sforzo furono senza dubbio *Le vite de' matematici*, nella cui

umanisti, come Johann Sturm (1507-1589) e Conrad Dasypodius (c. 1532-1600), sottolinearono l'importanza della geometria per una buona conoscenza della filosofia di Aristotele. Altri, poi, consideravano la matematica un'arte utile la quale, in quanto tale, poteva essere posta nel *curriculum* accanto alla retorica e una dialettica opportunamente riformata (cfr. Gilbert, *Renaissance Concepts of Method*, cit., pp. 83-86).

[46] Erasmo da Rotterdam (1466-1536) e Juan Luis Vives (1492-1540) non ritenevano che la matematica fosse una disciplina utile per la formazione dell'individuo in quanto tendeva a distrarre le persone dalle principali finalità della vita (cfr. Marie Boas, *Il Rinascimento scientifico (1450-1630)*, Milano, Feltrinelli, 1973). Tale punto di vista era abbastanza diffuso ed era in genere connesso alla preoccupazione per la formazione morale dell'uomo; ad esempio, Enea Silvio Piccolomini (1405-1464) scriveva: "Quamvis enim artes huiusmodi [geometria et logica] in veri vestigatione versentur, earum tamen studio a rebus gerendis abduci contra officium est, quia virtutis omnis laus, ut ille [Cicero] dicit, in actione consistit." Cfr. Enea Silvio Piccolomini, *De liberorum educatione*, in *Opera*, apud Heiricum Petrum Basilare, 1551, p. 975; nella citazione Piccolomini si riferisce a Cicerone (*De off.*, 1.19).

[47] Si veda, ad esempio, la difesa della matematica fatta da Regiomontano (1436-1476) nella prolusione al corso che tenne a Padova nel 1464, in cui "he offers a history of the quadrivial arts (arithmetic, geometry, music, and astronomy) and other important mathematical disciplines from antiquity to his own time, praises their utility, and exhorts his audience to revive the languishing study of mathematics at Padua (cfr. James Steven Byrne, *A Humanist History of Mathematics? Regiomontanus's Padua Oration in Context*, "Journal of the History of Ideas", 67 (2006), pp. 41-61; il brano citato si trova alle pp. 41-42).

[48] Cfr. Micheli, *La traduzione degli Automata*, cit., p. 258.

introduzione Baldi spiegò che era opportuno scrivere le biografie dei matematici così come erano state narrate le vite degli artisti e dei letterati; per lui, le matematiche costituivano un'attività culturale avente la stessa dignità della letteratura e dell'arte. L'urbinate esaltava la matematica perché permetteva "contemplationi purissime" e perché il suo oggetto era "intellettivo e non materiale" ma, allo stesso tempo, valutava altamente il suo valore pratico e la sua capacità di produrre meravigliosi effetti se applicata alla "materia"[49].

Nell'ambito del tentativo di fornire una giustificazione culturale alle scienze matematiche rientra anche il *Discorso di chi traduce*. La scelta dell'introduzione di un'opera scientifica o della sua traduzione come luogo per una difesa della scienze matematiche in generale o di qualche suo ramo in particolare non era certamente una novità, anzi costituiva una prassi

[49] "Si scrivono le vite de' Grammatici, de gli Oratori, de' Sofisti, de' Pittori e d'altre gente di minor conto, e non si scriveranno quelle de' Matematici, da l'industria de' quali il mondo ha imparato a conoscere i movimenti, i numeri, e le grandezze de' cieli, i giri delle stelle, le ragioni dell'eclissi, onde la luna hora si mostri crescente et hor iscema, onde i giorni hor siano lunghi et hor brevi, e tante cose degne di maraviglia e di lode! Ma che dico! Chi ci ha descritto le terre et i mari, e raccolto e misurato in breve spatio il larghissimo aspetto dell'universo? Chi ci ha spiegato quanto giri il maggior cerchio del globo terreno, e quanto si alzino da terra i più elevati monti? Chi ci misura l'hore? Chi col mezo de l'ombre ci divide la luce? Lascio mille altre cose che dai matematici ha imparato il mondo, le cagioni de l'apparenza de l'iridi, de gli baleni, l'altezze delle nuvole e de' vapori, le maraviglie degli specchi così ardenti, come rappresentanti varietà mirabili di figure, e le ragioni de gli artifitiosi inganni della prospettiva. E se queste cose paiono di poco momento, chi mi negherà che da le regole de' matematici non prendono le forme loro le città, le fortezze, i teatri, i palazzi, i tempii, e tutti gli altri edifitii così pubblici come privati? Che da l'ingegno di costoro sono formate in varie guise varii legni marittimi, così da pace come da guerra, e con l'arte dei medesimi nel solcare i larghissimi flutti si governino? De l'utile che da queste scienze vien apportato a chi attende a la guerra non dico nulla, poiché né oppugnationi, né espugnationi, né disposizioni d'eserciti in campagna possono farsi senza l'aiuto loro; queste fabbricano le macchine offensive e difensive, e ne' tempi de la pace in tutte l'opere de gli uomini hanno grandissima parte. E per finirla in una parola, se tu vuoi le contemplationi purissime l'hai ne le matematiche, poiché l'oggetto è di per se stesso intellettivo e non materiale, ma se cerchi l'opere applicandole a la materia, ne trarrai maraviglie" (cfr. Narducci, *Vite inedite*, cit., pp. 351-352).

notevolmente diffusa nel Cinquecento e sono molti gli esempi che si possono fornire al riguardo.

Uno di questi è costituito dall'edizione degli *Elementi* di Euclide di Niccolò Tartaglia (c. 1500-1557), stampati la prima volta nel 1543 e poi varie volte di seguito[50]. Nella prima delle due lezioni introduttive agli *Elementi*, Tartaglia sostenne l'importanza dello studio della matematica per tre ragioni: (1) la capacità della matematica di sviluppare l'ingegno umano; (2) la certezza non opinabile della matematica, (3) l'importanza della matematica in tutte le scienze (liberali e non):

> Queste tali Scientie, over discipline sono state tanto intrinsecamente conosciute da nostri antiqui, che da quelli fu determinato, che la prima cosa, che se dovesse far imparare a tutti quelli, che si dedicavano alla sapienza, fusseno le discipline mathematice (cioè, si come al presente si costuma fare della grammatica.) Et questa determinatione over costitutione fermo per tre cause: Prima perché le dette scientie, over discipline, approvano l'ingegno dell'huomo, se egli è atto a far frutto nelle altre scientie, o no: perché tra quelli si costumava questo proverbio. *Sicut aurum probatur ingegni, et ingenium Mathematicis*: cioè che si come la bontà de l'oro vien conosciuta, e approbata con il fuoco, così l'ingegno dell'huomo vien conosciuto e approvato con le Discipline Mathematice. Et però quando per sorte trovavano alcuno, che di tai scientie non fusse capace, lo levavano da tal cominciato studio, e lo applicavano ad altro esercitio, perché in effetto comprendevano (come dice Vitruvio Polione al primo capo del suo libro) che la dottrina senza lo ingegno ne lo ingegno senza la Dottrina, può fare un perfetto artifice. La seconda causa, perché li nostri antiqui volevano che le Mathematice discipline fusseno le prime imparate, è quella, perché alla intelligentia di quelle non vi occorre alcuna altra scientia. La causa è che per le medesime si sostentano, per le medesime si verificano, per le medesime si approvano, e non per auttorità, over opinone de huomini, come fanno le altre scientie, ma per

[50] Le citazioni sono tratte dall'edizione del 1565: *Euclide megarense acutissimo philosopho, solo introduttore delle scientie mathematice. Diligentemente rassettato, et alla integrita ridotto, per il degno professore di tal scientie Nicolo Tartalea brisciano. Secondo le due tradottioni. Con una ampla espositione dello istesso tradottore di nuovo aggiunta*, Venezia, Appresso Curtio Troiano, 1565.

> demostratione. La terza causa è, che conoscevano tutte le altre scientie, arti, over discipline, haver delle Mathematice bisogno, e non solamente le liberali, e sue dependenti; ma anchora tutte le arte Mecanice [...][51].

Un'operazione analoga di giustificazione culturale delle matematiche si trova nella famosa edizione inglese degli *Elementi* di Euclide[52], curata da Henry Billingsley (m. 1606) e stampata nel 1570, dove il traduttore apre la sua breve introduzione affermando:

> Here is (gentle Reader) nothing (the word of God onely set apart) which so much beautifieth and adorneth the soule and minde of man, as doth the knowledge of good artes and sciences: as the knowledge of naturall and morall Philosophie. The one setteth before our eyes, the creatures of God, both in the heavens above, and in the earth beneath: in which as in a glasse, we beholde the exceding maiestie and wisedome of God, in adorning and beautifying them as we see: in geving unto them such wonderfull and manifolde proprieties, and naturall workinges, and that so diversly and in such varietie: farther in maintaining and conserving them continually, whereby to praise and adore him, as by S. Paule we are taught. The other teacheth us rules and preceptes of vertue, how, in common life amongest men, we ought to walke uprightly [...]. Many other artes also there are which beautifie the minde of man: but of all other none do more garnishe & beautifie it, then those artes which are called Mathematicall. Unto the knowledge of which no man can attaine, without the perfecte knowledge and instruction of the principles, groundes, and Elementes of Geometrie[53].

[51] Ivi, cc. 3r-3v.

[52] Cfr. *The elements of geometrie of the most auncient Philosopher Euclide of Megara. Faithfully (now first) translated into the Englishe toung, by H. Billingsley* [...] *with a very Fruitfull Preface made by M.J. Dee Specyfying the Chief Mathematicall Sciences, What They are, and Whereunto Commodius*, London, Iohan Daye, 1570.

[53] Cfr. l'introduzione del traduttore che reca il titolo *The Translator to the Reader* (le pagine dell'introduzione non sono numerate).

La traduzione di Billingsley contiene una prefazione scritta da John Dee (1527-1608), famoso matematico e mago inglese che collaborò anche con Federico Commandino, il quale è una sorta di manifesto sulla dignità e sull'utilità delle scienze matematiche. Dee usò espressioni quali: "O comfortable allurement, O ravishing perswasion, to deale with a Science, whose Subiect, is so Auncient, so pure, so excellent, so surmounting all creatures, so used of the Almighty and incomprehensible wisdome of the Creator, in the distinct creation of all creatures: in all their distinct partes, properties, natures, and vertues, by order, and most absolute number, brought, from *Nothing*, to the *Formalitie* of their being and state"[54].

Dal canto suo, Rafael Bombelli (1526-1572), nella sua *Algebra*, aprì la prefazione *A gli Lettori* affermando: "Lo so che il mio sarebbe un gettar il tempo se di presente volessi forzarmi con finite parole di far conoscere quanto infinita sia l'eccellenza delle discipline Matematiche"[55] e quindi passò ad esaltare l'importanza dell'algebra per varie discipline con toni retorici e uno stile del tutto simili a quelli poi usati da Baldi nelle sue *Vite de' matematici*[56].

Un caso particolarmente significativo è quello di Agostino Ramelli (1531-c.1600) che fece precedere il suo trattato di ingegneria meccanica, pubblicato in edizione bilingue, italiano e francese nel 1588[57], da una *Prefatione dell'eccelenza delle matematiche, ove si dimostra quanto elle siano necessarie all'acquisto di tutte l'arti liberali*, dove scrisse:

> Se dall'immensa vaghezza de i coloriti fiori suole il viandante nel passare gli ameni, restare in dubbio, qual sia di tutto gli

[54] Cfr John Dee, Prefazione a *The Elements of Geometrie*, cit., pp. n. n.; la prefazione reca il titolo *To the unfained lovers of truthe, and constant studentes of noble sciences, Iohn Dee of London, hartily wisheth grace from heaven, and most prosperous successe in all their honest attemptes andexercises.*

[55] Cfr. *L'Algebra, Opera di Rafael Bombelli da Bologna*, Prima edizione integrale. Introduzione di U. Forti. Prefazione di E. Bortolotti, Milano, Feltrinelli, 1966, p. 7.

[56] Cfr. nota n. 49 <>.

[57] *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli dal ponte della Tresia*, a Parigi, in casa dell'autore con privilegio del Re, 1588.

altri il più nobile, e il più prestante; maraviglia non è, se gli eccelsi filosofi spatiandosi nei colti giardini delle divine scienze, e vedendole tutte drizzate a questo unico fine e principale scopo, d'investigare a pieno la verità e scoprirla al mondo, variamente sentirono a quale di quelle dar dovessero il primo luogo. Nondimeno alla fine scorta dal lor giudicio l'eccellenza anzi il divin theforo delle discipline mathematiche, le preposero a tutte l'altre scienze humane[58].

Si può facilmente notare che la principale tesi portata a sostegno dello studio delle matematiche è la loro utilità, intesa in due sensi principali:

a) le matematiche sono utili in quanto costituiscono un insieme di tecniche e conoscenze pratiche che contribuiscono al progresso materiale delle umanità;
b) le matematiche sono utili in quanto strumento culturale e metodologico importante per lo studio e la piena comprensione delle discipline teoretiche.

Esemplare, a tal proposito, è l'atteggiamento di Alessandro Piccolomini (1508-1579), che nel *Commentarium de certitudine mathemathicarum disciplinarum*[59], un testo che pure critica la scientificità in senso aristotelico delle discipline matematiche[60], sostiene, seguendo Proclo[61] e i commentari greci ad Aristotele[62], che le matematiche sono utili in quanto:

[58] Ivi, pagine non numerate della prefazione.

[59] Il breve trattato costituisce l'appendice (cc. 69r-108r) alla parafrasi dei *Problemi meccanici* pubblicata da Alessandro Piccolomini con il titolo *In Mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis paulo quidam plenior* (Roma, Apud Antonium Bladum, 1547).

[60] Cfr. *infra*, cap. 6.

[61] *In prim. Eucl. elem. libr. comm.*, 19-20; 22-25; 63-64 Friedlein (trad. inglese di Glenn R. Morrow: *Proclus. Commentary on the First Book of Euclid's Elements*, Princeton, Princeton University Press, 1970).

[62] Cfr., ad esempio, il *Proemio* al *De anima* di Filopono (*Ioannis Grammatici Alexandrei Philosophi Cognomento Philoponi In tres libros De Anima Aristotelis breves Annotationes, ex dissertationibus Ammonij Permei, cum quibusdam proprjis meditationibus*, Venetjis, apud Haeredem Hieronymi Scoti, 1581, p. 3 coll. a-b).

1) le matematiche miste favoriscono lo sviluppo delle tecniche militari, del commercio, della politica, dell'architettura, della nautica, ecc.[63];
2) le matematiche pure, in quanto astratte, sono d'aiuto agli studi di teologia e di filosofia[64].

A sostegno delle sue tesi, della seconda in particolare, Piccolomini ricorda anche che Platone avrebbe fatto apporre all'ingresso dell'Accademia una scritta che proibiva l'ingresso a chi non sapeva di geometria[65].

2. La nobiltà della meccanica

Rispetto agli scritti sopra menzionati che miravano a una giustificazione delle matematiche nel loro complesso, il *Discorso di chi traduce* si pone un obiettivo più ristretto: quello di fornire una rivalutazione culturale della meccanica, la quale all'interno delle discipline matematiche soffriva di un particolare pregiudizio.

Baldi, anzi tutto, osserva che nonostante l'ingegno richiesto nella costruzione delle macchine, i loro artefici "sono stimati vili, e persone di niuno conto"[66]; la ragione di ciò è che "essendo le persone che v'attendono plebee, d'animo abietto, mercenarie, e tutte date alla sordidezza del guadagno, le cose trattate ne vengono affette, in un certo modo, e ne perdono quella

[63] Cfr. Piccolonimi, *Commentarium de certitudine mathemathicarum*, cc. 96r-97r.

[64] Nella sua parafrasi ai *Problemi meccanici*, Piccolomini sottolinea particolarmente l'importanza della matematica non solo per le arti pratiche ma anche per la filosofia. Si lamenta, infatti, che lo stato di abbandono della matematica abbia come conseguenza l'incapacità di comprendere i testi antichi, i quali, a suo parere, non sono oscuri o corrotti come da alcuni sostenuto, ma semplicemente risultano incomprensibili per l'ignoranza di certe nozioni. Non è un caso, afferma ancora Piccolomini, che la filosofia langue (Piccolomini, *In Mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis*, cit., c. 6r). Cfr. anche nota n. 45 <>.

[65] "[I]ure optimo [...] Plato, cum mathematicae facultatis, dignitatem et utilitatem inspiceret, inscriptione in Accademia, cautum esse voluti, ne ¡gewmštrhj ingrederetur" (Ivi, cc. 96v-97r).

[66] *Discorso di chi traduce*, p. 161.

reputatione che la loro perfettione dovrebbe apportare loro"[67]. Così mentre la parola "mecanico" per i greci "sonava con titolo honorata di inventore, e fabbricatore di macchine" ora significa "vile mercenario, abietto, volgare, e sordido"[68].

In effetti, l'espressione "vile meccanico"[69] aveva a lungo caratterizzato coloro che si dedicavano all'attività di costruzione di macchine, un genere di lavoro ritenuto inferiore al lavoro intellettuale e al puro pensiero speculativo. Nel Cinquecento le arti meccaniche erano considerate incompatibili con la nobiltà e tale incompatibilità fu ribadita con forza, "un po' in tutta Europa e soprattutto negli Stati italiani, spesso tradizionalmente più tolleranti, soprattutto per quanto riguardava i patriziati urbani e il loro diritto ad esercitare attività mercantili e industriali su larga scala"[70]. Ad esempio, a Venezia, a partire del 1589, una nuova legge stabilì che "le madri dei membri del Maggior Consiglio dovessero provenire da famiglie che, da tre generazioni, non avevano esercitato arti meccaniche"[71]. Anche una parte del mondo della cultura mantenne un certo disprezzo per le arti meccaniche; ad esempio, Jacopo Zabarella (1533-1589) considerò ignobile la meccanica[72] e Robert Sanderson (1587-1663), nel suo trattato *Logicae artis compendium* (del 1618)[73], scrisse: "Disciplinas Mechanicas et Sellularias [...] ut animo liberali indignas, ad eos relegamus qui lucrum ex arte quaerunt, non animi fructum"[74]. Tuttavia, altri esponenti della cultura

[67] *Ibidem.*

[68] *Ibidem.*

[69] Per un'analisi dell'uso del termine "meccanico", si veda Maria Luisa Altieri Biagi, *Vile meccanico*, "Lingua Nostra", 26 (1965), pp. 1-12.

[70] Anna Bellavitis, *"Ars mechanica" e gerarchie sociali a Venezia tra XVI e XVII secolo* in *Le technicien dans la cité en Europe occidentale, 1250-1650*, a cura di M. Arnoux e P. Monnet, Rome, Ecole Française de Rome, 2004, pp. 161-179.

[71] Cfr. Volker Hunecke, *Il patriziato veneziano alla fine della Repubblica*, Roma, 1997, p. 43.

[72] Cfr. Antonino Poppi, *Ricerche sulla teologia e la scienza nella scuola padovana del Cinque e Seicento*, Saveria Mannelli, Rubbettino, 2001, p. 157.

[73] Cfr. Robert Sanderson, *The Works of Robert Sanderson*, a cura di William Jacobson, 6 voll., Oxford, At The University Press. 1864, Vol. VI.

[74] Sanderson, *The Works*, cit., p.181.

rinascimentale presero posizione in difesa della dignità delle arti meccaniche[75]. In particolare, per limitarsi all'ambiente urbinate, si può segnalare che Guidobaldo del Monte, nella *Praefatio* del suo *Mechanicorum liber* pubblicato nel 1577[76], sostenne che erano due le qualità che maggiormente contribuivano al potere degli uomini: la nobiltà e l'utilità[77]. Secondo del Monte, la meccanica aveva entrambe queste qualità; invero, se la nobiltà era una questione di lignaggio, allora la meccanica era certamente nobile in quanto le sue origini potevano essere fatte risalire ad Aristotele. Inoltre, la meccanica era utile in quanto permetteva di dominare la natura: invero, i lavoratori manuali, i costruttori, i trasportatori, gli agricoltori, i marinai e molti altri che svolgevano le loro attività lottando contro le leggi della natura agivano con l'aiuto della meccanica[78]. Quando poi, nel 1581, il *Mechanicorum liber* fu tradotto in italiano da Filippo Pigafetta[79], questi, nella dedica *Ai Lettori*, scrisse:

> Intitulasi [questo libro] le Mechaniche. Ma percioché questa parola Mechaniche non verrà forse intesa da ciascheduno per lo suo vero significato, anzi troveransi di quelli, che stimeranno lei essere voce d'ingiuria, solendosi in molte parti d'Italia dire ad altrui Mechanico per ischerno, e villania; e alcuni per essere chiamati Ingegnieri si prendono sdegno: non sarà per aventura fuori di proposito il ricordare, che Mechanico è vocabolo honoratissimo, dimostrante, secondo Plutarco, mestiero alla Militia pertinente, e convenevole ad

[75] Su tale questione, si veda Paolo Rossi, *I filosofi e le macchine (1400-1700)*, Milano, Feltrinelli, 1962, in particolare il cap. I.

[76] *Guidiubaldi e marchionibus Montis Mechanicorum liber*, Pisauri, apud Hieronymum Concordiam, 1577.

[77] "Duae res (amplissime princeps) quae ad conciliandas hominibus facultates, utilitas nempe, et nobilitas, plurimum valere consueverunt" (Ivi, *Praefatio authoris*, pp. n. n.).

[78] "[Mechanica] phisicarum rerum imperium habet: quandoquidem quodcunque, Fabris, Architectis, Baiulis, Agricolis, Nautis, et quam plurimis alijs (repugnantibus naturae legibus) opitulatur; id omne mechanicum est imperium" (Ivi, pp. n. n. della *Praefatio authoris*).

[79] Cfr. *Le Mecaniche dell'Illustrissimo sig. Guido Ubaldo de' Marchesi del Monte, tradotte in volgare dal sig. Filippo Pigafetta*, Venetia, appresso Francesco di Franceschi Senese, 1581.

huomo di alto affare, e che sappia con le sue mani, e co'l senno mandare ad esecutione opre maravigliose a singulare utilità, e diletto del vivere humano[80].

E dopo aver menzionato gli illustri studiosi di meccanica dell'antichità, Pigafetta affermò che "l'essere Mechanico dunque, e Ingegniero con l'esempio di tanti valent'huomini, è officio da persona degna, e signorile[81].

***

Nel *Discorso di chi traduce* Baldi contrappose la concezione delle arti meccaniche che molti avevano nel Cinquecento a quella dei greci. In realtà, la tradizionale valutazione negativa delle arti meccaniche affondava le sue radici proprio nella cultura classica. Nell'antica Grecia vi era una netta opposizione tra le arti banausiche o meccaniche e le arti liberali che erano praticate per un piacere intellettuale e non per soddisfare necessità fisiche o di altro genere. I termini "banausia" e "banausico", con cui in greco si indicavano il lavoro manuale e l'arte meccanica in generale, avevano un senso fortemente spregiativo connesso all'atteggiamento filosofico e sociale che qualificava certe occupazioni o attività come inferiori e basse (si trattava in genere, ma non esclusivamente, di attività richiedenti lavoro fisico). In latino, lo stesso tipo di valutazione negativa era connesso con le espressioni *artes illiberales, artes sordidae, artes vulgares*[82]. Il giudizio di inferiorità di certe arti era sostanzialmente un giudizio di tipo etico: l'inferiorità derivava non tanto dal carattere tecnologico o dalla manualità ma dal fatto che esse non coinvolgevano l'anima nei suoi aspetti intellettuali e morali ed erano praticate solo per necessità fisiche o per piacere[83]. Una testimonianza di tale atteggiamento si può trovare nella *Politica*, dove Aristotele espresse la connessione tra

80 Ivi, pagina non numerata della prefazione *Ai Lettori*.

81 *Ibidem*.

82 Cfr. Elspeth Whitney, *Paradise Restored: The Mechanical Arts from Antiquity Through the Thirteenth Century*, "Transactions of the American Philosophical Society", 80 (1990), pp. 1-165. Cfr., in particolare, pp. 27-28.

83 Ivi, p. 30.

lavoro manuale, lavoro per soldi, grettezza mentale in questi termini:

> E bisogna ammettere che sono volgari le opere, le arti e gli insegnamenti che rendono inservibili il corpo o il pensiero degli uomini liberi per le pratiche e le azioni nelle quali si realizza la virtù. Perciò chiamiamo volgari tutte quelle arti che peggiorano il corpo e le occupazioni che esercitano per una ricompensa pecuniaria, in quanto occupano e deprimono troppo il pensiero. Il cercare di impadronirsi fino a un certo segno delle scienze liberali non è indegno di un uomo libero; il persistere con eccessiva ostinatezza nella perfezione espone agli stessi rischi che abbiamo sopra menzionato. Ma molto dipende dal fine che ci si propone nell'imparare o praticare qualcosa. Ciò che si fa per se stessi o per gli amici o per praticare la virtù non è illiberale, mentre spesso quella stessa azione compiuta per subordinazione al volere altrui potrebbe sembrare bassa e servile[84].

Aristotele non era di per sé contro le attività manuali e fisiche, ma solo contro quelle che peggioravano le condizioni del corpo e che non erano governate da più alte finalità. Il giudizio morale alla base di tale distinzione era condiviso da altri autori antichi. Così, Galeno distingueva le arti razionali e nobili da quelle banausiche, che richiedevano l'uso del corpo o lo sforzo fisico[85] e Cicerone sosteneva che tutti gli artigiani esercitavano un mestiere volgare (*sordida arte*), privo di qualsiasi ombra di nobiltà; al contrario, erano degne e onorevoli tutte quelle professioni che richiedevano intelligenza e che procuravano inestimabile profitto (tra di esse vi erano l'agricoltura, la medicina, l'architettura e l'insegnamento delle arti liberali)[86].

[84] Aristot., *Pol.*, 1337b 8-22 (trad. italiana in Aristotele, *Politica e Costituzione di Atene*, a cura di Carlo Augusto Viano, 2 voll., Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1992).

[85] Cfr. Galen., *Adnot. ad art. addisc.*, 14 Wenkenbach, citato in Wladyslaw Tatarkiewicz, *History of Aesthetics*, a cura di J. Harrell, Cyril Barrett, D. Petsch, 3 vols., New York, Thoemmes Continuum, 2006, vol. I, pp. 315-316.

[86] Cic., *De off.*, 1, 150-151 : "Iam de artificiis et quaestibus qui liberales habendi qui sordidi sint haec fere accepimus. Primum improbantur ii quaestus qui in odia hominum incurrunt ut portitorum ut feneratorum. Illiberales autem et sordidi quaestus mercennariorum omnium quorum operae non quo-

Un caso esemplare di valutazione di ordine etico delle arti si può trovare nelle lettere a Lucilio di Seneca [87], dove l'autore, richiamandosi a Posidonio, classifica le arti in quattro specie: quelle popolari e rozze, quelle destinate a divertire, quelle che servono all'educazione dei giovani, quelle veramente liberali[88]. Le arti popolari sono quelle degli operai e si esercitano col lavoro manuale per il miglioramento della vita esteriore, senza cercare alcuna forma di dignità e di gloria. Nelle arti della seconda specie, quelle destinate a divertire e che cercano di dare diletto agli occhi e agli orecchi, rientrano le arti dei meccanici che costruiscono ordigni capaci di sollevarsi da sé, palchi che salgono di piano in piano senza rumore e altri congegni del genere. Le arti della terza specie hanno valore per l'educazione giovanile e presentano effettivamente qualche somiglianza con quelle liberali; tuttavia, solo queste ultime si occupano della virtù[89]. Seneca critica l'opinione di Posidonio

rum artes emuntur; est enim in illis ipsa merces auctoramentum servitutis. Sordidi etiam putandi qui mercantur a mercatoribus quod statim vendant; nihil enim proficiant nisi admodum mentiantur; nec vero est quicquam turpius vanitate. Opificesque omnes in sordida arte versantur; nec enim quicquam ingenuum habere potest officina. Minimeque artes eae probandae quae ministrae sunt voluptatum: cetarii lanii coqui fartores piscatores ut ait Terentius; adde huc si placet unguentarios saltatores totumque ludum talarium. Quibus autem artibus aut prudentia maior inest aut non mediocris utilitas quaeritur ut medicina ut architectura ut doctrina rerum honestarum eae sunt iis quorum ordini conveniunt honestae. Mercatura autem si tenuis est sordida putanda est; sin magna et copiosa multa undique apportans multisque sine vanitate inpertiens non est admodum vituperanda; atque etiam si satiata quaestu vel contenta potius ut saepe ex alto in portum ex ipso se portu in agros possessionesque contulit videtur iure optimo posse laudari. Omnium autem rerum ex quibus aliquid adquiritur nihil est agri cultura melius nihil uberius nihil dulcius nihil homine libero dignius. De qua quoniam in Catone Maiore satis multa diximus illim assumes quae ad hunc locum pertinebunt".

[87] Edizione di riferimento: Lucius Annaeus Seneca, *Ad Lucilium epistulae morales*, a cura di L. D. Reynolds, 2 voll., Oxford. Clarendon, 1965.

[88] "Quattuor ait esse artium Posidonius genera: sunt vulgares et sordidae, sunt ludicrae, sunt pueriles, sunt liberales" (Sen., *Epist.*, 88.21.1-2).

[89] "Vulgares opificum, quae manu constant et ad instruendam vitam occupatae sunt, in quibus nulla decoris, nulla honesti simulatio est. Ludicrae sunt quae ad voluptatem oculorum atque aurium tendunt; his adnumeres licet machinatores qui pegmata per se surgentia excogitant et tabulata tacite in sublime crescentia et alias ex inopinato varietates, aut dehiscentibus quae

secondo cui le arti di uso quotidiano e quelle costruire erano invenzioni della filosofia. Posidonio pensava, infatti, che fossero stati i filosofi a insegnare l'arte di costruire agli uomini che fino allora vivevano in caverne, in rupi scavate o in tronchi cavi e che fossero stati ancora i filosofi ad inventare gli arnesi di ferro usati nei mestieri[90]. Seneca nega che queste invenzioni, e quindi le arti tecniche e manuali, abbiano un carattere di sapienza (filosofica): al più sono il frutto dell'ingegnosità[91]. Sono state certamente ideate dalla ragione, ma non dalla retta ragione,

cohaerebant aut his quae distabant sua sponte coeuntibus aut his quae eminebant paulatim in se residentibus. His inperitorum feriuntur oculi, omnia subita quia causas non novere mirantium. Pueriles sunt et aliquid habentes liberalibus simile hae artes quas ™gkukl…ouj Graeci, nostri autem liberales vocant. Solae autem liberales sunt, immo, ut dicam verius, liberae, quibus curae virtus est." (Sen., *Epist.*, 88.21.2-88.23-4).

[90] "Hactenus Posidonio adsentior: artes quidem a philosophia inventas quibus in cotidiano vita utitur non concesserim, nec illi fabricae adseram gloriam. 'Illa' inquit 'sparsos et aut casis tectos aut aliqua rupe suffossa aut exesae arboris trunco docuit tecta moliri.' Ego vero philosophiam iudico non magis excogitasse has machinationes tectorum supra tecta surgentium et urbium urbes prementium quam vivaria piscium in hoc clausa ut tempestatum periculum non adiret gula et quamvis acerrime pelago saeviente haberet luxuria portus suos in quibus distinctos piscium greges saginaret. Quid ais? philosophia homines docuit habere clavem et seram? Quid aliud erat avaritiae signum dare? Philosophia haec cum tanto habitantium periculo inminentia tecta suspendit? Parum enim erat fortuitis tegi et sine arte et sine difficultate naturale invenire sibi aliquod receptaculum. Mihi crede, felix illud saeculum ante architectos fuit, ante tectores. Ista nata sunt iam nascente luxuria, in quadratum tigna decidere et serra per designata currente certa manu trabem scindere; nam primi cuneis scindebant fissile lignum. Non enim tecta cenationi epulum recepturae parabantur, nec in hunc usum pinus aut abies deferebatur longo vehiculorum ordine vicis intrementibus, ut ex illa lacunaria auro gravia penderent. Furcae utrimque suspensae fulciebant casam; spissatis ramalibus ac fronde congesta et in proclive disposita decursus imbribus quamvis magnis erat. Sub his tectis habitavere ⌜sed⌝ securi: culmus liberos texit, sub marmore atque auro servitus habitat. In illo quoque dissentio a Posidonio, quod ferramenta fabrilia excogitata a sapientibus viris iudicat; isto enim modo dicat licet sapientes fuisse per quos tunc laqueis captare feras et fallere visco inventum et magnos canibus circumdare saltus." (Sen., *Epist.*, 90.7.1-90.11.5).

[91] "Omnia enim ista sagacitas hominum, non sapientia invenit." (Sen., *Epist.*, 90.11.6).

cioè dalla ragione indirizzata alle sue finalità supreme[92]. Per Posidonio, tutte le scoperte erano dovute al sapiente: essendo, però, di scarsa rilevanza per occuparsene in prima persona le aveva lasciate all'iniziativa di inferiori e subalterni[93]; per Seneca, invece, i sapienti non si sono minimamente occupati di queste arti che furono ideate da quegli stessi che le praticano[94].

Come ultimo esempio di valutazione negativa di certi arti, ricordo il *De Nuptiis Philologiae et Mercurii* di Marziano Capella, lavoro scritto alla fine del mondo romano e che influenzò molto la cultura medioevale. Capella, invero, esclude la medicina e l'architettura dalla celestiale compagnia delle arti liberali in quanto trattano di questioni mortali e la loro padronanza implica la conoscenze di cose mondane:

> cui Delius Medicinam suggerit Architectonicamque in praeparatis assistere. "Sed quoniam his mortalium rerum cura terrenorumque sollertia est nec cum aethere quicquam habent superisque confine, non incongrue, si fastidio respuuntur, in senatu caelico reticebunt ab ipsa deinceps virgine explorandae discussius"[95].

***

A questo punto, va precisato che l'atteggiamento degli autori antichi rispetto alle arti meccaniche presenta molte sfumature e ambiguità e senza dubbio nella letteratura greca e latina vi sono opere che forniscono un certo sostegno alle tesi secondo cui tali arti erano tenute in alta considerazione; due fatti, in particolare, sembrano confermarla.

- Primo: oltre a quella di tipo etico sopra esaminata, nei testi antichi sono presenti altre classificazioni delle attività umane che rispondono a criteri diversi e non implicano una valutazione di per sé negativa delle arti meccaniche.

[92] "Omnia ista ratio quidem, sed non recta ratio commenta est." (Sen., *Epist.*, 90.24.1-2).

[93] "'Omnia' inquit 'haec sapiens quidem invenit, sed minora quam ut ipse tractaret sordidioribus ministris dedit'." (Sen., *Epist.*, 90.25.1-3).

[94] "Immo non aliis excogitata ista sunt quam quibus hodieque curantur." (Sen., *Epist.*, 90.25.3-4).

[95] Marziano Capella, *De Nuptiis Philologiae et Mercurii*, a cura di Adolfus Dick e Jean Préaux, Stuttgart, Teubner, 1978, pp. 471-472.

- Secondo: gli autori classici spesso mettevano in relazione le matematiche e le arti meccaniche.

Per quanto riguarda il primo punto, le varie classificazioni delle arti che non utilizzavano criteri etici sembrano svilupparsi dalla classificazione aristotelica delle conoscenze in tre generi[96]:

- teoretiche, ossia conoscenze che cercano la verità e hanno finalità esclusivamente conoscitive (metafisica, fisica, matematica);
- pratiche, le quali cercano il sapere per raggiungere la perfezione morale e comprendono etica, economia e politica;
- poietiche o produttive[97], ossia conoscenze mediante si producono certi oggetti (non necessariamente materiali, Aristotele include i poemi tra i prodotti delle arti poietiche).

Dopo Aristotele, vari scrittori ellenistici elaborarono schemi più articolati nei quali era mostrata attenzione verso certe arti connesse ad attività manuali. Tali arti erano, in genere, caratterizzate come attività capaci di usare l'intelligenza per dare forma alla materia. Permaneva, tuttavia, in tali classificazioni una gerarchia di valori, sia pure di tipo intellettuale (e non etico), e le arti meccaniche non ne erano al vertice.

Una di queste classificazioni si trova in uno scolio all'*Ars grammatica* di Dionisio Trace, nel II sec. a. C., dove le arti sono divise in quattro specie:

- teoretiche, quali sono, ad esempio, la filosofia e l'astronomia;

[96] Aristot., *Metaph.*, 993b, 1025b-1026a, 1064b (trad. italiana, a cura di Giovanni Reale, Napoli, Loffredo, 1968).

[97] Un esempio di classificazione delle arti che individua una categoria di arti produttive si trova già in Platone, che, nel *Sofista*, distingue tra tecniche di acquisizione, consistente nello scambio o nel puro e semplice impadronirsi di qualcosa, e tecniche di produzione, capace di portare all'essere "ciò che prima non è"; tuttavia, nell'opera del filosofo ateniese i riferimenti ad attività produttive di beni sono in qualche modo occasionali, in genere esempi o paragoni per illustrare altre nozioni (cfr. Plato, *Soph.*, 219 b-c, trad. italiana Platone, *Dialoghi filosofici*, a cura di Giuseppe Cambiano, 2 voll., Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1970).

- produttive, ossia arti in cui la materia è trasformata in un prodotto artificiale, come accade nella lavorazione dei metalli;
- pratiche, ossia arti che usano strumenti come le arti militari;
- miste, ossia arti in cui si combinano aspetti teoretici, produttivi e pratici, come, ad esempio, la medicina che ha una componente teoretica ma anche una pratica, in quanto comporta operazioni eseguite manualmente[98].

Lucio Tarreo invece divideva le arti in (a) apotelestiche (che usano uno o più materiali, come l'architettura), (b) pratiche (che usano azioni), (c) organiche (che usano strumenti (*organon*) come, ad esempio, il flauto, usato dal flautista), (d) teoretiche[99]. Altre classificazioni simili si trovano in vari altri autori, ad esempio Quintiliano e Plotino[100]. La classificazione di Plotino è basata sul grado di spiritualità delle arti, le quali formano una gerarchia che inizia da quelle più materiali (le arti che producono oggetti fisici, come l'architettura) e finisce con quelle più spirituali, come la geometria, passando per la medicina e l'agricoltura, la pittura, la retorica e la politica[101].

***

Per quanto riguarda la relazione tra le matematiche e le arti banausico, si deve osservare che ad alcune era riconosciuto, fatto che permetteva di attribuire loro i contenuti teoretici delle matematiche. Così, nel *Filebo*, Platone distingue gli artigiani in base al maggiore o minore uso della matematica nelle loro attività[102]. Per Platone, le arti più precise, tra cui

[98] Cfr. Tatarkiewicz, *History of Aesthetics*, cit., vol. I, pp. 316-317.

[99] Cfr. Whitney, *Paradise Restored*, cit., pp. 37-38 e Tatarkiewicz, *History of Aesthetics*, cit., vol. I, p. 311.

[100] Cfr. Whitney, *Paradise Restored*, cit., pp. 38-39 e Tatarkiewicz, *History of Aesthetics*, cit., vol. I, pp. 312.

[101] Cfr. Plotin., *Enn.*, 5.9.11 (trad. inglese di Stephen MacKenna, rivista da B. S. Page, *Plotinus. The Enneads*, London, Faber and Faber Limited, 1966).

[102] Cfr. Plato, *Phil.*, 55e-56b: "SOCRATE: Nelle arti manuali consideriamo prima di tutto se fra esse vi sono quelle che appartengono di più alla scienza e quelle che vi appartengono di meno, e se le prime vanno considerate come le più pure, mentre le seconde come le meno pure.

quella del costruire, usano strumenti e operano misurazioni; le altre ottengono risultati non del tutto affidabili e certi[103].

Il collegamento tra le matematiche e l'arte della costruzione delle macchine fu sottolineato da altri autori, in particolare Aristotele e da vari studiosi di meccanica, come Erone e Pappo. Aristotele accennò nelle sue opere alla nozione di scienze subalterne, la quale costituirà nel Rinascimento l'essenziale supporto epistemologico per lo sviluppo della meccanica come

PROTARCO: Sì, facciamolo.

SOCRATE: Dobbiamo allora distinguere e separare in ciascuna di esse quelle arti che fanno da guida?

PROTARCO: Quali sono e come si può fare?

SOCRATE: Se per esempio uno separasse da tutte le arti, l'arte del contare, quella del misurare e quella del pesare, sarebbe insignificante, così per dire, quel che resterebbe di ciascuna.

PROTARCO: Sì, sarebbe insignificante.

SOCRATE: Dopo queste cose resterebbe il congetturare e l'esercizio dei sensi affinato attraverso l'esperienza e una certa pratica, e si farebbe uso delle potenzialità proprie dell'arte congetturale, potenzialità che molti chiamano con il nome di arte, quando siano rafforzate dall'esercizio e dalla fatica.

PROTARCO: Quello che dici è necessariamente vero.

SOCRATE: E piena di questi esempi è innanzitutto la musica, poiché armonizza gli accordi non tramite la misura, ma attraverso la congettura che deriva dalla pratica, e, all'interno di essa, tutta l'auletica, che cerca la misura di ciascuna nota determinata mediante il congetturare, sicché essa, per effetto di questa mescolanza, contiene molto che non è chiaro, e poco di sicuro.

PROTARCO: Verissimo.

SOCRATE: E troveremo che sono nella stessa situazione l'arte medica, quella che riguarda la coltivazione della terra, quella del pilota, e quella che presiede alla guerra.

PROTARCO: Certamente.

SOCRATE: Quanto all'arte del costruire, poiché fa uso di numerose misure e strumenti, ed è fornita di molta precisione, si presenta, io credo, come la più precisa della maggior parte delle scienze.

PROTARCO: E in quali campi?

SOCRATE: Nella costruzione delle navi e delle case e in molti altri campi ove si costruisca con il legno. Infatti fa uso del regolo, del compasso, del piombino, della cordicella, e di un certo attrezzo che raddrizza i pezzi di legno.

PROTARCO: E dici bene, Socrate.

SOCRATE: Separiamo le arti di cui abbiamo parlato in due parti: ci sono quelle che seguono la musica e nelle loro opere hanno una minore precisione e quelle che seguono l'arte dell'edificare che hanno una maggior precisione".

[103] Si osservi, tuttavia, che per Platone (*Phil.*, 57a) i calcoli usati in commercio e nelle costruzioni sono differenti da quelli dei filosofi.

scienza matematica (si veda il successivo capitolo 3). Dal canto loro, gli studiosi di meccanica del periodo ellenistico e imperiale considerarono la meccanica come un'arte matematica connessa ad attività manuale. Ad esempio, secondo Proclo, Gemino e altri avevano suddiviso la matematica in: (a) geometria e aritmetica, che trattavano solo con forme teoretiche; (b) meccanica, ottica, astronomia e altre arti, che trattavano con oggetti sensibili[104]. Pappo, inoltre, aveva difeso il legame tra la meccanica teorica e quella pratica in quanto esso poteva dare benefici ad entrambe e aveva sostenuto che le attività di lavorazione del metallo, l'architettura, la carpenteria, la pittura erano le parti pratiche della meccanica di cui le teoriche erano basate sull'aritmetica, sulla geometria, sulla musica e sull'astronomia:

> La teoria meccanica, figlio mio Ermodoro, che è utile in molte cose e di rilievo nella vita, è giudicata a buon diritto degna del più grande favore dai filosofi ed è ricercata da tutti i matematici [...] I meccanici seguaci di Erone, dicono che nella meccanica c'è una parte razionale e una manuale e che la parte razionale è composta da geometria, aritmetica, astronomia e dai discorsi sulle cose fisiche, e la manuale dall'arte di lavorare il bronzo, di costruire in legno, dalla pittura e dalla pratica manuale di queste arti [...] Fra tutte le arti che sono soprattutto necessarie ai bisogni della vita vi sono: l'arte dei manganari [...], l'arte dei costruttori di macchine belliche [...] l'arte dei costruttori di macchine chiamate così in senso proprio [...]. Gli antichi chiamano meccanici anche i taumaturghi, di cui alcuni esercitano accuratamente l'arte che si serve dell'aria [...] altri quella che si serve di nervi e sparti, e sembra imitare i movimenti di esseri animati [...] altri quella che si serve dei galleggianti nell'acqua [...] o quella che si serve di orologi ad acqua [...] Chiamano meccanici anche quelli abili nella costruzione di sfere e costruiscono una rappresentazione del cielo [...][105].

[104] Procl., *In prim. Eucl.*, 1.13.38-39.

[105] Cfr. Papp., *Synag.*, 8.1022-1026 Hultsch (trad. di Micheli in *Le origini del concetto di macchina*, Firenze, Leo S. Olschki, 1995, pp. 130-131).

In precedenza, Erone, nella *Pneumatica*, aveva suggerito un parallelismo tra i filosofi che deducono le proprietà teoricamente e i meccanici che traggono dall'esame dei corpi sensibili:

> Essendo che la materia spiritale sia stata riputata dagli antichi, tanto Filosofi, quanto Mecanici degna di molto studio, poiché da quelli con ragioni si dimostra la forza, e efficacia sua, e da questi con l'operatione istessa, che viene appresa da i sensi; habbiamo stimato ispediente di ridurre in ordine quel tanto, che da loro ne fu lasciato scritto, e di più dichiarare ancora quello, che haviamo ritrovato noi, perché così facendo, avverrà, che da hora innanzi si aggiunga molto aiuto a coloro, che a tale professione vorranno attendere [...][106]

Sono soprattutto autori come Erone e Pappo che sembrano offrire un sostegno alla tesi che i "greci" avessero in alto onore la meccanica; ma è difficile considerare tale concezione come tipica del mondo antico, il cui atteggiamento verso la meccanica è rappresentata in modo più adeguato dai giudizi di Seneca o, al più, dall'atteggiamento ambivalente di Aristotele[107]. Come si vedrà nel capitolo 4, Baldi non è uno storico neutrale; per lui, la ricostruzione storica è parte integrante del processo di creazione scientifica. Le fonti antiche sono sentite vive e capaci di dire ancora qualcosa di innovativo; proprio per tale motivo Baldi non intende, con attenzione filologica, ricostruire il pensiero degli antichi ma utilizzare le fonti antiche per una sostenere la tesi, comune ad altri scrittori rinascimentali, che la meccanica è un'arte nobile.

3. La meccanica come scienza subalterna

[106] Cfr. Erone Alessandrino, *Spiritali di Herone Alessandrino ridotti in lingua volgare da Alessandro Giorgi da Urbino*, Urbino, Appresso Bartholomeo e Simone Ragusij fratelli, 1592, c. 7r.

[107] Anche la posizione di Platone presenta, come si è visto, molte ambiguità nei confronti della meccanica e Baldi, nella sua ricostruzione della storia della meccanica, avrà modo di ricordare le critiche che, secondo Plutarco, il filosofo ateniese avrebbe rivolto a chi voleva usare strumenti meccanici in geometria (Plut., *Marc.*, 14). Cfr. *infra*, pp. 55-57 <>.

Nella sua difesa della nobiltà della meccanica, Baldi opera secondo differenti strategie, in parte collegate tra loro. Le due principali consistono:

1) nello stabilire una stretta connessione dell'attività di costruzione di macchine con le matematiche, facendo così la meccanica partecipe, almeno in parte, della natura teorica della matematica;
2) nel ricostruire l'albero genealogico della meccanica, ossia nell'esibire le antiche e gloriose origini che nobilitano la meccanica alla stessa maniera per cui un individuo è nobilitato dall'antico lignaggio.

Oltre alle due strategie principali, Baldi fa ricorso ad altre minori che riguardano espressamente l'automatica. Esse consistono:

3) nello stabilire che l'attività della costruzione delle macchine automatiche ha nobili finalità in quanto si pratica principalmente per un piacere intellettuale;
4) nel riconoscere nelle macchine semoventi la capacità di stimolare l'indagine dei fenomeni naturali.

Per quanto riguarda la prima strategia, Baldi pone lo sviluppo stesso dell'arte meccanica in diretta relazione con il miglioramento delle conoscenze matematiche. Invero, nel *Discorso di chi traduce*, afferma:

> perché queste arti sono fondate su le ragioni Mathematiche, e da credere, che tanto andassero crescendo, quanto quelle di giorno in giorno s'andavano affinando. La onde, havendo ne' tempi di Platone, quando l'Oracolo di Delo eccitò tutta la Grecia a questi studij, con la proposta della duplicazione del cubo, preso queste scienze notabilissimo augumento; crebbe anco a Maraviglia l'eccelenza di quest'arte[108].

E poco dopo aggiunge:

> Che quest'arte poi, come io diceva, cammini di pari passo con le Mathematiche, si conosce di qui, che Archimede Principe di tutti gli altri in questa professione, fabbricò quella

[108] Baldi, *Discorso di chi traduce*, p. 152.

meravigliosa sfera, nella quale egli unì i moti del Sole, della Luna, e de gli altri cinque erranti[109].

A suo parere, "maestro di queste macchine [...] non può essere se non colui, che ha la buona cognitione delle mathematiche"[110]. È la matematica che, unita all'abilità manuale, permette un'adeguata esecuzione di certe attività a un "ingegno perspicace, inventivo e svegliato"[111].

Le parole di Baldi pongono due problemi:

- uno filosofico che verte sulla natura epistemologica della meccanica e sul tipo di relazione che ha con le matematiche;
- uno sociologico che ha per oggetto i riflessi sociali delle relazione tra attività manuali e le matematiche.

Rinviando al successivo capitolo 5 il secondo problema, passo a discutere la prima questione, che Baldi affronta nell'ambito della teoria aristotelica delle scienze subalterne. Nelle *Exercitationes*, in riferimento alla meccanica, scrive:

Hanc porro tractationem subiecto quidem Physicam esse, demonstrationibus vero Geometricam, ipsemet nos docuit Aristoteles, cuius etiam naturæ sunt Perspectiva, Specularia, Musica, et cæteræ eiusdem modi facultates, quas quidem subalternas Peripatetici appellant[112].

Una simile affermazione si trova nel *Discorso di chi traduce*:

Dico dunque, che la divisione, la quale si fa delle subalterne alle Mathematiche, vi è quella parte, o spetie di loro, che ha preso il nome dalle Machine, e si chiama Mechanica, o Machinativa, avvenga che non sempre le dimostrationi Mathematiche versino intorno a gli accidenti proprij delle quantità separate dalla materia: ma talor anco s'adattino a soggetti sensibili, e dimostrano le meraviglie d'alcuni effetti che accaggiono in loro. Così fanno le dimostrazioni i perspettivi, così quelle che rendono le ragioni delle varie apparitioni dell'imagini ne gli specchi, così quelli ancora, che dimostrano onde nasca la forza multiplicata di quelle machine

[109] Ivi, p. 155.
[110] Ivi, p. 162.
[111] *Ibidem*.
[112] *Exercitationes*, *Prefatio*, pp. n. n.

> onde si alzarono grandissimi pesi; e onde pendano gli effetti potentissimi di quelle; dalle quali vengono offese, e difese le mura delle fortezze, e delle Città. Tutte queste sono subalternate alle Mathematiche, percioché, se bene il soggetto è fisico, sono dimostrate per forze di ragioni Mathematiche: la onde Mathematiche sono, in quanto dimostratione; e naturale, in quanto s'aspetta al soggetto, come insegnò benissimo il Filosofo nelli *posteriori Risolutorij*, e nel principio de' *Mecanici*[113].

La nozione di scienza subalterna o subalternata, cui fa riferimento Baldi, è accennata in vari punti del *corpus* aristotelico[114]. Ad esempio, nel sesto libro della *Metafisica*, nel sostenere la superiorità della metafisica rispetto a tutte le altre scienze, Aristotele afferma che ciascuna di tali scienze è limitata a un genere dell'essere intorno a cui svolge la sua indagine[115]. Negli *Analitici posteriori*[116], sostiene poi che le dimostrazioni appartenenti a scienze simili posseggono un proprio genere; se una dimostrazione è trasferita da una scienza a un'altra, il genere deve conservarsi. In caso contrario, è impossibile che una dimostrazione di una scienza lo sia anche per un altra, in quanto se i termini estremi e medi non sono dello stesso genere, essi non riguardano l'essenziale ma

[113] Baldi, *Discorso di chi traduce*, pp. 147-148.

[114] Si vedano al proposito James G. Lennox, *Aristotle, Galileo, and 'Mixed Sciences'* in *Reinterpreting Galileo*, a cura di William A. Wallace, Washington, D.C., 1986, pp. 29-51; Richard D. McKirahan Jr., *Aristotle's Subordinate Sciences*, "British Journal for the History of Science", 11 (1978), pp. 197-220; William A. Wallace, *Aristotelian Influences on Galileo's Thought*, in *Aristotelismo veneto e scienza moderna*, a cura di L. Olivieri, 2 voll., Padova, 1983, vol. I, pp. 349-78; Steven John Livesey, *William of Ockham, the Subalternate Sciences, and Aristotle's Prohibition of Metabasis*, "British Journal for the History of Science", 18 (1985), pp. 127-45.

[115] "[C]i sono principi, elementi e cause anche degli oggetti matematici e, in generale, ogni scienza che consista di ragionamenti o che in qualche misura fa uso del ragionamento tratta di cause e principi più rigorosi o più approssimativi. Tuttavia, tutte queste scienze sono limitate ad un determinato settore o genere dell'essere e svolgono la loro indagine intorno a questo, ma non intorno all'essere considerato in senso assoluto ed in quanto essere" (Aristot., *Metaph.*, 1025b 3-9).

[116] Aristot., *Analyt.*, 75a 37-75b 21. Sugli *Analitici posteriori*, cfr. Mario Mignucci, *L'argomentazione dimostrativa in Aristotele. Commento agli Analitici Secondi*, Padova, Antenore, 1975.

l'accidentale. Ogni scienza, per Aristotele, è autonoma ed è caratterizzata da un proprio genere (ciò di cui la scienza tratta) e da un insieme di attributi (ciò che la scienza dice intorno a quel genere). Nelle dimostrazioni non si può passare da un genere a un altro[117]; pertanto, non si possono provare verità geometriche usando l'aritmetica, in quanto quest'ultima e la geometria hanno generi differenti, né si possono applicare dimostrazioni aritmetiche alle proprietà delle grandezze a meno che codeste non siano numeri. La geometria, a sua volta, può provare solo le proprietà delle linee in quanto linee. Ad esempio, non si può mostrare che la linea retta è quella più bella, in quanto le qualità non appartengono alle linee in virtù del loro genere ma attraverso proprietà che condividono con altri generi[118].

[117] "È una la scienza di un solo genere: di tutte le cose che constano dei primi [principi di esso] e che [ne] sono parti, o affezioni per sé di queste. Invece una scienza è diversa da un'altra [quando] tutti i suoi principi né procedono dalle stesse cose, né gli uni dagli altri. Se ne ha un segno quando si sia pervenuti alle [proposizioni] anapodittiche: infatti esse devono essere nello stesso genere di quelle dimostrate. Si ha un segno anche di questo, quando ciò che è dimostrato mediante esse sia del medesimo genere, cioè sia omogeneo" (Aristot., *Analyt.*, 87a 38-87b 4; trad. italiana Aristotele, *Organon*, a cura di Marcello Zanatta, 2 voll., Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1996, vol. II).

[118] È interessante notare che l'autonomia delle singole scienze è un principio considerato ancora valido nel Cinquecento; invero Girolamo Cardano (1501-1576) rifiuta la spiegazione fornita dall'autore dei *Problemi meccanici* del cosiddetto paradosso della ruota di Aristotele in quanto vengono usati principi di filosofia naturale per risolvere un problema matematico: "Primum quod ipsemet Aristoteles de hoc nos docuit in primo Posteriorum dicens. Non est igitur ex uno in aliud genus transcendentem demonstrare, ut Geometricum Arithmetica. Et Averroes in Commento magno inquit, ea verba exponens. Fieri non potest, ut demonstratio transferatur de arte in artem. Et ibidem docet, quod neque ut ambæ præmissæ sint communes, neque etiam maior tantum, sicut exponebat Alpharabices. Verum dicit, solum licet in artibus, quæ sunt in comparatione generis ad speciem, ut sit conclusio veluti physica maior propositio, in subiecta scientia veluti medicina. Unde concludit Philosophus. Propter hoc Geometriae non licet demonstrare quod contrariorum una est scientia: sed neque quod duo cubi cubus, neque alij scientiæ quod alterius: nisi in his quæ ita inter se habent ut altera sub altera sit, veluti perspectiva ad Geometricam, et harmonica ad Arithmeticam. Et post docet quod etiam non licet demonstrare ex communibus: hæc igitur ratio est ex alienis genere atque communi-

Esiste, tuttavia, per Aristotele, la possibilità che la proprietà di una scienza sia dimostrata per mezzo di un'altra scienza: quando il genere dell'una cade sotto quello dell'altra. Se tale circostanza si verifica, la prima scienza è detta subordinata all'altra. È il caso dell'ottica che è subordinata alla geometria, dell'armonica all'aritmetica, della meccanica alla stereometria. Per Aristotele, le scienze subordinate prendono a prestito dalle scienze subordinanti prove e principi[119]. L'esistenza delle scienze subordinate è possibile perché certune considerano gli oggetti di cui trattano non in quanto concreti e fisici ma in quanto astratti e matematici. Ad esempio, nella *Metafisica*, Aristotele afferma che l'ottica e l'armonica non considerano il loro oggetto in quanto vista o suono, ma in quanto linee o numeri e ciò vale anche per la meccanica[120]. Per questo motivo il principio di autonomia di ogni scienza non è violato dall'applicazione dei principi matematici ad oggetti naturali.

La relazione tra scienze subordinate e subordinanti è resa, però, più complessa dal differente ruolo che rivestono nell'ambito della teoria aristotelica della conoscenza scientifica, con specifico riferimento al concetto di dimostrazione. Invero, nel primo libro degli *Analitici posteriori* (78a 23-b3), Aristotele distingue tra due tipi di dimostrazione:

1) la dimostrazione del fatto, o del *che*, ossia di come sono le cose (nella terminologia medievale e rinascimentale, *demonstratio quia*)[121];

bus" (cfr. Gerolamo Cardano, *Opus Novum de Proportionibus numerorum, motuum, ponderum, aliarumque rerum mensurandam [...]*, Basileae, ex officina Henripetriciana, 1570, p. 221).

[119] McKirahan, *Aristotle's Subordinate Sciences*, cit., p. 202.

[120] Aristot., *Metaph.*, 1078a 13-17. Nella *Fisica*, Aristotele osserva anche: "le [parti] più fisiche delle matematiche, come l'ottica, l'armonica, l'astronomia [...] in un certo senso stanno [alla fisica] in rapporto inverso alla geometria. Ché la geometria indaga intorno alla linea fisica, ma non in quanto fisica, mentre l'ottica [studia] una linea matematica, ma non in quanto matematica, bensì in quanto fisica" (Aristot., *Phys.*, 196a 7-13; trad. italiana Aristotele *Fisica* a cura di Marcello Zanatta, 2 voll., Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1999).

[121] La dimostrazione del fatto è *a posteriori*, la quale parte dall'effetto per andare alla causa (*demonstratio ab effectibus*) e procede quindi *secundum nos*.

2) la dimostrazione del fatto ragionato o del *perché* le cose sono in un certo modo (*demonstratio propter quid*)[122].

Per Aristotele, le scienze subordinate sono costituite da una parte (empirica) che fornisce la conoscenza del fatto (dimostrazione del *quia*), mentre la conoscenza del fatto ragionato (dimostrazione del *propter quid*) è propria delle scienze subordinanti[123]:

> Qui infatti il conoscere "che" è proprio delle sensazioni, mentre [il conoscere] "perché" è proprio dei matematici: in effetti sono costoro a possedere le dimostrazioni delle cause, e spesso non sanno il "che", come coloro che considerano l'universale sovente non sanno alcunché delle cose individuali per mancanza di ispezione. Queste sono tutte quelle [conoscenze] che, essendo alcunché di diverso per l'essenza, si sono servite delle forme. Ché le [conoscenze] matematiche vertono intorno alle forme: infatti non [si riferiscono] ad un qualche sostrato. Se infatti anche le [conoscenze] geometriche si riferiscono ad un qualche oggetto, non si riferiscono ad un soggetto in quanto tale. E come l'ottica si rapporta alla geometria, anche un'altra [scienza] si rapporta all'ottica: per esempio, il [conoscere] che ha per oggetto l'iride. Ché il sapere "che" è proprio del fisico, mentre il [sapere] "perché" è proprio dell'ottico, o in senso assoluto o in quanto [la sua conoscenza] è conforme alla matematica. E molte anche delle scienze subordinate si rapportano in questo modo: ad esempio la medicina alla geometria. Infatti "che" le ferite circolari guariscono più lentamente è sapere proprio del medico, "perché" è proprio del geometra[124].

In questo brano Aristotele attribuisce alla conoscenza di tipo matematico la ricerca delle cause, laddove la conoscenza dei fenomeni è considerata propria degli empirici; la

[122] È una dimostrazione *a priori*, che procede dalla causa all'effetto (*demonstratio ex causis*) e procede *secundum naturam.*

[123] Aristotele (*Mech.*, 847a 25-29) afferma: "Questi [i problemi meccanici], poi, rispetto ai problemi fisici, non sono né completamente la medesima cosa né completamente distinti, ma sono comuni sia alle speculazioni matematiche sia alle fisiche, poiché il *come* è dimostrato dalle speculazioni matematiche, l'*oggetto* dalle fisiche".

[124] Aristot., *Analyt.*, 79a 1-16.

matematica, quindi, è proposta come conoscenza ragionata sui fatti descritti dalle scienze naturali, idea che sembra influenzare molto i fautori degli studi di meccanica nel Rinascimento. Va, tuttavia, osservato che la precisa interpretazione della nozione di scienze subalterne e il suo ruolo nella gnoseologia di Aristotele è tutt'altro che semplice ed è oggetto di discussione tra gli storici della filosofia, anche perché alcune coppie di scienze subordinate e subordinanti menzionate dallo stagirita non sembrano adattarsi interamente alla sua caratterizzazione della subordinazione. Non sorprende, pertanto, che anche tra i commentatori medievali e rinascimentali vi siano state differenti interpretazioni della nozione di subordinazione, sulle quali non mi soffermo in questa sede[125].

***

Nel Cinquecento e nel Seicento, accanto all'espressione "scienze subalterne" fu usata, e spesso preferita, quella di "matematiche miste"[126] che meglio coglieva la forte

[125] Cfr. John of Reading, *Theology and Science in the Fourteenth Century. The Questions on the Unity and Subalternation of the Sciences from John of Reading's Commentary on the Sentences*, introduzione ed edizione critica a cura di Steven John Livesey, Leiden, 1989, pp. 22-53; Nicholas Jardine, *Epistemology of the Sciences Cambridge History of Renaissance Philosophy*, a cura di C. B. Schmitt e altri, Cambridge, 1988, pp. 685-711; W. A. Wallace, *Traditional Natural Philosophy*, in *Cambridge History of Renaissance Philosophy*, cit., pp. 201-35.

[126] Furono usate anche altre espressioni come "scienze mezze". Ecco la spiegazione di questo termine data in un testo non destinato a un pubblico "specializzato", i *Discorsi* di Annibale Romei, pubblicati nel 1585: "Sono [...] chiamate "scienze subalterne" o "scienze mezze" perché, in quanto al soggetto circa al quale elle si versano, partecipano della naturale, ma in quanto al modo con che provano le loro conchiusioni sono matematiche come quelle che ricevono le conclusioni matematiche per loro princìpii. Tra queste è l'astrologia, che considera i corpi e movimenti celesti, de' quali anco il naturale, ancor che diversamente; la perspettiva, che tratta della linea visibile; la stereometria, che si versa circa a' corpi sodi; la musica, che considera il numero armonico; ed altre simili: e queste sono tutte le scienze ed abiti di che si adorna l'intelletto speculativo coll'investigar e ritrovar il vero" (cfr. *Ferrara e la corte estense nella seconda meta del secolo decimosesto. I discorsi di Annibale Romei*, a cura di Angelo Solerti, Città di Castello, S. Lapi , 1891, p. 289). Su Romei, cfr. Stefano Prandi, *Il "cortegiano" ferrarese. I Discorsi di Annibale Romei e la cultura nobiliare nel Cinquecento*, Firenze, Olschki, 1990.

caratterizzazione in senso matematico che certe discipline avevano e, allo stesso tempo, il loro legame con la fisica[127].

In effetti, la relazione di subordinazione finiva con il dividere le discipline matematiche in due gruppi: le miste e le pure. Le prime, caratterizzate dalla fisicità del loro oggetto, erano subalterne alle seconde, in quanto applicavano i risultati di queste ultime e usavano il loro metodo. Le matematiche pure, che si riducevano a due discipline, l'aritmetica e la geometria[128], dovevano la loro purezza alla natuta astratta del loro oggetto, ritenuto del tutto indipendente dalla materia sensibile. Era comunemente ammesso che tutte le matematiche avessero per oggetto la quantità, ma tale nozione di fatto si differenziava in quantità astratta, di cui trattavano le matematiche pure, e in quella che può essere detta quantità "empirica", in quanto legata in qualche modo al sensibile[129], di

[127] La nozione di matematica mista continuò ad avere importanza nei secoli successivi fino a tutto il Settecento (con significativi cambiamenti) per poi mutarsi nell'Ottocento in quella di matematiche applicate. Il cambiamento non fu semplicemente di nome ma corrispose a una diversa concettualizzazione. Sulle matematiche miste e applicate, cfr. H. M. Mulder, *Pure, Mixed and Applied Mathematics: The Changing Perception of Mathematics Through History*, "Nieuw Archief voor Wiskunde", (4) 8, 1990, pp. 27-41

[128] Cfr., ad esempio, le lezioni introduttive all'*Euclide megarense* di Tartaglia, dove l'autore mostra di condividere l'opinione di Pietro de Aliaco [Pierre d'Ailly (1350-1420)], secondo cui "la Musica, e la Astronomia, e similmente la Perspettiva" non sono "pure Mathematice (come è il vero) ma medie fra le mathematice, e la scientia naturale: Per il che seguita [Pietro de Aliaco] solamente la Arithmetica, e la Geometria esser le pure Mathematice, e tutte l'altre esser medie, over dependenti, e miste delle Mathematice discipline e della scientia naturale" (Tartaglia, *Euclide megarense*, cit., p. 6r).

[129] Un anno dopo la morte di Baldi, Robert Sanderson illustrò le differenze tra matematiche pure e miste con le seguenti parole: "Mathematicarum appellatione variae Disciplinae veniunt intelligendae, sed quae sunt omnes de Quantitate secundum rationem abstracta a Materia sensibili. Abstractio autem talis vel est pura, sine omni concretione cum Materia, vel impura, quae patitur aliqualem cum ipsa concretionem: unde Mathematicae aliae sunt *Purae*, aliae *Mixtae*. Purae sunt, quae considerant Quantitatem pure abstractam a Materia; Mixtae, quae considerant Quantitatem abstractam quidem plurima ex parte a Materia, cum aliquali tamen concretione: unde nonnulli Mathematicas Puras, Abstractas dixerunt, Mixtas, Concretas. Purae, sive Abstractae, sunt duae; Arithmetica, et Geometria: quarum Arithmetica considerat Quantitatem Discretam, habetque pro subjecto Numerum sive Multitudinem; Geometria vero considerat Quantitatem

cui trattavano le matematiche miste. Il carattere astratto della geometria pura era stato magnificamente espresso da Leon Battista Alberti in questi termini:

> Scrivendo *de pictura* in questi brevissimi comentari, acciò che 'l nostro dire sia ben chiaro, piglieremo dai matematici quelle cose in prima quale alla nostra matera apartengano; e conosciutole, quanto l'ingegno ci porgerà, esporremo la pittura dai primi principi della natura. Ma in ogni nostro favellare molto priego si consideri me non come matematico ma come pittore scrivere di queste cose. Quelli col solo ingegno, separata ogni matera, mesurano le forme delle cose. Noi, perché vogliamo le cose essere poste da vedere, per questo useremo quanto dicono più grassa Minerva, e bene stimeremo assai se in qualunque modo in questa certo difficile e da niuno altro che io sappi descritta matera, chi noi leggerà intenderà. Adunque priego i nostri detti sieno come da solo pittore interpretati[130].

Coerente con tale impostazione, Alberti insistette sull'uso di una differente terminologia che rappresentasse la "materialità" dell'arte in opposizione all'immaterialità della geometria:

Continuam, habetque pro subjecto Mensuram, sive Magnitudinem. Mathematicae Mixtae sive Concretae, quodam medio modo se habent inter Scientias Naturales et pure Mathematicas: mšsai propterea dictae Peripateticis, quasi Scientiae Mediae, nec scilicet pure Naturales, nec pure Mathematicae: Mathematicis tamen potius accensendae quam Naturalibus, quia Abstractio in ipsis praevalet Concretioni. Sunt autem Mathematicae Mediae Cosmographia, Optica, et Musica; quarum Cosmographia et Optica considerant Magnitudinem, et subordinantur Geometriae; Musica vero Numerum considerat, et subordinatur Arithmeticae. Cosmographia considerat Quantitatem aliqualiter concretam Materiali Corpore: Optica et Musica Materiali Qualitate; Optica scilicet Visibili, Musica Audibili. Cosmographia considerat Mensuram in toto Mundo et partibus ejus; cui subordinantur Astronomia, de Mensura in Orbe Coelesti; et Geographia, de Mensura in Orbe Terrae. Optica, seu Perspectiva, considerat Mensuram ut est in Luce et Colore. Musica denique Numerum considerat ut in sono est: h.e. Numerum sonorum" (Sanderson, *Logicae artis compendium*, cit., pp. 182-183).

[130] Leon Battista Alberti, *Della Pittura*, edizione a cura di Cecil Grayson, Bari, Laterza, 1980, libro 1, par. 1.

> Dico in principio dobbiamo sapere il punto essere segno quale non si possa dividere in parte. Segno qui appello qualunque cosa stia alla superficie per modo che l'occhio possa vederla. Delle cose quali non possiamo vedere, neuno nega nulla apartenersene al pittore. Solo studia il pittore fingere quello si vede. E i punti, se in ordine costati l'uno all'altro s'agiungono, crescono una linea[131].

Va, infine, notato che la nozione di scienza subordinata (o intermedia o subalterna o mista), quale che fosse il suo significato in Aristotele, fu, nel tardo Cinquecento e poi nel Seicento, di grande importanza nel processo di matematizzazione delle scienze fisiche e, in particolare, dell'astronomia, dell'ottica, della meccanica e dell'idrostatica[132]. Infatti, le scienze subordinate avevano una forma precisa, modellata su alcuni classici trattati, come l'ottica di Euclide[133], opera che presenta le seguenti caratteristiche:

- è scritta in forma sintetica, secondo lo stile degli *Elementi*;
- la trattazione è incentrata su oggetti geometrici come punti, rette, cerchi, che fungono da sostituti di entità o oggetti fisici;
- contiene un insieme di premesse o postulati espressi in termini matematici ma incorporanti un contenuto empirico;

[131] *Ibidem.* Poco oltre Alberti scrive: "Più linee, quasi come nella tela più fili accostati, fanno superficie. Ed è superficie certa parte estrema del corpo, quale si conosce non per la sua alcuna profondità, ma solo per sua longitudine e latitudine e per sue ancora qualità. Delle qualità alcune così stanno perpetue alla superficie che, se non alteri la superficie, nulla indi possano muoversi. Altre sono qualità tali, che rimanendo il medesimo essere della superficie, pur così giaciono a vederle che paiono a chi le guarda mutate. Le qualità perpetue sono due. L'una si conosce per quello ultimo orlo quale chiuda la superficie, e sarà questo orlo chiuso d'una o di più linee" (Ivi, par. 2).

[132] Cfr. Antoni Malet, *Isaac Barrow on the Mathematization of Nature. Theological Voluntarism and the Rise of Geometrical Optics*, "Journal of the History of Ideas", 58 (1997), pp. 265-287.

[133] Cfr. Euclide, *Ottica. Immagini di una teoria della visione.* Saggio introduttivo, trad. integrale e note di Francesca Incardona. Roma, Di Renzo Editore, 1996.

- i risultati sono teoremi geometricamente derivati dai postulati[134].

Tale schema si trova riprodotto in molti trattati e costituiva in ogni caso il riferimento ideale delle scienze subordinate. Si può osservare come l'ottica di Euclide e con questa le altre scienze subalterne costruiscano di fatto quello che, con linguaggio moderno, si può chiamare un modello matematico per lo studio di certi fenomeni. Ovviamente il termine "modello" va preso con molta cautela, in quanto, oltre al fatto che il modello era strettamente sintetico, le scienze subordinate, tra Cinquecento e Seicento, presentavano caratteristiche che le rendevano alquanto differenti dalle moderne scienze fisiche.

In primo luogo, in ottemperanza alla nozione aristotelica di scienza, i principi primi e i postulati di tutte le discipline matematiche, ivi comprese le scienze subalterne, dovevano essere auto-evidenti[135]. Per assicurare l'universalità e il carattere non controverso dei postulati, era preferibile che il loro contenuto fisico fosse semplice, chiaro, diretto.

In secondo luogo, nelle matematiche miste, poteva essere dato un supporto fisico ai teoremi; tuttavia l'idea che osservazioni empiriche fornissero un *test* decisivo per la verità di un risultato geometricamente dedotto era estranea allo spirito e alla strutturazione di tali discipline.

In terzo luogo, i risultati dedotti dai postulati erano considerati veri in due sensi:

- matematicamente, in quanto dedotti correttamente;

[134] McKirahan, *Aristotle's Subordinate Sciences*, cit., pp. 199-201; Albert Lejeune, *Euclide et Ptolémée, deux stades de l'optique géométrique grecque*, "Recueil de travaux d'historie et philologie", serie 3, fasc. 21 (1948).

[135] "Se il sapere è dunque tale, quale abbiamo stabilito, sarà pure necessario che la scienza dimostrativa si costituisca sulla base di premesse vere, prime, immediate, più note della conclusione, anteriori ad essa, e che siano cause di essa: a questo modo, infatti, pure i principi risulteranno propri dell'oggetto provato. In realtà, un sillogismo potrà sussistere anche senza tali premesse, ma una dimostrazione non potrebbe sussistere, poiché allora non produrrebbe scienza" (Aristot., *Analyt.*, 71b 9-25).

- fisicamente, in quanto affermavano qualcosa di vero sul mondo fisico.

Questi due aspetti erano inseparabili nelle scienze subalterne, perché teoremi matematicamente veri dovevano esserlo anche fisicamente. Mancava quindi la distinzione tra verità fisiche e matematiche[136] e ciò dava luogo a una serie di problemi sull'effettiva capacità delle matematiche miste di cogliere il reale e sulla possibilità concreta di una loro utilizzazione in questioni pratiche (si veda capitolo 4).

Tale modo di intendere la matematica mista[137] era condivisa nell'ambiente urbinate. Ad esempio, il *Mechanicorum liber* di del Monte e il *Liber de centro gravitatis solidorum* di Commandino[138] risentono chiaramente della concezione sopra descritta ad iniziare dalla loro struttura esteriore di ispirazione euclidea. Anche Baldi la condivide per quanto le *Exercitationes* non siano strutturate in postulati e teoremi; infatti, nonostante l'abate di Guastalla scelga una forma espositiva differente da quella del *Mechanicorum liber* e del *Liber de centro gravitatis solidorum*, proprio i lavori di Commandino e di del Monte costituiscono il presupposto delle *Exercitationes* e la concezione della meccanica che emerge dalle *Exercitationes* è quella di una scienza che usava

[136] Cfr. Malet, *Isaac Barrow on the Mathematization of Nature*, pp. 275-276. Secondo Malet, fu Barrow che introdusse un'importante innovazione nella matematica mista sintetica cambiando la natura dei principi e delle definizioni e la relazione tra teoria matematica e osservazioni. I principi primi non dovevano essere auto-evidentemente veri ma solo liberi da contraddizione. Barrow introdusse anche una distinzione tra consistenza interna, o verità matematica, di una teoria matematica e la sua verità fisica (ivi, p. 277.).

[137] È oggetto di discussione se tale caratterizzazione si applichi alla scienza greca (soprattutto nella sua fase di massimo sviluppo, si veda Fabio Acerbi, *Concetto e uso dei modelli nella scienza greca antica*, "Koiné", 1/2 (2002), pp. 197-243). In ogni caso non si applica all'astronomia, dove le ipotesi svolgono una funzione (ancora oggi oggetto di discussione) che non è rappresentativa del loro ruolo nelle altre scienze matematiche (Jardine, *Epistemology of the Sciences*, cit., pp. 709-710).

[138] *Federici Commandini Urbinatis Liber De Centro Gravitatis Solidorum, Bononiae*, Ex Officina Alexandri Benacii, 1565.

gli strumenti della geometria sintetica per affermare qualcosa di vero sul mondo fisico.

4. La storia della meccanica

La seconda delle strategie adottate da Baldi nella sua difesa della meccanica consiste nel mostrare quanto fosse antico e illustre il suo lignaggio fornendole un adeguato "albero genealogico", in quanto la nobiltà di una scienza è determinata (anche) dalle sue origini esattamente come quella di una casata è determinata dai suoi antichi progenitori[139]. Per questo motivo, Baldi ripercorre alcune tappe della storia della meccanica e, più precisamente, alcuni episodi della storia dell'automatica, dato che gli *Automati* hanno per argomento le macchine semoventi.

L'approccio di Baldi alla storia della meccanica è ovviamente molto diverso da quello di uno storico moderno. L'urbinate è mosso dall'idea che la meccanica si sia sviluppata seguendo un percorso evolutivo sostanzialmente lineare e privo di qualsiasi rottura concettuale o innovazione strutturale; il progresso nelle scienze è un processo in cui vengono approfonditi caratteri che, nell'essenziale, sono già delineati sin dall'inizio. Tale approccio non è dovuto solo all'obiettivo specifico del *Discorso di chi traduce*; lo stesso atteggiamento può essere, infatti, osservato nelle *Vite de' matematici*, opera in cui, partendo dagli albori della scienza greca e giungendo fino al Cinquecento, l'urbinate presenta una lunga sequenza di figure ideali che costituiscono l'albero genealogico della matematica rinascimentale. Tale genealogia di figure ideali fornisce l'idea di un progresso privo di rotture metodologiche, epistemologiche e concettuali, di un lento e progressivo accumulo di nozioni senza che mai le basi del sapere vengano messe in discussione. La fine della civiltà antica, una causa esterna, aveva prodotto un'interruzione del processo di crescita, poi ripreso recuperando le antiche conoscenze e ripartendo dallo stesso punto dove si era arrestato.

[139] Cfr. *supra*, pp. 25-26.

Tale modo di fare di storia svolgeva una funzione importante nella nascente scienza: dare solidità al nuovo ancorandolo al passato e, alla stesso tempo, attribuire una chiara e univoca direzione al processo storico, il "progresso". Proprio quest'ultima idea costituisce un altro aspetto della ricostruzione storica di Baldi che è opportuno evidenziare. L'abate di Guastalla suggerisce l'idea di un progresso nel campo dell'automatica che dai primi tentativi descritti dagli antichi poeti e dai notevoli successi ottenuti nell'antichità classica è continuato "infino a' tempi nostri"[140], allorquando si producono macchine forse anche superiori a quelle antiche. In Baldi, sembra emergere l'idea per cui i moderni, almeno in qualche ramo del sapere, siano ormai oltre gli antichi. Certo non siamo ancora alla concezione seicentesca dei "nani sulle spalle di giganti"[141], ma indubbiamente, si nota in tutta l'opera di Baldi un ottimismo sulla capacità di crescita della scienza e della tecnica, sulla loro propensione a produrre risultati nuovi.

Baldi inizia la sua narrazione accennando brevemente a due ipotesi circa le idee dei primi costruttori di macchine automatiche. In primo luogo, essi avrebbero tratto spunto dalla naturale tendenza dei corpi gravi a scendere immaginado che il loro moto potesse essere trasmesso ad altri oggetti; in seconda istanza, essi avrebbero utilizzato la "meravigliosa natura del cerchio", di cui parla l'autore dei *Problemi meccanici*[142]. Baldi,

[140] *Discorso di chi traduce*, p. 156.

[141] L'aforisma è attribuito da Giovanni di Salisbury a Bernardo di Chartres: "Dicebat Bernardus Carnotensis non esse quasi nanos gigantium humeris insidentes, ut possimus plura eis et remotiora videre, non utique proprii visus acumine aut eminentia corporis, sed quia in altum subvehimur et extollimur magnitudine gigantea" (cfr. *Metalogicon* III, 4, a cura di C. C. J. Webb, Oxford, 1929, p. 136, 23-27). Per la storia di questo aforisma e, in particolare, per la sua reinterpretazione seicentesca, si veda R. K. Merton, *On the Shoulders of Giants*, The Free Press, New York, 1965; trad. italiana di Virginia Teodori, *Sulle spalle dei giganti*, Il Mulino, Bologna, 1991.

[142] Cfr. *infra*, parte 2. È opportuno, a questo punto, precisare che i *Problemi meccanici* erano nel Cinquecento generalmente attribuiti ad Aristotele. A partire dalla fine dell'Ottocento, la paternità aristotelica dell'opera non è più in genere riconosciuta (ma si veda oltre, pp. 86-87 <>), per tale motivo, molti studiosi si riferiscono all'autore dei *Problemi meccanici* come "pseudo-Aristotele". In questo lavoro, preferisco menzionarlo

quindi, osserva che nelle storie sacre non vi è menzione della scoperta di quest'arte, in quanto l'autore della Bibbia si occupava di "cose gravi, e divine; e questa [la costruzione di macchine automatiche], essendo cosa, che par serva a gli scherzi".[143] Notizie invece si trovano nella letteratura classica e Baldi ricorda la figura di Efesto, il dio del fuoco, degli artigiani e dei fabbri, cui gli antichi poeti attribuivano molte meravigliose creazioni, quali l'armatura di Achille, lo scudo di Ercole e anche le macchine semoventi, descritte nell'*Iliade*, versi che per l'urbinate costituiscono la prova dell'esistenza degli automi in tempi remoti. Altro personaggio mitologico ricordato da Baldi è Dedalo cui la leggenda attribuiva la costruzione di statue lignee che muovevano automaticamente occhi, braccia e gambe. Dedalo avrebbe costruito molte prodigiose creature, come Talos, che faceva ogni giorno il giro di Creta e impediva agli stranieri di entrarvi. Il riferimento al mito di Dedalo non è casuale; per il Baldi e suoi contemporanei "l'artista è un *alter deus* [...] Il suo talento può essere messo a paragone con quello che è il segno distintivo dell'artigiano mitico, di Dedalo costruttore di automi, per la sua capacità di rappresentare esseri dotati di movimenti"[144].

Baldi, quindi, rammenta che gli automi sono menzionati nelle opere di Platone e di Aristotele, i quali fanno loro riferimento per chiarire le proprie concezioni filosofiche. Ad

semplicemente come "Aristotele", sia perché tale trattato fa parte del *corpus aristotelico* sia per evitare inutili complicazioni nella discussione delle tesi di Baldi o di altri studiosi rinascimentali.

[143] *Discorso di chi traduce*, p. 147.

[144] Ilaria Filograsso, *I* Sonetti Romani *di Bernardino Baldi*, in Nenci, *Bernardino Baldi*, cit., pp. 55-79. La citazione è alle pp. 76-77. Anche Filippo Pigafetta, nelle pagine non numerate della prefazione *Ai Lettori* de' *Le Mecaniche*, traduzione italiana del *Mechanicorum liber* di Guidobaldo del Monte, fa iniziare la sua storia della meccanica da Dedalo: "ne gli anticissimi secoli, che passarono avanti la guerra di Troia visse Dedalo Atheniese gran maestro di Mechanica, il quale trovò il primiero la sega, l'ascia, il piombino da torre le diritture, la trivella, l'albero, l'antenna, la vela, e altri ordigni: disegnò in Creta poi quell'intricato labirinto, e alla fine gli convenne fabbricare per se, e per Icaro suo figlio due paia d'ali, e volarsene via per l'aere a guisa d'augelli, come cantano i Poeti".

esempio, Aristotele spiega il moto degli animali paragonandolo a quello degli automi:

> Come gli automi si muovano per il fatto che si genera un piccolo movimento e si sciolgono le corde urtandosi l'un l'altra, e il piccolo carro, che è ciò che è trasportato, muove da sé e di nuovo muove in circolo per il fatto che ha le ruote diseguali (la minore diventa centro allo stesso modo dei rulli), così si muovono gli animali[145].

Proprio tali riferimenti provano, per Baldi, che molte macchine automatiche erano state costruite tra il V e il IV sec. a.C. e che molti dovevano essere gli artigiani impegnati in tale attività. L'urbinate non manca naturalmente di citare i *Problemi meccanici*, opera che ritiene genuinamente aristotelica[146]. I *Problemi meccanici*, come spiega meglio nelle *Exercitationes*, mostrano che Aristotele, il sommo filosofo, non solo aveva in grande considerazione la meccanica ma anche le dava lustro con le sue acutissime elucubrazioni[147].

Baldi non manca di ricordare Archita e Eudosso, Archimede e il planetario da lui costruito e, infine, Ctesibio, Filone di Bisanzio, Erone. Dall'antichità, poi, salta direttamente al Rinascimento e afferma che nel Cinquecento sono state costruite macchine per nulla inferiori a quelle degli antichi: orologi a ruote, fontane, "figurette" che si muovono da se stesse, uccelli che cantano, planetari. In particolare, ricorda una favolosa aquila volante costruita in occasione della visita dell'imperatore a Norimberga, i meravigliosi orologi costruiti da Pietro Griffi (m. 1590)[148] e quello costruito da Giovanni Maria Barocci (m.

[145] Aristot., *De mot. anim.*, 701b 2-8 (trad. italiana in Aristotele, *Opere biologiche*, a cura di Diego Lanza e Mario Vegetti, 2 vol., Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1971).

[146] Cfr. nota n. 142 <> e, *infra*, parte 2, pp. 85-86 <>.

[147] "Isthæc autem considerantibus, facile est conoscere facultatis huius nobilitatem, atque dignitatem; quippe quod summus Philosophus non modo eam probauerit, sed etiam suis acutissimis lucubrationibus illustraverit." (*Exercitationes*, *Preafatio*, pp. n. n.).

[148] Nei suoi *Disticha* Baldi esaltò Pietro Griffi con queste parole: Cum fingas parvos orbes, animesque metalla/Parvula, te parvum dixero Gryphe, Deum (cfr. *Bernardini Baldi urbinatis acad. Innominati et Affiliati Disticha*,

1593)[149], che fu donato a Pio V, macchine che costituiscono i segni di progresso che ormai va oltre l'antico.

Nella ricostruzione storica fatta da Baldi, sono di particolare le considerazioni su Archita e Eudosso. L'urbinate non si limita a ricordare l'interesse di Eudosso per la meccanica e la colomba volante che Archita avrebbe costruito secondo Aulo Gallio: richiama, altresì, l'attenzione sul fatto che il tarantino fu uno dei duplicatori del cubo e sostiene che proprio le ricerche volte alla soluzione di tale problema furono un potente stimolo per gli studi di meccanica, cogliendo così l'occasione per sottolineare la stretta relazione di tale disciplina con le matematiche pure[150]. Interpretando, poi, un brano della *Vita di Marcello* di Plutarco, Baldi afferma che Archita ed Eudosso avrebbero trasferito "le contemplazioni Mathematiche a gli esempij delle cose corporee, e suggette al senso; adornado quasi, come egli [Plutarco] dice, la Geometria di varie Sculture"[151]. Il brano di Plutarco cui Baldi fa riferimento è quanto mai delicato:

> I primi inventori dell'arte meccanica [...] erano stati Eudosso ed Archita, i quali avevano dato pregio e valore alla geometria, applicando i problemi scientifici a cose pratiche e sensibili e dandone così una dimostrazione tangibile. Esempio: il problema delle due medie proporzionali, fondamentale per altre dimostrazioni che ne derivano, provato col mezzo di applicazioni meccaniche e con strumenti che si chiamano mesolabi, tratti da segmenti e da curve. Platone si scagliò contro di loro come persone che abbassavano la geometria e la

Parma, ex officina Erasmi Viotti, p. 28). Su Pietro Griffi, cfr. Enrico Morpurgo, *Dizionario degli orologiai italiani*, Roma, Edizioni La clessidra, 1950, p. 99.

149 Su Giovanni Maria Barrocci, cfr. Enrico Gamba e Vico Montebelli, *Le scienze ad Urbino nel tardo Rinascimento*, Urbino, Quattroventi, 1988, p. 20. Vedi anche *infra*, nota n. 427<>.

150 Pigafetta, invece, nella sua traduzione della meccanica di Guidobaldo del Monte, si limita ad affermare: "Nacquero da poi Eudosso, e Archita Tarentino, ambidue valenti ingegnieri; e di Archita si legge, che lavorò di legno una colomba con tanta maestria, e gonfiata, che da sé volava per l'aria a guisa di viva colomba." (Pigafetta, *Ai Lettori*, pp. n. n., in del Monte, *Le mecaniche*, cit.).

151 Baldi, *Discorso di chi traduce*, p. 151.

> sua essenza, trasferendola dalle speculazioni intellettuali alle pratiche e facendo uso della materia, per la quale il lavoro si rende manuale e plebeo. Da allora la meccanica fu nettamente separata dalla geometria, divenne arte militare e quindi non tenuta in considerazione dai filosofi[152].

Nelle *Quaestiones convivales*, Plutarco offre una testimonianza analoga allorché afferma che Eudosso, Archita e Menecmo, riducendo la soluzione del problema di Delo a costruzioni meccaniche e strumentali, avrebbero distrutto ciò che c'era di buono nella geometria portandola nell'ambito delle cose sensibili[153].

La testimonianza di Plutarco è, però, in contrasto con quella di Eutocio di Ascalona, che, nel suo commentario al trattato archimedeo *Sulla sfera e il cilindro*, riporta una lettera scritta settecento anni prima da Eratostene di Cirene al re Tolomeo III Evergete, in cui dopo aver ricostruito l'origine del problema della duplicazione del cubo, rimprovera Archita ed Eudosso per il motivo opposto. Secondo Eratostene, Archita ed Eudosso non erano stati in grado di costruire strumenti capaci di determinare nella pratica due medie proporzionali pur avendo fornito dimostrazioni geometriche di come fosse possibile trovarle in teoria; solo Menecmo sarebbe parzialmente riuscito a fare ciò[154]. Nel riportare le affermazioni che Plutarco attribuisce a Platone, Baldi scrive di non voler discutere se lo "zelo di Platone fosse buono, o no" ritenendo sufficiente, a tale proposito, ricordare "che da Pietro Ramo nelle scuole Matematiche, egli ne viene agramente ripreso"[155]. Baldi si riferisce alle *Scholarum mathematicarum libri unus et triginta*[156], dove Pierre de la Ramée sostiene:

[152] Plut., *Marc.*, 14 (trad. di Almerico Ribera, in Plutarco, *Vite parallele*, 3 voll. in 6 tomi, Firenze, Sansoni, 1974, vol. I, t. I, p. 499).

[153] Plut., *Quaest. conv.*, 718 e-f.

[154] Cfr. *Archimedis quae supersunt omnia cum Eutocii Ascalonitae commentariis ex recensione Josephi Torelli*, Oxonii, Ex Tipographeo Clarendoniano, 1792, pp. 144-146.

[155] Baldi, *Discorso di chi traduce*, cit., p. 153.

[156] *Petri Rami Scholarum Mathematicarum, libri unus et triginta*, Basileae, per Eusebium Episcopium et Nicolai Fratris haeredes, 1569

> Archytas enim et Eudoxus, ait Plutarchus in Marcello, mathematicas contemplationes ab animo et rebus in mentis intelligentiam tantum cadentibus ad rerum sensilium et corporearum exampla traduxerunt, Geometriam exornates varietate demonstrationis non solum logicae, sed etiam practicae, usum omnino Geometriae in vita permagnum esse docuerunt Ðrganik»; kaˆ mhcanik», haec Geometriae facultas dicta est machinalis et instrumentaria. Verum indignatus Plato quod nobilissimam philosophorum possessionem in vulgus indicarent ac publicarent, et velut arcana philosophiae mysteria proderent, utrumque ab instituto deterruit. Quod factum Platonis equidem laudare non possum: nisi forte possum tam nobilis disciplinae contemplationem quidem otiosam laudare, fructum vero, et usum vituperare, finemque artis improbare[157].

È evidente la difficoltà di Baldi nel conciliare la tesi dell'alto valore in cui erano tenute le meccaniche dagli antichi con la concezione di Platone, ostile ad ogni applicazione pratica della geometria. La posizione che l'urbinate sembra prendere attraverso le parole di Ramo, sarebbe di considerare il punto di vista di Platone (nella formulazione di Plutarco) non rappresentativo della Grecia antica nel suo complesso o, per lo meno, appartenente a una tradizione non condivisibile. Come ho già osservato in precedenza[158], per quanto le evidenze storiche mostrino che, in genere, gli antichi consideravano la meccanica a un livello inferiore rispetto alle arti liberali o, nella migliore delle ipotesi, avevano posizioni ambigue nei suoi confronti, Baldi raccoglie nelle concezioni degli antichi tutto ciò che può essere utile alla rivalutazione dell'*ars mechanica* senza curarsi di una ricostruzione effettiva del loro pensiero. L'assunzione, implicita, di una sostanziale continuità storica permette di liquidare con un rimprovero la concezione di Platone.

[157] Ivi, p.18.
[158] Cfr. *supra*, cap. 2.

5. Matematica, gerarchie sociali e gerarchie intellettuali

La terza giustificazione del valore culturale della meccanica che Baldi fornisce nel *Discorso di chi traduce* è estremamente ambigua in quanto finisce per riproporre, con qualche differenza, l'antica classificazione delle arti su basi etiche. La meccanica, dice Baldi, è nobile perché praticata per un nobile fine:

> Nobili [...] per se stesse sono queste arti; ma ignobilitate da gl'accidenti, che dicevamo, e della nobiltà loro possiamo accorgerci di qui [...] che principalmente è aiutata dalla purità, e dalla finezza dell'intelletto; che non imbratta il corpo che ha molto bisogno della forza di lui, e in somma, che per se stessa non è indirizzata al guadagno ma solamente ad un piacere, che fra quelli del senso, come quello della musica, è puro, e onesto, né meno di quello se ne passa alla ricreazione dell'intelletto[159].

La meccanica è vista come scienza che si pratica (o che si può praticare) per un puro piacere intellettuale, non per finalità pratiche. Per quanto difficilmente la costruzione delle macchine belliche si possa considerare un'attività puramente speculativa, è chiaro che, per Baldi, l'interesse principale verso la meccanica non è di ordine pratico, almeno se con questo termine si denotano interessi materiali immediati. In particolare, poi, la costruzione delle macchine semoventi mira a provocare quella sensazione di meraviglia che scaturisce "dal vedere un effetto non solito, e giudicato impossibile" [160], quali sono appunto gli effetti prodotti da queste macchine. Rinviando al successivo capitolo 7 il tema della meraviglia, ora osservo che quest'ulteriore giustificazione della meccanica mostra come la nobilitazione di tale arte non significhi, di per sé, una rivalutazione del lavoro manuale[161], verso il quale Baldi

[159] Baldi, *Discorso di chi traduce*, cit., p. 164.

[160] Ivi, p. 10v.

[161] Si potrebbero anche ricordare certi confronti tra architettura e pittura risalenti al XVI secolo. Alcuni autori, come John Dee (si veda la citata *Mathematicall Praeface to the Elements of Geometrie*) e John Sute (*The first and*

mantiene un forte distacco. L'abate di Guastalla semplicemente cambia la linea di demarcazione tra le attività considerate nobili e intellettuali e quelle sordide e manuali. L'attività di progettazione e costruzione di macchine rientra tra quelle nobili perché in essa prevale l'ingegno rispetto alla pura e semplice manualità:

> [P]ersone ignoranti [...] senza distinguere fra l'Architetto, e il manuale, hanno dato il nome dell'Architetto al manuale medesimo, come avviene, quando chiamano Comici, quegli infami recitatori di comedie che vanno intorno, dando loro quel nome che non a mimi, e istrioni ma principalmente conviene al sommo artefice, che altro in genere non è che il Poeta medesimo. Il chiamar dunque Mecanici, i Ministri de' Mecanici ha cosperso il nome di quella bruttura che hoggidi porta seco[162].

Baldi, quindi, separa la figura del meccanico da quella del ministro del meccanico, ossia l'architetto e l'ingegnere, che facendo ricorso alle loro conoscenze e al loro ingegno, concepiscono, progettano e dirigono la costruzione delle macchine, dall'operaio che materialmente realizza le macchine operando secondo le istruzioni dei primi due. Le attività di ingegnere e di architetto sono considerate intellettuali e liberali e nulla hanno a che vedere con quelle manuali.

Nei capitoli precedenti, ho mostrato come la stretta connessione tra matematica e meccanica svolga una funzione importante nella rivendicazione della nobiltà di quest'ultima; alla luce di quanto proposto, si deve anche osservare che la rivendicazione della natura matematica di certe discipline giochi un ruolo notevole nell'attribuire uno *status* sociale più elevato degli ingegneri e agli architetti. La trattatistica dell'epoca, spesso, insiste sul contenuto matematico dell'attività del costruttore di macchine, dell'ingegnere, dell'architetto. In quanto matematici, gli ingegneri e gli architetti hanno una piena consapevolezza dei loro saperi tecnici, ne conoscono

chief groundes of architecture, London, 1563; ristampa London, Country Life, 1912), sostennero la superiorità dell'architettura sulla pittura anche per i fondamenti matematici della prima e per il carattere "manuale" della seconda.

[162] Baldi, *Discorso di chi traduce*, cit., pp. 163-164.

l'origine e la storia, sanno offrire una spiegazione motivata di certi procedimenti e si distinguono in questo modo dai lavoratori manuali. Ad esempio, nel suo *Mechanicarum liber*, Guidobaldo del Monte mostra di pensare che la piena comprensione teoretica delle cause di certi effetti andasse al di là della portata dei lavoratori manuali e caratterizzasse quindi l'attività dell'ingegnere[163].

Le basi intellettuali per tale concezione si potevano facilmente trovare negli antichi. Aristotele, invero, afferma che i maestri di una qualsiasi arte ("quelli che dirigono") sono più importanti, più sapienti e hanno maggiore conoscenza dei lavoratori manuali, perché conoscono le cause delle opere che vengono eseguite. I lavoratori manuali sono simili a cose inanimate che operano senza sapere ciò che fanno, come, ad esempio, il fuoco quando brucia un certo oggetto. Le cose inanimate agiscono seguendo la loro natura, alla stessa maniera i lavoratori manuali eseguono le loro attività per consuetudine. Coloro che posseggono l'arte, afferma Aristotele, sono più sapienti dei lavoratori manuali non perché sanno fare le cose ma perché posseggono la ragione di ciò che fanno e ne conoscono le cause[164].

Similmente Vitruvio aveva sostenuto che in tutte le materie, e in particolare nell'architettura, si devono considerare due aspetti:

- le cose significate, ossia l'oggetto del discorso,
- ciò che dà significato alle cose oggetto del discorso, ossia la dimostrazione delle cose significate fatta secondo le ragioni della dottrina[165].

[163] Sull'atteggiamento di del Monte, cfr. Mary Henninger-Voss, *Working Machines and Noble Mechanics: Guidobaldo del Monte and the Translation of Knowledge*, "Isis", 91 (2000), pp. 233-259, in particolare, p. 244.

[164] Aristot., *Metaph.*, 981a 30-981b 7.

[165] Cfr. Vitr., 1.1.3: "Cum in omnibus enim rebus, tum maxime etiam in architectura haec duo insunt, quod significatur et quod significat. Significatur proposita res de qua dicitur, hanc autem significat demonstratio rationibus doctrinarum esplicata" (Vitruvio, *De Architectura*, a cura di Pierre Gros, trad. e commento di Antonio Corso e Elisa Romano, Torino, Einaudi, 1997, p. 12).

Secondo Vitruvio, un architetto deve essere versato in entrambi gli aspetti. Baldi certamente condivide tale opinione e, nelle *Vite de' matematici*, parla di “architetti pratici”[166], cui contrappone Vitruvio e Alberti, considerati, evidentemente, come architetti che posseggono la teoria. In opposizione agli architetti pratici che applicano nozioni tecniche in modo inconsapevole, Vitruvio e Alberti hanno una piena consapevolezza teorica dei principi che guidano la pratica dell'architettura, e per questo motivo Baldi li inserisce tra i matematici di cui scrive le vite.

Nelle *Exercitationes*, inoltre, Baldi nota che Vitruvio considera la meccanica come una delle tre sezioni[167] in cui divide l'architettura (le altre due sono l'edilizia e la gnomonica)[168]. In apparenza, la meccanica sembra inferiore all'architettura, in quanto il meccanico è soggetto all'architetto; tuttavia se si va ad indagare quali siano le altre arti pertinenti all'architettura, si osserva che esse sono servili o artigianali e, quindi, di rango inferiore alla meccanica. In effetti, sembra dire Baldi, è propria la meccanica che conferisce dignità intellettuale all'architettura: anzi, ad essere precisi, è quella parte della meccanica che Pappo, nel libro VIII delle sue *Collezioni matematiche*[169], chiama meccanica razionale e a cui contrappone quella chirurgica o manuale o pratica. La meccanica razionale o teorica, spiega Baldi, opera con ricerche e dimostrazioni teoriche secondo il metodo della geometria, dell'aritmetica e della fisica; invece la meccanica chirurgica tratta la materia e si articola nelle diverse arti del bronzo, del legno, della scultura, della pittura, dell'edilizia, della costruzione delle macchine,

[166] “Taccia dunque la turba degli architetti pratici se io scriverò di Vitruvio e di Leon Battista e non di loro, perché eglino ornati, come si dice, di tutte l'arme hanno ragione di militia nell'esercito dei matematici, de' quali io vo scrivendo le vite” (Narducci, *Vite inedite*, cit. p. 80).

[167] “Partes ipsius architecturae sunt tres, aedificatio, gnomonice, machinatio” (Vitr., 1.3.1).

[168] “Vitruvius Architecturæ membrum, ut ita dicam, et portionem quandam facit, ait enim Architecturæ partes esse tres, Aedificationem, Gnomonicam, Machinationem” (*Exercitationes*, *Praefatio authoris*, pp. n. n.).

[169] Cfr. *supra*, p. 36.<>

delle creazioni curiosi e nelle altre arti dello stesso genere[170]. Si noti come in Baldi la gerarchia intellettuale tra le varie discipline tecnico-scientifiche tenda a trasformarsi in un ordine sociale tra coloro che praticano tali discipline[171].

Per concludere questo capitolo, è opportuno osservare che vari autori rinascimentali mostrano idee analoghe a quelle dell'abate di Guastalla sul ruolo che la matematica deve svolgere nell'architettura. Ad esempio, Daniele Barbaro, nel suo commento a Vitruvio, pubblicato nel 1556, scrive:

> Ho similmente aggiunti molti discorsi [ai libri di Vitruvio], e molte belle pratiche, eccitando gli studiosi della verità a fare qualche bella cosa, e a ponere le spalle sotto a questa honorata impresa, nella quale molti si sono inutilmente affaticati, per essere impresa di persone letterate, e pratiche, le quali due conditioni di raro si ritrovano in un soggetto, e sono più che necessarie, se l'huomo vuole havere, et la cosa, et il nome di Architetto. E io ho veduto gli scritti di molti, che fanno professione di Architetti, e non sanno fare distintione tra la Theorica, e la pratica: e insegnando a tirare le linee semplicemente, senza le dimostrationi mathematiche, pensano, che quella sia la Theorica, e a questo modo non hanno né Theorica, né pratica; perché la Theorica si riferisce alla pratica, e la pratica dipende dalla Theorica: e in somma chi non ha le mathematiche, non ha la Theorica[172].

L'uso della matematica e della sua metodologia – le dimostrazioni matematiche –, viene a caratterizzare l'architettura e a separare la teoria dalla pratica. A parere di

[170] "Dividitur autem Mechanice tota, teste Herone apud Pappum libro octavo, in Rationalem, hoc est, Theoricam et Chirurgicam, id est, manu operatricem, quam Praxim apte dicere valemus. Rationalis, speculationi et demonstrationibus, ex Geometricis, Arithmeticis et Physicis rationibus, dat operam; Chirurgica vero materiam tractat, et sese in varias artes diffundit, Aeraeriam, Lignariam, Sculptoriam, Pictoriam, Aedificatoriam, Machinariam et Thaumaturgicam, cæterasque eiusmodi" (*Exercitationes*, pp. 10-11).

[171] Cfr. Henninger-Voss, *Working Machines and Noble Mechanics*, cit., p. 245.

[172] *I dieci libri dell'Architettura di Vitruvio tradotti e commentati da Monsignor Barbaro*, Venezia, Francesco Marcolini, 1556. Il brano è trattato dalla dedica *Ai lettori*.

Barbaro, le "arti più degne" erano quelle a maggiore contenuto matematico[173].

6. La scienza della meccanica e la sua applicabilità nella pratica dell'ingegnere

A questo punto è opportuno un breve *excursus* su come fosse inteso, all'epoca di Baldi, il problema del relazione tra la meccanica razionale, astratta e matematizzata, e quella chirurgica o meccanica pratica. Si tratta, in effetti, della questione circa l'applicabilità della matematica alla scienza della natura e alla pratica dell'ingegneria, ricca di implicazioni filosofiche ed oggetto, all'epoca, di interessanti discussioni. Ad esempio, Bonaiuto Lorini (1540-1611), nel suo trattato sulle fortificazioni, pubblicato la prima volta nel 1597[174], ritiene necessario "avertire alla differenza, che si ritrova tra il puro Matematico speculativo, e il Mecanico pratico". Infatti, dice Lorini, le proposizioni del matematico riguardano "linee superficie e corpi immaginari e separati della materia", pertanto quando certi teoremi sono applicati a "cose materiali", essi "non rispondono squisitamente". I ragionamenti astratti del matematico incontrano nella pratica difficoltà dovute alla diversità della materia e il meccanico deve sapere prevedere tali difficoltà:

> i concetti mentali del Matematico non ricevono né sono sottoposti a quegli impedimenti, che di sua natura sempre porta seco congiunti la materia, con che opera il Mecanico; per questo, se bene la dimostratione Matematica ne persuade necessariamente, che per essempio, con una linea che habbia la distanza dal sostegno alla forza quadrupla della distanza tra il

[173] *Ibidem.*

[174] Citerò dall'edizione del 1609: *Le fortificationi di Buonaiuto Lorini. Nobile fiorentino. Nuovamente ristampate, corrette e ampliate di tutto quello che mancava per la lor compita perfettione, con l'aggiunta del sesto libro. Dove si mostra, con la Scienza, e con la Pratica, l'ordine di Fortificare le Città, e altri luoghi, con tutti gli avvertimenti, che più possono apportar beneficio, per la sicurtà delle Fortezze, cioè, si tratta della Scienza d'intorno alle regole da formare le Piante delle Fortezze, con le sue misure*, Venezia, Presso Francesco Rampazetto, 1609.

> peso, e il sostegno, e che con la quarta parte della forza si possa levare il peso, nondimeno venendo poi a farne la esperienza in materia, come saria servendoci d'un trave per lieva, dovemo far consideratione del peso di esso trave ancora, e considerare, che sendo la maggior parte di esso trave verso la forza, e la minore verso il peso, verrà con la sua maggior gravità ad accrescer forza alla potenza per alzare, o sostentare esso peso. La onde per l'opposito, in altri casi, l'istessa materia potria apportare impedimento grandissimo, come saria nel dover far muovere ruote materiali intorno a suoi assi, che dall'inegual suo proprio peso possono essere impedite; e massime ancora sostentandosi sopra tali assi, over poli, non ben giusti né concentrati, il che tutto può apportar difficoltà al moto. Dove che il puro matematico se le immagina di niuna gravità e legate intorno a linee e punti indivisibili. E però il giudicio del Mecanico, che deve ordinare, e comandare a gli essecutori dell'opera, consiste in grandissima parte nel sapere prevedere le difficultà, che apportano le diversità delle materie, con che si conviene operare: e tanto più deve in ciò esser cauto quanto che di tali impedimenti accidentali non se ne può dar regola sicura; onde effettualmente si deve credere, che se Archimede non fusse [...] stato così accorto Mecanico, come eccellente Matematico, non haverebbe con le sue maravigliose machine, et altre ingegnose inventioni acquistatosi tanto honore[175].

Pur dando ampio spazio alla teoria nel suo trattato sulle fortificazioni, Lorini sottolinea la differenza tra la teoria matematica e la pratica del costruttore e mette in risalto la necessità che un ingegnere non solo conosca la teoria matematica della meccanica, ossia la meccanica razionale, ma anche che sia un meccanico pratico. Per chiarire il punto di vista di Lorini, considero brevemente la discussione della leva di secondo genere che si trova ne' *Le fortificationi*.

Lorini osserva che se è data la leva AB, con fulcro in A, forza in B e peso in C (fig. 1), e se si suppone che:

- AB=kAC
- la forza è uguale alla k-esima parte del peso,

[175] Ivi, p. 196.

allora la leva è in equilibrio nonostante il peso aggiuntivo dell'asse che costituisce la leva.

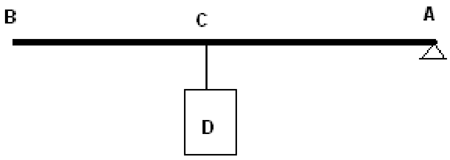

FIG. 1

Lorini nota che tale principio fornisce la spiegazione a uno dei quesiti di Aristotele, precisamente alla *Quaestio XXIX*, in cui si chiede di spiegare perché due persone le quali "portano un peso legato a una stanga, che sopra le spalle dell'uno, e dell'altro si posi, cioè quello che haverà il peso più vicino, durerà tanto più fatica dell'altro, che l'haverà più lontano"[176]. Tuttavia, osserva:

> se il proposto peso fusse dalle due possanze sostentato, e portato per una strada non piana, ma erta overo in pendere, l'effetto saria molto contrario, benché dalle ragioni, e dimostrationi Matematiche ciò non sia approbato, perché si confonderebbe il tutto, poi che il Matematico per fare le sue dimostrationi certe, e vere, suppone sempre ciò fare con le semplice linee astratte dalla materia, e che la gravezza del peso, sia sostentata sopra al piano dell'Orizonte, dove non possa accadere alcuna di quelle diversità, che apporta il moto, e peso de i corpi materiali, e i siti stravaganti, attendendo solo al fondamento della ragione, dal che ne dipende essere le dimostrationi Matematiche, nel primo grado di verità[177].

La menzione del *primo grado di verità* con cui si chiude la precedente citazione è un riferimento alla tradizionale interpretazione della filosofia aristotelica, risalente ad

[176] Lorini, *Le fortificationi*, cit., p. 198.
[177] *Ibidem*.

Averroè[178], secondo cui la matematica aveva il più alto tipo di certezza. La la certezza della matematica era di grado superiore a quella dei sensi; tuttavia, per alcuni filosofi, essa riguardava esclusivamente entità prive di materia e non poteva essere applicata in qualsiasi campo: "Certitudo mathematica non in omnibus expetenda"[179]. Tale opinione poggiava sulla concezione di Aristotele e, in particolare, su un passo della *Metafisica*, dove lo stagirita sosteneva che l'approccio peculiare della matematica non poteva essere richiesto in tutte le conoscenze:

> Non in tutto il reale va ricercato l'approccio accurato peculiare della matematica, ma in ciò che non ha materia: tale metodo (*sc.* quello matematico) non è pertinente alla fisica, proprio perché ogni manifestazione naturale possiede una forma[180].

Nelle parole di Lorini si sente, pertanto, l'eco della lunga discussione filosofica, nota come *quaestio de certitudine mathematicarum*[181], volta a determinare le ragioni per cui la matematica era considerata certa e se tale certezza si conservasse anche quando essa era applicata agli oggetti sensibili, dotati di materia. È difficile dire se Lorini fosse consapevole della discussione nella sua complessità; è tuttavia chiaro che, per lui, la meccanica come scienza astratta e matematica non poteva bastare per la costruzione delle macchine, in quanto carente della conoscenza della materia:

[178] Averroe aveva affermato: "non opertet hominem quaerere ut modus fidei in dimonstrationibus naturalibus sit sicut modus fidei on mathematicis. Demonstrationes enim mathematicae sunt in primis ordine certitudinis; et demonstrationes naturales consequuntur eas in hoc. Certitudo enim diversatur…" (*Aristotelis Methaphisicorum libri XIII cum Averrois commentariis*, Venetiis, apud Iuntas, 1552, c. 17v).

[179] Piccolomini, *In Mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis*, cit., c. 69r.

[180] Aristot., *Metaph.*, 995a 14-20 (trad. di Pietro Cobetto Ghiggia cui va il mio sentito ringraziamento).

[181] Sulla *quaestio de certitudine mathematicarum*, cfr. De Pace, *Le matematiche e il mondo*, cit. Sulla sua influenza nello sviluppo della matematica, cfr. Paolo Mancosu, *Philosophy of Mathematics and Mathematical Practice in the Seventeenth Century*, Oxford, University Press, 1999.

> con la scienza, è necessario la pratica nelle cose materiali, con le quali si elequiscono l'opere reali, e massime le machine per levare pesi, e altro, dove in cambio di linee bisogna servirsi de' travi di legno, e con ferramenti di peso stravaganti[182].

Colui che "havendo [...] fatta pratica", fornito di sole conoscenze teoriche ("con la scienza sola") potrà sì disegnare le macchine sulla "carta" aiutandosi "con le sue chiare dimostrazioni", ma ciò non garantisce la riuscita dell'opera. Infatti, "venendosi poi a fare l'opera, l'effetto sarà molto diverso"; tuttavia ciò avverrà solo per la "diversità della materia" e non perché "le dimostrationi già fatte possano fallare"[183]. In altri termini, la matematica è certa e può essere di aiuto all'ingegnere, ma lo studio dei fenomeni naturali non può essere ridotto a matematica.

La concezione di Lorini ha notevoli somiglianze con quella di Tartaglia. Nei *Quesiti et inventioni diverse*[184], il matematico bresciano, esaminando uno dei quesiti posti nei *Problemi meccanici*[185], osserva difformità tra il comportamento teoricamente previsto delle bilance e quello effettivo ed afferma che la causa di ciò sta nel fatto che le bilance reali sono oggetti materiali e non possono essere costruite con tanta precisione da produrre gli stessi effetti delle bilance ideali, prive di materia, immaginate dalla mente umana; di conseguenza, nella pratica si possono avere effetti contrari a quelli previsti dalla teoria[186]. È vero che la teoria matematica e l'esperienza sensibile presentano differenze e che la teoria matematica della leva può fallire, ma ciò non significa che quest'ultima sia errata,

[182] Lorini, *Le fortificationi*, cit., p. 198.

[183] *Ibidem*.

[184] *Quesiti et inventioni diverse de Nicolo Tartaglia, di novo restampati con una gionta al sesto libro, nella quale si mostra duoi modi di redur una Citta inespugnabile*. In Venetia, per Nicolo de Bascarini, 1554.

[185] Nella traduzione di Baldi: "Quaestio I. Cur maiores librae exactiores sint minoribus?" (*Exercitationes*, p. 15).

[186] "Et la causa di questo inconveniente non procede da altro, che dalla materia, perché le cose costrutte, over fabricate in quella, mai ponno esser così precisamente fatte, come, che con la mente vengono imaginate fuora di essa materia, per il che talhor se viene causar in quelle alcuni effetti molto contrarij alla ragione" (Tartaglia, *Quesiti et inventioni diverse*, cit., c. 78v).

in quanto i criteri con cui si giudica una dimostrazione matematica non possono essere se non quelli propri della matematica. Nel ragionamento matematico non si fa riferimento ad oggetti concreti, immersi nella materia, e proprio per questo motivo le dimostrazioni matematiche sono al primo grado della certezza, pregio cui Tartaglia non vuole rinunciare:

> Et per questo, et altri simili respetti, el Mathematico non accetta, ne consente alle dimostrationi, over probationi fatte per vigor, et autorità di sensi in materia, ma solamente a quelle fatte demostrationi, et argomenti astrati da ogni materia sensibile.
> Et questa causa, le discipline Mathematice non solamente sono giudicate dalli sapienti esser più certe delle naturale, ma quelle esser anchora nel primo grado di certezza.
> Et pero quelle questioni, che con argomenti Mathematici se possono dimostrare, non è cosa conveniente ad approbarle con argomenti naturali.
> Et simelmente quelle, che sono già dimostrate con argomenti Mathematici (che sono più certi) non é da tentare, né da persuader si de certificarle meglio con argomenti naturali, li quali sono men certi[187].

Tartaglia non intende rinunciare alle dimostrazioni matematiche nell'indagine dei fenomeni naturali, tuttavia, al momento di applicare ciò che è stato dedotto con il ragionamento matematico, è necessario verificare che il caso astratto matematico descriva adeguatamente la situazione concreta:

> in effetto tutte quelle cose che nella mente sono conosciute vere, et massime per dimostrationi astratte da ogni materia, ragionevolmente si debbono anchora verificare al senso del vedere in materia (altramente le Mathematice sariano in tutto vane, et di nullo giovamento, over profitto all'huomo [...])[188].

[187] Ivi, cc. 78v-79r.
[188] Ivi, cc. 79v-80r.

Tartaglia pensa che una possibile via di uscita al contrasto tra matematica ed esperienza consista nel considerare la situazione matematica astratta come il modello ideale, razionalmente conosciuto, con cui i casi concreti, materiali, vanno confrontati[189]. Usando una terminologia moderna, che – è bene avvertire – in parte forza la concezione di Tartaglia, si potrebbe dire che il caso ideale è "il" modello matematico che descrive certe situazioni concrete. Nei casi concreti, ossia quando si considerano oggetti materiali e non mentali, la situazione astratta potrebbe non trovare realizzazione; tuttavia, più la situazione concreta si avvicina al modello, più il modello descriverà adeguatamente il fenomeno. Riferendosi al caso della bilancia esaminato nel primo dei quesiti aristotelici, Tartaglia scrive:

> Quando che possibil fosse a darne una così realmente spogliata, et nuda de ogni materia sensibile, come che con la mente vengono considerate, senza alcun dubbio quella saria agilissima, et diligentissima sopra a tutte le libre, over bilance materiale, di quella medesima grandezza, perché quella saria totalmente libera da ogni material impedimento. Et per tanto conchiudendo dico, che quanto più le parti, over membri di una libra, over bilanza materiale, se accostano, over appropinquano alle parti, over membri della non materiale (qual è la originale, over ideale di tutte le materiale) tanto sarà più agile, et diligente di quelle che men vi se accostaranno, over appropinquaranno (di quella medesima grandezza)[190].

Per Tartaglia, la matematica descrive razionalmente un mondo ideale, tuttavia può essere usata per la comprensione di quello reale, a condizione di verificare il modello astratto nel reale e di stabilire i limiti della sua validità dovuti alla presenza della materia. Nulla lascia però pensare che, nella concezione di Tartaglia, il reale possa essere ridotto all'astratto, ossia che la materia e le sue proprietà possano essere ricondotte alla matematica.

[189] Cfr. De Pace, *Le matematiche e il mondo*, cit., pp. 254-255.
[190] Tartaglia, *Quesiti et inventioni diverse*, cit., cc. 79v-80r.

Vari altri studiosi rinascimentali affrontarono le implicazioni del problema dell'applicabilità della matematica allo studio dei fenomeni naturali giungendo a differenti conclusioni. Francesco Barozzi[191], ad esempio, in un opuscolo che reca una dedica a Daniele Barbaro[192], assumendo un punto di vista platonizzante, vede proprio nell'astrazione della matematica il motivo della sua capacità di cogliere gli enti che esistono nella materia intelligibile e ritiene che, per tale motivo, la matematica sia superiore alla filosofia naturale, legata alla materia sensibile, fonte di inintelligibilità e aberrazioni che minacciano la ricerca della verità[193]. Una differente difesa dell'astrazione delle matematiche è proposta da Pietro Catena[194]. Anche Catena segue la concezione platonica ritenendo che gli oggetti della matematica siano entità ideali, innate, eterne e immutabili: tali enti, tuttavia, consentono di cogliere e studiare le proprietà universali dei corpi materiali, le quali si distinguono da quelle accidentali in quanto queste appartengono ai corpi intesi come entità particolari concretamente determinate[195].

[191] *Opusculum, in quo una oratio, et duae quaestiones: altera de certitudine, et altera de medietate mathematicarum continentur*, Patavii, excudebat Gratiosus Perchacinus, 1560. Su Barozzi, si vedano Giulio Cesare Giacobbe, *Francesco Barozzi e la Quaestio de certitudine mathematicarum*, "Physis" 14 (1972), pp. 357-374; Paul Laurence Rose, *A Venetian Patron and Mathematician of the Sixteenth Century: Francesco Barozzi (1537-1604)*, "Studi Veneziani" 1 (1977), pp. 119-178; De Pace, *Le matematiche e il mondo*, cit., pp. 121-185.

[192] La discussione di Barozzi è largamente influenzata dalla sua traduzione del commentario di Proclo al primo libro di Euclide (Proclo Diadoco, *In primum Euclidis Elementorum librum commentariorum ad universam mathematicam disciplinam principium eruditionis tradentium libri 4. A Francisco Barocio patritio Veneto summa opera, cura, ac diligentia cunctis mendis expurgati: scholiis, et figuris, quae in graeco codice omnes desiderabantur aucti. Primum iam Romanae linguae venustate donati, et nunc recens editi. Cum catalogo deorum, et virorum illustrium, atque autorum: elencho librorum, qui vel ab autore, vel ab interprete citati sunt: et indice locupleti notabilium omnium in opere contentorum*, Patavii, excudebat Gratiosus Perchacinus, 1560).

[193] Cfr. De Pace, *Le matematiche e il mondo*, cit., pp. 166-167.

[194] *Universa loca in logicam Aristetolis in mathematicas disciplinas*, Venetiis, F. Marcolini, 1556 (ristampa, a cura di Giuseppe Dell'Anna, Galatina, Congedo, 1992).

[195] Cfr. De Pace, *Le matematiche e il mondo*, cit., pp. 238-239.

Una diversa posizione fu assunta da alcuni filosofi che considerarono la natura astratta della matematica come imperfezione che, da una parte garantisce la sua precisione, ma dall'altra impedisce la comprensione del mondo reale. Alessandro Piccolomini, nel suo *Commentarium de certitudine mathemathicarum disciplinarum*[196], nega la scientificità in senso aristotelico della matematica, ossia la sua capacità di offrire spiegazioni causali. Per Piccolomini, la matematica, avendo per oggetto la quantità astratta, ha le caratteristiche della semplicità e della certezza ma non la capacità di penetrare l'essenza degli enti naturali, prerogativa propria della filosofia naturale. Nella sua *Filosofia naturale*[197], Piccolomini osserva che filosofia naturale e matematiche miste possono avere lo stesso oggetto ma lo trattano in modo del tutto differente. Anche il filosofo naturale considera il punto, le linee, le superficie; per esempio, può menzionare il punto per dimostrare che "quel punto a cui si muovono le cose gravi, sia il centro dell'universo"[198]. Tuttavia, il filosofo considera il punto, le linee, le superficie in quanto "immerse" in "sostanze materiali, et sensate".[199] Invece, il matematico si limita a considerare la quantità separata "con l'intelletto dalle sostanze sensate", ossia la materia non "sensata", ma immaginata e intellettuale. Poiché le cose della natura "non sono senza materia prodotte al mondo", il filosofo "naturale, e contemplativo della natura" non può svolgere la sua indagine senza considerare la materia[200]; il matematico ignora la materia, rimane estraneo alla considerazione delle sostanze e delle loro essenze; di

[196] Per un'analisi del contributo di Piccolomini, cfr. De Pace, *Le matematiche e il mondo*; cit., pp. 21-75; Giulio Cesare Giacobbe, *Il "Commentarium de certitudine mathematicarum disciplinarum" di Alessandro Piccolomini*, "Physis" 15 (1972), pp. 163-193; Daniele Cozzoli, *Alessandro Piccolomini and the certitude of mathematics*, "History and Philosophy of Logic", 28 (2007), pp. 151-171.

[197] Alessandro Piccolomini, *Filosofia naturale. Parte prima*, Venezia, Per Francesco Lorenzini da Turino, 1560, cc. 58v-61r.

[198] Ivi, c. 56v.

[199] Ivi, c. 59r.

[200] *Ibidem*.

conseguenza, la matematica non raggiunge la dignità della vera scienza.

Analogo è il punto di vista di Benedetto Pereira[201], il quale, nel suo *De communibus omnium rerum naturalium principiis et affectionibus*[202], sostiene che la quantità, essendo una mera astrazione slegata dalla considerazione delle forme sostanziali dei corpi naturali, non è in grado di spiegare il reale. L'applicazione della matematica allo studio dei fenomeni naturali può solo chiarire i meri accidenti quantitativi. Ad esempio, nel caso dell'astronomia, Pereira scrive:

> Astrologus de accidentibus caeli maxime considerat magnitudinem, figuram, et motum, quatenus in his accidentibus reperiuntur rationes quaedam Mathematicae, v. gra. ratio maioris, minoris, distantis, propinqui, proportionis, seu proportionalitatis[203].

Per Piccolomini e Pereira, l'astrazione caratterizzava la matematica ma ne costituiva anche il limite, in quanto semplificava la complessità del reale al punto da metterne in dubbio la natura di scienza[204].

Baldi non discute la *quaestio de certitudine mathematicarum*, pur citando, nelle *Vite de' matematici*, il lavoro di Piccolomini su tale argomento[205]; tuttavia, egli appare molto attento alla

[201] Sulla critica di Benedetto Pereira alla matematica come scienza, cfr. De Pace, *Le matematiche e il mondo*, cit., pp. 75-115.

[202] Benedetto Pereira, *De communibus omnium rerum naturalium principiis et affectionibus libri quindecim qui plurimum conferunt, ad eos octo libros Aristotelis, qui de Physico auditu inscribuntur, intelligendos. Adiecti sunt huic operi tres indices, unus capitum singulorum librorum; Alter Quaestionum; Tertius rerum. Omnia vero in hac quarta editione denuo sunt diligentius recognita, et emendata. Cum privilegio, et facultate superiorum*, Romae, Ex officina Iacobi Tornerii et Iacobi Biricchiae, 1585 (la prima edizione fu pubblicata nel 1576). Cfr., in particolare, il cap. XII del primo libro che reca il titolo *Scientiam speculativam non dici univoce de Mathematicis disciplinis et aliis, quoniam doctrina Mathematica non est proprie scientia.*

[203] Ivi, p. 51 col. a.

[204] Cfr. De Pace, *Le matematiche e il mondo*, cit., p. 165.

[205] Baldi, *Le vite de' matematici*, cit. p. 529. Nei confronti di Piccolimini il giudizio di Baldi è buono, ma non entusiastico. Scrive infatti: "In quanto a le matematiche poi, secondo il mio giuditio, non deve porsi fra i primi, cioè fra

relazione tra rappresentazione matematica delle macchine come entità astratte e le quelle reali impregnate di materia. Ad esempio, nella *Quaestio III* dei *Problemi meccanici*, Aristotele chiede di spiegare per quale motivo piccole forze muovono grandi pesi con l'aiuto di una leva nonostante il peso aggiuntivo di quest'ultima: poiché è più facile muovere pesi minori e il peso è minore senza leva, potrebbe sembrare più facile muovere un peso senza leva[206]. Nella formulazione di Aristotele, la leva cui si fa riferimento è concreta ed è considerato sorprendente che l'aggiunta di un peso (la leva stessa) faciliti il movimento anziché aumentarne la difficoltà. Baldi, prima di esaminare la questione da un punto di vista astratto, ossia con leve immateriali, prende esplicitamente in considerazione il peso della leva materiale e osserva che il braccio dove è posta la resistenza è più piccolo dell'altro braccio, ove si trova la potenza. Quindi la maggiore lunghezza del braccio contribuisce ad accrescere la potenza e a sollevare la resistenza: tuttavia, l'aiuto che la maggiore lunghezza del braccio fornisce alla potenza è minimo e non basta a spiegare il funzionamento della leva[207]. Per illustrare questa parte del suo ragionamento Baldi usa una figura in cui la leva ha uno spessore e somiglia a una trave, mentre nel prosieguo della sua discussione, allorché chiarisce il principio matematico della leva, utilizza un'altra figura in cui la leva è ridotta a un segmento.

quelli che avendo atteso solamente a quelle sono giunti al colmo de l'eccellenza" (Ivi, p. 536).

[206] Cfr. Aristot., *Mech.*, 850a 30-33. Ecco la traduzione di Baldi: "Quaestio III. Cur exigua vires (quod etiam a principio dixerat) vecte magna movent pondera, vectes insuper onus accipientes, cum facilius sit, minorem movere gravitatem, minor est autem sine vecte? (*Exercitationes*, p. 34).

[207] Ivi, p. 35.

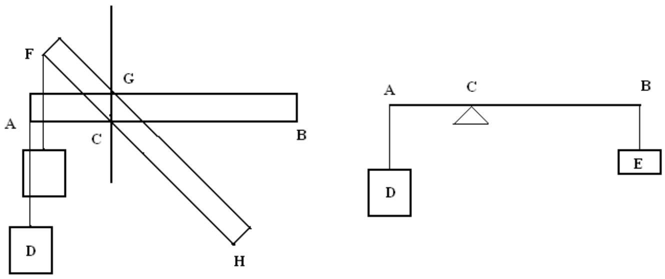

FIG. 2

In varie occasioni, inoltre, Baldi osserva che le previsioni teoriche non hanno successo a causa delle imperfezioni della materia[208]; tuttavia, a suo parere, la vicinanza al caso ideale, al modello geometrico, può spiegare i fenomeni meccanici. Così, nel commento alla *Quaestio XVII*, concernente il cuneo[209], Baldi distingue il matematico, che opera entità immateriali, dal meccanico, che agisce sui corpi materiali e afferma che la capacità del cuneo di penetrare dipende da fatto che il taglio sia una buona approssimazione di una figura geometrica ideale, ossia somigli a una linea sottile immaginaria:

> Cuneo quidem res dividi certum est. Cæterum quæ natura dividere apta sunt, tria sunt, punctum, linea, superficies, Puncto enim linea, linea superficies, superficie autem corpus ipsum dividitur. quæ omnia a Mathematico absque materia considerantur. De divisione autem quæ fit ex puncto, nihil agit Mechanicus, qui corporibus quidem utitur, ad cuius naturam non trahitur punctum, cuius partes sunt nullæ. At non lineis et superficiebus modo corpora dividuntur, sed etiam corporibus, quod verum est, at ea corpora ad linearum et superficierum naturam quodammodo aptari facile docebimus. Dicimus igitur, duplicem esse Cuneorum speciem, linearem unam, superficialem alteram. Linearem appello, quæ ad lineæ

[208] Cfr., ad esempio, *Exercitationes*, p. 22.

[209] "Quaestio XVII. Quærit Aristoteles, Cur parvo existente cuneo magna scindantur pondera et corporum moles, validaque, fiat impressio?" (Ivi, c. 114).

naturam magnopere accedit. Tales sunt orbiculares illæ cuspides, quibus ad perforandum utimur, et ideo vernacule Pantirolos vocamus. Acus item sutorij, et cætera quæ non secus ac linea in punctum desinunt, et imaginariam quandam lineam ceu axem in eo puncto desinentem continent. Ad lineam quoque referuntur latertæ cuspides oblongæ, et subtiles ceu subulæ, clavi, enses, pugiones, et his similia, quæ cum adacta validam faciant partium separationem ad cunei naturam non referre magnæ videretur dementiæ. Et tunc quanto magis corpora hæc ad linearem naturam accedunt, eo magis penetrant. Sed et hoc idem in rebus non ab arte, sed ab ipsa natura productis facile est cognoscere. Quis enim non experitur, quam valide culex, infirmissimum animal, et ea parvitate qua est, hominum et cæterorum animalium, cutes aculeata proboscide penetret? Id utique non alia de caussa fit, quod ad imaginariæ lineæ subtilitatem quam, proxime accedat. Vespæ quoque, Apes, Scorpiones aculeis istis ceu linearibus cuneis utuntur. Nec refert, ut diximus, utrum laterati sint, ceu subulæ, et clavi, vel rotundi et utrum plura pauciorave latera habeant, dummodo in punctum et aculeatam aciem desinant. Altera porro cuneorum species superficiei naturam sapit, acie siquidem in lineam desinit, quæ superficiei est terminus, quamobrem huc ea omnia referuntur, quæ acie ipsa scindunt, ceu sunt cunei proprie dicti, de quibus hoc loco est sermo, cultra, enses, asciæ, secures, scalpra lata, et cætera eiusmodi, quibus corpora acie scinduntur. Quidam his addunt serras, quibus haud prorsus assentimur. Etenim alia ratione dividunt, sicut et limæ solent, deterendo enim, non scindendo ferri, ligni, et marmorum duritiem dividunt et domant. His igitur consideratis, si daretur ex materia quapiam in frangibili cuneus, qui maxime ad superficiei naturam accederet, vel parvo labore tenacissima ligna validissime scinderet, et ideo optime res gladijs illis dividitur, qui magis ad superficiei naturam accedunt. Ex quibus omnibus, ni fallimur, clare patet, cur acutiores angulo cunei obtusioribus facilius scindant, quæ quidem ratio longe ab ea distat, ex qua cæteri fere omnes cuneum ad vectis naturam referre hactenus contenderunt[210].

Un altro esempio notevole è fornito dal commento di Baldi alla *Quaestio XVI*, dove viene chiesto per quale motivo i legni

[210] *Exercitationes*, pp. 117-118.

diventano più fragili quanto più sono lunghi e (se sollevati) si flettono più facilmente di quelli più corti[211]. Aristotele aveva risolto la questione applicando il principio della leva[212]; Baldi, invece, osserva che nella trattazione di tale questione va considerata anche la materia di cui sono composte le aste sottoposte a uno sforzo. Vi sono infatti materiali, come il vetro e il marmo, che non ammettono rarefazioni e condensazioni; altri, invece, non tollerano tali variazioni. Inoltre, i materiali di questo secondo gruppo possono comportarsi in due modi differenti: alcuni, come i virgulti delle piante e le verghe, dopo una sollecitazione riprendono la posizione iniziale rettilinea; altri, come lo stagno e il piombo, non ritornano alla posizione iniziale[213]. Nel suo lungo commento, Baldi cerca poi di coniugare il modello matematico della leva con considerazioni sul comportamento dei corpi solidi ed esplicitamente osserva che i ragionamenti sulla leva non prendono in esame la naturale consistenza dei bracci ma solo i rapporti delle loro lunghezze[214]. Tali ragionamenti vanno, quindi, integrati con

[211] Cfr. Aristot., *Mech.*, 853a 5-8. Baldi traduce: "Quaestio XVI. Dubitatur, quare, quo longoria sunt ligna, tanto imbecillora fiant, et si tolluntur, inflectuntur magis: tametsi quod breve est ceu bicubitum fuerit, tenue, quod vero cubitorum centum crassum?" (*Exercitationes*, p. 95)

[212] "Ex suis principijs soluit Aristoteles. Inquit enim: An quia et vectis et onus et hypomochlium, id est, fulcimentum in levando, fit ipsa ligni proceritas? Prior namque illius pars ceu hypomochlium fit, quod vero in extremo est, pondus: quamobrem quanto extensius fuerit id quod a fulcimento est, in flecti necesse est magis; quo enim plus a fulcimento distat, eo magis incurvari necesse est. Necessario igitur extrema vectis eleuantur. Si igitur flexilis fuerit vectis, ipsum inflecti magis cum extollitur necesse est, quod longis accidit lignis, in brevibus autem quod ultimum est, quiescenti hypomochlio deprope fit" (*Ibidem*).

[213] "Dicimus autem materiam, quatenus ad hanc contemplationem spectat, in duplici esse differentia. aut enim rarefactionis et constipationis est incapax, ut in chalybe videmus, nitro, metallo, marmore, aut capax quidem, et hæc duplex: Vel enim natura nata est ad rectitudinem quandam, ut arborum flagella virgæque, aut non item, ceu stannum, plumbum, et cætera eiusmodi." (Ivi, p. 96)

[214] "Dicet autem quispiam, haec si vera sunt, quo gracilius fuerit fulcrum, eo validius sustinebit, et frangetur minus, quod oppido falsum est. Respondemus, id non ex proportionum natura, sed ex materiæ ipsius infirmitate fieri. Ita quoque invecte non materiam, quatenus ad vim pertinet, sed proportiones partium consideramus. Utrumque igitur requiritur ad fulcri

considerazioni sui materiali per poterli applicare all'esame di certi problemi come la stabilità delle travi[215].

7. Il meraviglioso e il razionale

Oltre alle varie motivazioni discusse nei capitoli precedenti, vi è, a parere di Baldi, un'ulteriore ragione che rende la meccanica nobile e degna di essere studiata: le macchine "eccitano" l'uomo "alla contemplatione delle cause, onde nascono le maraviglie degli effetti loro"[216]. La meccanica, quindi, spinge ad indagare le cause di certi fenomeni e aiuta a comprendere le leggi della natura. Per l'abate di Guastalla, la meccanica è ancora la scienza delle macchine, ma nella sua opera si notano i segni premonitori della sua trasformazione in qualcosa di diverso, nella disciplina che studia le leggi della natura. La lettura delle *Exercitationes* rende anche evidente che Baldi non era in grado di giungere a tale passaggio; tuttavia, la sua attività scientifica (e anche letteraria[217]) contribuisce a creare il clima in cui esso avrà luogo.

La frase di Baldi citata all'inizio di questo capitolo fa cenno alla meraviglia prodotta dalle macchine, tema che è affrontato spesso nel *Discorso di chi traduce* e che trova la sua fonte principale nelle parole che aprono i *Problemi meccanici*:

> Ci si meraviglia delle cose che accadono secondo natura di cui non si conosce la causa, e di quelle contro natura che producono con l'arte per il beneficio degli uomini[218].

validitatem proportio longitudinis ad crassitudinem debita, et materiæ ipsius robur et fortitudo" (Ivi, p. 100).

215 Per un'analisi dettagliata dell'innovativo commento di Baldi alla *Quaestio XVI*, si veda Becchi, *Q. XVI*, cit., in particolare, pp. 60-99.

216 Baldi, *Discorso di chi traduce*, p. 166.

217 Si vedano, ad esempio, le poesie di Baldi in cui vengono personificate le macchine (cfr. Anna Siekiera, *L'ingegno e la maniera di Bernardino Baldi*, c.d.s.).

218 Aristot., *Mech.*, 874a 10-14. L'edizione dei *Problemi meccanici* cui farò riferimento è quella curata da Maria Elisabetta Bottecchia Dehò (Saveria Mannelli, Rubbettino, 2000), completa di un'interessante introduzione e ricche note. Tuttavia, per quanto riguarda la traduzione non sempre ne farò

Per Baldi, le macchine semoventi servono principalmente a produrre meraviglia; il tono delle sue parole fa venire in mente l'immagine di certi giardini rinascimentali, con i loro mirabolanti giochi d'acqua, e la ricerca del meraviglioso cui tenderà la poesia nel giro di qualche anno. Tuttavia, l'atteggiamento di Baldi rispetto al tema della meraviglia è ambivalente. Quella che le macchine suscitano in uno spettatore è prodotta da un effetto su una persona che non ne conosce la causa[219]. La meraviglia stupisce lo spettatore ma non il dotto che ha il compito di studiarne le cause e di spiegarla, in un certo senso, distruggendola[220].

"La meraviglia non è più meraviglia" (*Wonder en is gheen wonder*), scriverà nel 1605 Simon Stevin (1548-1620), nel frontespizio dei suoi *Hypomnemata Mathematica*[221]. Baldi non è così esplicito, ma chiaramente si muove lungo la stessa linea di pensiero implicante la ricerca di spiegazioni razionali dei fenomeni naturali. Il meraviglioso di Baldi non scaturisce dal magico o dal mistico o dall'irrazionale: piuttosto, la meraviglia generata dalle macchine è meramente razionale, nasce, cioè, dalla conoscenza razionale dello scienziato o dell'ingegnere che controlla la natura per raggiungere i suoi scopi. Né poteva essere diversamente, in quanto Baldi opera una netta distinzione tra magia e scienza, che, nella sua prefazione agli *Automati*, è giustificata anche con motivi di ordine morale. Le

uso, preferendo a volte, come in questo caso, utilizzare i brani nella versione di Micheli (*Le origini*, cit.), e per alcuni passi quella fornitami da Pietro Cobetto Ghiggia.

[219] Anche Guidobaldo del Monte, sia nel saggio introduttivo del suo *In duos Archimedis Aequiponderantium libros Paraphrasis*, sia nel *De cochlea*, ultimo parte del *Mechanicorum liber*, parla della differenza tra l'ammirazione suscitata nelle persone che conoscono solo gli effetti e la comprensione razionale di chi conosce le cause (cfr. M. Henninger-Voss, *Working Machines and Noble Mechanics*, cit., p. 244).

[220] Tale scopo è importante per Baldi, che, ad esempio, nelle *Exercitationes* descriverà le meravigliose proprietà del cerchio (i "miracoli" dice l'urbinate) a cui l'autore dei *Problemi meccanici* intende ridurre gli effetti sorprendenti delle macchine (cfr. parte 2).

[221] Simon Stevin, *Hypomnemata Mathematica*, Ludguni Batavorum (Leida), ex Officina Ioannis Patii,1608. Il motto si trova in una figura ad ornamento del frontespizio del trattato usata per esprimere la legge del piano inclinato.

macchine, egli afferma, possono dare un "onesto e virtuoso piacere", anche perché tutti gli artifici dipendono dall'ingegno e non da arti diaboliche "come sono quelle de gli incantatori, che con l'aiuto di mali spiriti fanno travedere"[222]. L'arte meccanica è una magia naturale, ossia si serve di principi naturali che conosce e applica in modo opportuno; la magia si serve invece di principi soprannaturali e diabolici.

È in tale contesto che va considerata la scarsa attenzione che Baldi mostra verso alcuni aspetti mistico-magici della matematica e l'esplicito rifiuto di altri. Nelle sue opere Baldi invero non fa alcun accenno alla simbologia dei numeri che aveva una certa importanza in Vitruvio[223]. Tale aspetto era stato apprezzato dagli umanisti e, in particolare, Alberti ne aveva discusso nel *De re aedificatoria*[224]. Nel Cinquecento, erano stati pubblicati notevoli trattati di numerologia. Nel 1525, Francesco Zorzi aveva dato alle stampe, il *De harmonia mundi totius*[225], che ebbe ampia diffusione e influenza e in cui la numerologia era usata come una sorta di "super-scienza" tramite la quale tutte le altre discipline potevano essere unificate. Ancora nel 1599, Pietro Bongo aveva pubblicato i *Numerorum mysteria*[226], basati su un simbologia matematica che faceva risalire a Pitagora.

Non solo Baldi non è per nulla interessato a tale aspetto della matematica[227], ma è anche un deciso critico dell'astrologia (nel suo linguaggio "astrologia giudiziaria"; il termine "astrologia" è usato per riferirsi a ciò che oggi è detta

[222] Baldi, *Discorso di chi traduce*, cit., p. 163.

[223] Cfr. la discussione sul numero perfetto nel terzo libro, cap. 1 di Vitruvio.

[224] Cfr. Leon Battista Alberti, *L'architettura*, trad. di G. Orlandi, Milano, il Polifilo, 1989, libro IX, capp. V-VI.

[225] Venetiis, in aedibus Bernardini de Vitalibus chalcographi, 1525.

[226] *Numerorum mysteria. Opus maximarum rerum doctrina, et copia refertum, in quo mirus in primis, idemque perpetuus arithmeticae Pythagoricae cum divinae paginae numeris consensus, multiplici ratione probantur*, Bergamo, typis Comini Ventura, 1599.

[227] Sul rapporto tra Baldi e il simbolismo numerico, vedi Sergio Bettini, *Bernardino Baldi e Vitruvio*, in *Atti del Seminario di studi su Bernardino Baldi urbinate*, cit., pp. 227-250, in particolare p. 245.

"astronomia"). Nella biografia di Guido Bonatti (primo ventennio del XIII sec. – 1296 o 1298) afferma:

> Scrisse egli [Bonatti] un gran libro di giuditiaria[228], il quale essendo fanciullo ho avuto in mano e veduto, ma essendo stato sempre nimico di cotalj studj curiosi per conoscerli vani, lo posi da parte, né mi fermai nella sua lettione[229].

Nella biografia di Paolo dell'Abbaco (1281-1373) scrive:

> [I]o non cred[o] che da gli astrologi possono affermarsi le cose contigenti e future; e se molte volte noi vediamo essere state predette cose, che poi secondo la predittione si sono vedute riuscire, ricordiamoci quello che scrive Aristotile nel libro *De' Sogni*[230], cioè che molte volte la memoria de le cose sognate muove chi sogna ad eseguirle, e così pare che il sogno sia pronosticatore de le cose a venire. Il "sipsoma" similmente, cioè il caso, vi suole haver parte, accadendo che talora si sognino cose che poi vegghiando per caso ci accascano [...] quanto io stimo l'astrologia reale, cioè quella [che] investiga i moti e versa intorno le cose elementari, cotanto tengo falsa quella che troppo audacemente si usurpa la predittioni dei contigenti che scendono in tutto e per tutto da la volontà libera e da l'arbitrio de l'huomo.[231]

Il rifiuto dell'astrologia[232] non è solo dovuto alla sua inutilità e alla condanna da parte della Chiesa[233], ma anche a un'avversione verso forme di sapienza segrete e occulte,

[228] Baldi si riferisce al *Liber astronomicus*, pubblicato per la prima volta nel 1491 e ristampato varie volte nel Cinquecento.

[229] Baldi, *Le vite de' matematici*, cit., p. 203.

[230] Nella nota 10 a p. 225 de' *Le vite de' matematici* Nenci osserva che in realtà Baldi si riferisce a brani contenuti nel *De divinatione per somnum* (463a 22-31 e 463b 1-11).

[231] Baldi, *Le vite de' matematici*, cit., pp. 225-226.

[232] All'astrologia Baldi dedica comunque ampio spazio ne' *Le vite de' matematici*, riconoscimento dell'importanza che l'astrologia aveva avuto e aveva al suo tempo.

[233] Sulle polemiche degli umanisti sull'astrologia, si veda P. L. Rose, *Humanist Culture and Renaissance Mathematics. The Italian Libraries of the Quattrocento*, "Studies in the Renaissance", 20 (1973), pp. 46-105.

comune a molti autori di letteratura tecnica[234]. Si può, ad esempio, ricordare la polemica di Vannoccio Biringuccio contro un'altra forma di conoscenza "magica", l'alchimia, priva di spiegazioni razionali e di risultati controllabili[235].

Ci sono ancora altri aspetti interessanti nel *Discorso di chi traduce*, sui quali non mi soffermo perché lontani dallo scopo principale di questo saggio[236] e passo, quindi, ad esaminare il ruolo che la statica archimedea svolge nel commento ad Aristotele di Baldi.

[234] Cfr. Paolo Rossi, *I filosofi e le macchine*, Milano, Feltrinelli Editore, 1962, pp. 7-8.

[235] Cfr. Biringuccio, *De la pirotechnia libri dieci dove ampiamente si tratta non solo di ogni sorte e diversità di miniere, ma anchora quanto si ricerca intorno a la prattica di quelle cose di quel che si appartiene a l'arte de la fusione over gitto de metalli come d'ogni altra cosa simile a questa*, Venetia, per Venturino Roffinello, 1540.

[236] Mi limito a ricordare la classificazione delle macchine semoventi che, a seconda del motore, sono distinte in:

- spiritali (il moto deriva dallo "spirito" in esso rinchiuso)
- semoventi (il moto deriva dalla gravità dei contrappesi).

Le spiritali, a loro volta, si dividono in due specie:

a) macchine che non usano il fuoco;
b) macchine che adoperano il fuoco.

Le semoventi, infine, si dividono in:

a) semoventi mobili (tutta la macchina si muove e cambia di luogo);
b) semoventi stabili (solo alcune parte della macchina si muovono)
(cfr. *Discorso di chi traduce*, pp. 159-160).

Parte 2

La meccanica di Baldi tra Aristotele e Archimede

Il maggior contributo scientifico di Baldi è costituito dalle *Exercitationes*, un trattato di meccanica che pur avendo la forma esteriore di un commento ai *Problemi meccanici*, non può essere considerato un testo di ispirazione aristotelica in senso stretto. Invero, Baldi non scrive il suo commento con l'intenzione di fornire spiegazioni e interpretazioni dei quesiti aristotelici in uno spirito di piena e totale accettazione del punto di vista del loro autore; al contrario, il suo obiettivo è quello di discutere criticamente il testo e, se il caso, apportare le correzioni e integrazioni ritenute necessarie. La concezione dell'urbinate può essere così riassunta.

- Baldi rifiuta in modo sostanziale i principi che l'autore dei *Problemi meccanici* aveva posto alla base della scienza delle macchine e li sostituisce con altri di derivazione archimedea. Più precisamente, l'urbinate rifiuta l'approccio dinamico aristotelico che derivava le proprietà della leva dal moto circolare preferendo far discendere tale proprietà dalla centrobarica.
- In molti casi, Baldi non condivide le spiegazioni fornite dall'autore dei *Problemi meccanici* e aggiunge soluzioni personali ai quesiti, in ampia parte ispirate al lavoro di Guidobaldo del Monte.
- Baldi giudica lo stile dei *Problemi meccanici* troppo "dialettico", in quanto il suo autore usa spesso ragionamenti più qualitativi che quantitativi e non vi è traccia del classico schema deduttivo della geometria euclidea: assiomi, postulati, definizioni, teoremi[237]. Nei limiti consentiti dalla

[237] L'uso del termine "dialettico" in questo senso è dello stesso Baldi. Ad esempio, nella biografia di Giovanni di Sacrobosco (prima metà del XIII secolo), Baldi parla di 'dimostrazioni lineari…di cui si servono i migliori matematici" in opposizione alle dimostrazione condotte con 'modi dialettici'. Rifiuta però di considerare tale differenza come metodologica e in particolare

natura delle *Exercitationes*, Baldi cerca di riscrivere vari risultati aristotelici come applicazione di quelli contenuti nel *Mechanicarum liber* di del Monte.

Occorre precisare che se, da una parte, nelle *Exercitationes* non si lesinano critiche alle concezioni aristoteliche, d'altro canto, non si tratta di un'opera anti-aristotelica. Baldi, invero, accetta la filosofia aristotelica e, in particolare, quella naturale; la sua critica è esclusivamente rivolta alla meccanica – la scienza della costruzione delle macchine – e i principi criticati sono quelli della statica, non certamente quelli che regolano il movimento.

In effetti, nelle *Exercitationes*, Baldi ha due obiettivi principali:

- applicare i principi della statica archimedea alla soluzione delle questioni proposte da Aristotele, assumendo così che il contrasto tra l'approccio aristotelico e quello archimedeo sia conciliabile e realizzando una sorta di fusione tra Aristotele e Archimede;
- proporre e risolvere questioni simili a quelle dei *Problemi meccanici*, ampliando così il campo della meccanica.

In tal modo, Baldi compie un interessante passo avanti nella direzione di quel processo che sarà poi detto "matematizzazione" della natura.

Nelle pagine seguenti, esaminerò il primo dei due obiettivi sopra indicati[238], ossia come Baldi cerchi di realizzare la fusione tra gli approcci aristotelici e archimedei. Prima di entrare nei dettagli di tale questione, sono però opportune alcune precisazioni concernenti l'opinione di Baldi sulla paternità dei *Problemi meccanici*, sul periodo di composizione delle *Exercitationes* e sul contesto storico in cui si colloca il lavoro dell'abate di Guastalla.

di vedervi un'opposizione tra il metodo geometrico e quello aristotelico (cfr. Baldi, *Le vite de' Matematici*, cit., p. 166).

[238] Per il secondo degli obiettivi di Baldi, si vedano i contributi citati alla nota n. 29.<>

1. La riscoperta dei *Problemi meccanici* e degli *Equiponderanti*.

Come ho già osservato nella prima parte di questo volume[239], era usuale nel Cinquecento l'attribuzione dei *Problemi meccanici* ad Aristotele; tuttavia, come lo stesso Baldi ricorda nella pagina iniziale della *Praefatio authoris*[240], alcuni studiosi avanzavano dubbi al proposito. Probabilmente, Baldi si riferisce a Girolamo Cardano[241] e Francesco Patrizzi (1529-1597)[242], citati anche da Henry de Monantheuil, alle pp. 1-2 della sua *Aristotelis Mechanica, Greca, emendata, Latina facta, et commentariis illustrata*[243], come autori che negavano la paternità aristotelica dei *Problemi meccanici*[244]. Baldi ritiene che l'opera sia genuinamente aristotelica e ipotizza che si tratti di una sezione dell'opera aristotelica sui *Problemi*, staccata e isolata dalla restante parte per qualche motivo non facile da chiarire. A suo parere, l'attribuzione ad Aristotele dei *Problemi meccanici* può essere giustificata

a) dallo stile e dal metodo dell'esposizione;
b) dalla finezza e dalla solidità delle argomentazioni con cui magistralmente vengono risolti i problemi;
c) dalla testimonianza di Diogene Laerzio, che includeva i *Problemi meccanici* nell'elenco delle opere aristoteliche[245].

È noto che la conclusione cui giunge Baldi non è oggi accettata dalla maggior parte degli studiosi; tuttavia, recenti

[239] Cfr. nota n. 142.<>

[240] Cfr. *Exercitationes*, *Praefatio*, p. n. n. .

[241] Cardano, *Opus novum de proportionibus numerorum*, cit., prop. CIX e prop. CXIV.

[242] Cfr. Francesco Patrizzi, *Discussionum peripateticarum*, Basileae, Ad Perneam Lecythum, 1581, vol. I.

[243] Parisiis, apud Jeremiam Perier, 1599.

[244] Sull'esattezza dell'osservazione di Henry de Monantheuil, cfr. Bottecchia Dehò, *Introduzione* ai *Problemi meccanici*, cit., p. 30 (nel prosieguo, Bottecchia Dehò, *Introduzione* e Bottecchia Dehò, *Note*).

[245] I *Problemi meccanici* sono ricordati da Diogene Laerzio (5.26).

contributi hanno riproposto l'attribuzione ad Aristotele dei *Problemi meccanici*[246].

Come è stato detto nell'introduzione di questo saggio, le *Exercitationes* furono pubblicate nel 1621 ma furono certamente scritte molti anni prima. Nel suo *De vita et scriptis Bernardini Baldi urbinatis*, Scarloncino afferma che Baldi scrisse due *Commentarii* ai *Problemi meccanici* nel 1582[247]. Su tale data sono state avanzate dubbi[248], principalmente perché nella prefazione delle *Exercitationes* è citato un lavoro di Simon Stevin risalente al 1586[249]. Non si può escludere che Scarloncino si riferisca a due manoscritti preliminari delle *Exercitationes*, oggi smarriti, ma menzionati da Affò come *Discorsi sopra le Mechaniche d'Aristotele* e *Dissertationes in Mechanica Aristotelis*[250]. I titoli dei due manoscritti lasciano pensare che Baldi abbia preparato due versioni del suo commento ai *Problemi meccanici*, una in italiano, l'altra in latino, scegliendo poi di pubblicare quest'ultima. I motivi di tale scelta linguistica non sono chiari e sembrano in contrasto con il desiderio di Baldi di dare all'opera un'ampia diffusione tra un pubblico di ingegneri e di architetti.

Invero, nella *Praefatio authoris*, Baldi loda il trattato aristotelico per l'utilità, l'acutezza e la ricchezza delle materia trattate ed afferma che è pressoché sconosciuto ai suoi contemporanei e che, pertanto, non può essere consultato da coloro che coltivano gli studi di meccanica. Baldi sembra lamentarsi principalmente della scarsa conoscenza che ne avevano architetti, ingegneri e artigiani; a suo parere, l'autore dei *Problemi meccanici* andava ringraziato per avere messo a disposizione di tali categorie uno strumento tanto valido, utile e ordinatamente disposto[251]. Per Baldi, le opere di meccanica

[246] Cfr. Bottecchia Dehò, *Introduzione*, cit., pp. 28-43.

[247] Cfr. Scarloncino, *De vita*, cit., pp. n. n.

[248] Sulla datazione delle *Exercitationes*, si veda Rose, *The Italian Renaissance*, cit., p. 248.

[249] Cfr. Stillman Drake-Israel E. Drabkin, *Mechanics in Sixteenth Century Italy*, Madison, Wisconsin, 1969, p. 50.

[250] Affò, *Vita*, cit., p. 198.

[251] "Tum ex animo dolebam, aureum hunc libellum prope negligi, et ab iis qui pulcherrimis hisce studiis dant operam, assidue præ manibus non haberi: Multas autem Auctori ipsi habendas referendasque esse gratias, qui

non dovevano essere scritte ad esclusivo beneficio degli studiosi accademici ma dovevano rivolgersi a un pubblico più ampio, non necessariamente esperto della letteratura classica, come egli afferma nella *Dichiarazione delle favole di che serve l'autore nelle sue disposizioni*, che precede la traduzione degli *Automati*[252], e che poteva anche essere costituito da "artigiani" di ogni specie.

Tale punto di vista era largamente condiviso nel Rinascimento e alcuni autori fecero un effettivo tentativo di ampliare il proprio pubblico traducendo o facendo tradurre scritti di meccanica in volgare[253]. Questo fu il caso di Alessandro Piccolomini che incoraggiò Oreste Vanocci Biringucci a tradurre in italiano la sua parafrasi dei *Problemi meccanici* in quanto poteva essere utile agli ingegneri e agli architetti[254]. Tale fu anche il caso di Guidobaldo del Monte e del suo traduttore, Filippo Pigafetta, come rende chiaro già il titolo completo della traduzione del *Mechanicarum liber* data alle stampe nel 1581: *Le Mecaniche dell'illustriss. Guido Ubaldo del Monte, tradotte in volgare dal Sig. Filippo Pigafetta. Nelle quali si contiene la vera dottrina di tutti gli instrumenti principali di mover pesi grandissimi con picciola forza. A beneficio di chi si diletta di questa nobilissima scienza; et massimanente di capitani di Guerra, ingegnieri, architecti, et d'ogni artifice, che intenda per via di*

tam egregiam, utilem et probe instructam supellectilem Architectis, Mechanicis, et omnibus fere Artificibus suppeditaverit" (*Exercitationes, Prefatio authoris*, pp. n. n.).

252 "Perché non solo per persone intedenti dell'antichità habbiamo tradotto queste opere: ma per che se bene non sono informati in queste cose, hanno però felicità nell'opere delle mani; habbiamo giudicato molto utile il dar loro qualche lume di quelle favole" (cfr. *Automati*, cc. 14v-15r). Le "favole" sono le leggende antiche utili per la comprensione delle macchine descritte da Erone.

253 Per una discussione generale del tentativo di rendere accessibile la letteratura tecnica a un pubblico più vasto, si veda Rossi, *I filosofi e le macchine*, cit. pp. 11-67.

254 Cfr. la prefazione *Ai lettori*, alle pp. 5-6, in *Parafrasi di Monsignor Alessandro Piccolomini arcivescovo di Patras sopra le Mecaniche d'Aristotele*, Roma, Francesco Zanetti, 1582.

machine far opre meravigliose, e quasi sopranaturali. Et si dichiarano i vocabili et luoghi più difficili[255].

È chiaro che la scelta di pubblicare in volgare – tutt'altro che inusuale nell'ambiente urbinate[256] e che lo stesso Baldi fece nel caso degli *Automati* – avrebbe meglio corrisposto all'obiettivo di rivolgersi a un pubblico di ingegneri, architetti e artigiani. Può darsi che la pubblicazione in lingua latina sia dovuta alla decisione di rivolgersi in primo luogo ai dotti, ai letterati, per riaffermare l'importanza e il valore culturale degli studi di meccanica; forse, però, è più ragionevole pensare che essa sia dovuta a esigenze pratiche legate alla necessità di rivolgersi a un editore tedesco che sicuramente considerava le *Exercitationes* un'opera destinata a un pubblico in ampia misura non italiano che poteva essere raggiunto meglio dal latino[257].

***

Contrariamente a quanto lascia intendere Baldi, la pubblicazione delle *Exercitationes* si inseriva in un panorama editoriale molto ricco. Infatti, i *Problemi meccanici*, apparentemente sconosciuti nel Medioevo, furono ampiamente studiati nel Rinascimento e ciò costituì una delle caratteristiche più interessanti della scienza meccanica in tale periodo storico[258]. Pubblicati una prima volta nel secondo volume dell'*editio princeps* delle opere di Aristotele nel 1497[259], furono

[255] Su tale traduzione, cfr. Henninger-Voss, *Working Machines and Noble Mechanics*, cit.

[256] Oltre alla citata traduzione del *Mechanicorum liber* di del Monte, si ricordi, ad esempio, che Commandino, tra l'altro, tradusse i suoi elementi di Euclide dapprima in latino (cfr. Federico Commandino, *Euclidis elementorum libri XV*, cit.), ma poi anche italiano (Federico Commandino, *Degli Elementi di Euclide libri Quindici, con li scolii antichi*, Urbino, Appresso Domenico Frisolino, 1575).

[257] Sulle vicende legate alla pubblicazione delle *Exercitationes*, cfr. Becchi, *Q. XVI*, cit., pp. 56-59.

[258] Su tale questione, si veda, in particolare, Paul Lawrence Rose-Stillman Drake, *The Pseudo-Aristotelian Questions of Mechanics in Renaissance Culture*, 'Studies in the Renaissance', 18 (1971), pp. 65-104.

[259] L'*editio princeps* fu pubblicata da Aldo Manuzio in quattro volumi tra il 1495 e 1498. Sulle fonti manoscritte di tale edizione, si veda Rose-Drake, *The Pseudo-Aristotelian Questions*, cit., pp. 72-76.

tradotti in latino nei primi decenni del Cinquecento, prima da Vittor Fausto[260], in seguito da Niccolò Leonico Tomeo[261]. Nel 1547 Alessandro Piccolomini pubblicò una parafrasi[262], ristampata nel 1565[263] e tradotta in italiano ad opera di Oreste Vannocci Biringucci nel 1582[264] . Quella di Biringucci non fu, per altro, la prima traduzione italiana; in precedenza, nel 1573, Antonio Guarino aveva pubblicato *Le Mechaniche d'Aristotile trasportate dal Greco in volgare idioma, con le sue dichiarazioni*[265]. Nel 1599, Henri de Monantheuil[266] pubblicò il testo greco accompagnato da una traduzione latina e da un commento. Una versione latina, con commentario, di Francesco Maurolico fu data alle stampe nel 1613[267]. Altri commentari furono scritti da Giovanni Battista Benedetti[268], Giuseppe Biancani[269] e Giovanni de Guevara[270].

Di tutti questi lavori Baldi mostra di conoscere solo la traduzione di Leonico Tomeo[271] e la parafrasi di Piccolomini, spesso da lui citata. Nessuna menzione è invece fatta nelle

[260] *Aristotelis mechanica Victoris Fausti industria in pristinum habitum restituta ac latinitate donata*, Parisiis, in Aedibus Iodici Badii, 1517.

[261] *Conversio mechanicarum questionum Aristotelis cum figuris, et annotationibus quibusdam* in *Nicolai Leonici Thomaei Opuscula nuper in lucem edita*, Bernardinus Vitalis, Venezia, 1525.

[262] Piccolomini, *In Mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis*, cit.

[263] Venetijs, Apud Traianum Curtium, 1685.

[264] Biringucci, *Parafrasi di Monsignor Alessandro Piccolomini*, cit.

[265] Modena, Appresso Andrea Gadaldino, 1573.

[266] de Monantheuil, *Aristotelis Mechanica*, cit.

[267] Francesco Maurolico, *Problemata Mechanica cum appendice, et ad Magnetem, et ad Pixidem Nauticam pertinentia*, Messanae, Ex Typographia Petri Breae, 1613.

[268] *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, Apud haeredes Nicolai Bevilaquae, 1580.

[269] *Aristotelis loca mathematica ex universis ipsius operibus collecta, et explicata. Aristotelicae videlicet expositionis complementum hactenus desideratum. Accessere de natura mathematicarum scientiarum tractatio; atque clarorum mathematicorum chronologia*, Bononiae, apud Bartholomaeum Cochium, 1615.

[270] *In Aristotelis mechanica commentarii*, Romae, apud Iacobum Mascarduma, 1627.

[271] Nella *Preafatio*, Baldi chiama Niccolò Leonico Tomeo "Leonicenus Latinum" e ricorda che la sua traduzione era corredata da figure e da poche annotazioni a margine del testo.

Exercitationes della traduzione latina di Vittor Fausto e di quella italiana di Guarino. Inoltre, Baldi menziona come opera connessa ai *Problemi meccanici* un lavoro non meglio specificato di Stevin (che chiama "Simon Sticinus Hollandensis") e afferma di non averlo potuto consultare[272]. Si tratta verosimilmente del *De Beghinselen der Weeghconst*, pubblicato nel 1586[273], opera che non si può certo definire un commentario ai *Problemi meccanici.*

Negli stessi anni in cui si diffondeva la conoscenza dei *Problemi meccanici* anche le opere di Archimede venivano più volte pubblicate e studiate. In questo sede, l'interesse è esclusivamente rivolto agli *Equiponderanti*, un lavoro che nel Medioevo era conosciuto ma non ebbe grande peso[274]. L'inizio dell'effettiva influenza della meccanica archimedea si ebbe solo con le traduzioni e le pubblicazioni rinascimentali, la prima delle quali fu di Giorgio Valla nel 1501[275]. Gli *Equiponderanti* furono poi stampati nuovamente nel 1543 da Tartaglia[276] nella traduzione latina di Guglielmo di Moerbeke (c. 1215-1286), cui fece seguito l'anno seguente, l'edizione del testo greco con una nuova tradizione latina[277]. La traduzione di Commandino uscì

[272] *Exercitationes*, *Praefatio authoris*, pp. n. n.

[273] Simon Stevin, *De Beghinselen der Weeghconst*, Leyden, van C. Planijn, 1586.

[274] Nel 1269 Guglielmo di Moerbeke tradusse in latino gli *Equiponderanti* di Archimede. Sulla scarsa influenza di questa traduzione nel mondo medievale, si veda M. Clagett, *The Use of the Moerbeke Translations of Archimedes in the Works of Johannes de Muris*, "Isis", 43 (1952), pp. 236-242.

[275] Cfr. *Georgii Vallae Placentini viri clarissimi De expetendis, et fugiendis rebus opus*, Venetiis, in aedibus Aldi Romani, 1501.

[276] *Opera Archimedes Syracusani Philosophi et Mathematici Ingeniosissimi per Nicolaum Tartaleam Brixianum [...]*, Venitiis, per Venturinium Ruffinellum, 1543.

[277] *Archimedis Syracusani Philosophi ac Geometrae excellentissimi Opera quae quidam extant, omnia, multis jam seculis desiderata, atque a quam paucissimus hactenus visa, nuncque primum et Graece et Latine in lucem edita. Adjecta quoque sunt Eutocii Ascalonitae in eosdem Archimedis libros Commentaria, item Graece et Latine; numquam antea excussa*, Basileae, Per Ioannem Hervergium, 1544. Tale edizione fu condotta sulla base della versione di Iacopo da Cremona (XV secolo).

nel 1558[278]; trent'anni più tardi, fu data alle stampe l'edizione commentata di Guidobaldo del Monte[279]. La traduzione di Francesco Maurolico venne invece pubblicata postuma nel 1635[280].

Gli *Equiponderanti* si differenziavano nettamente dai *Problemi meccanici*. Il lavoro di Archimede era strutturato come un sistema deduttivo di tipo euclideo basato su propri postulati di natura statica, a partire dai quali era rigorosamente dimostrato il principio della leva; invece, Aristotele non forniva una trattazione di tipo geometrico e, come si vedrà più dettagliatamente in seguito, derivava l'equilibrio della leva dalle caratteristiche del moto circolare. Tali differenze ponevano il problema della compatibilità dell'approccio aristotelico con quello archimedeo e di entrambi con la tradizione medievale della *scientia de ponderibus*.

Quest'ultima era sorta tra il secolo XII e XIII, verosimilmente attingendo a fonti arabe che a loro volte si rifacevano a scritti greci; il suo nucleo centrale era costituito da problemi riguardanti la bilancia e la leva che venivano risolti utilizzando principi coinvolgenti il moto[281]. Il maggior

[278] *Archimedis opera non nulla a Federico Commandino Urbinate nuper in latinum conversa et commentariis illustrata. Quorum nomina in sequenti pagina leguntur*, Venetiis, apud Paulum Manutium, 1588.

[279] *Guidubaldi e Marchionibus Montis in duos Archimedis Aequiponderantium libros Paraphrasis, scholiis illustrata*, Pisauri, Apud Hieronymum Concordiam, 1588.

[280] *Admirandi Archimedis Syracusani monumenta omnia mathematica, quae extant, quorumque Catalogum inversa pagina demonstrate, ex traditione doctissimi viri D. Francisci Maurolico, nobilis Siculi*, Panormi, apud D. Cyllenium Hesperium, 1635. Su tale edizione, cfr. R. Moscheo, *L'Archimede di Maurolico*, in *Archimede. Mito tradizione e scienza*, a cura di C. Dollo, Firenze, Olschki, 1992, pp. 111-164.

[281] Sulle scienze nel Medioevo, si vedano James A. Weisheipl, *Classifications of the Sciences in Medieval thought*, "Medieval Studies", 27 (1965), pp. 54-90. Sulla meccanica medievale, si vedano John E. Murdoch e Edith D. Sylla, *The Science of Motion* in *Science in the Middle Ages*, a cura di David C. Lindberg, Chicago, University Chicago Press, 1978, pp. 206-264; *The Science of Mechanics in the Middle Age*, a cura di Marshall Clagett, Madison, University Wisconsin Press, 1959. Per un confronto con la meccanica rinascimentale, si veda anche W. R. Liard, *The Scope of Renaissance Mathematics*, "Osiris", 2 (1986), pp. 43-68.

rappresentante della *scientia de ponderibus* fu Giordano Nemorario la cui opera diede luogo a interessanti sviluppi[282]. Nel Rinascimento, l'opera di Giordano[283] fu valutata positivamente da Tartaglia, che, nei *Quesiti ed Inventioni Diverse*, ad esempio, vi si richiamò nella trattazione del piano inclinato[284]. Al contrario, Guidobaldo del Monte espresse un giudizio negativo su Giordano[285], condiviso da Baldi e riportato nelle sue opere a carattere storico. Infatti, nella *Vite de' Matematici*, si legge:

> Piacquero i principij di quest'huomo grandemente a Nicolò Tartaglia e Girolamo Cardano, finché a' tempi nostri Guidobaldo de' Marchesi del Monte, matematico acutissimo, seguendo la dottrina greca, e particolarmente quella di Archimede negli *Equiponderanti*, scoperse e confutò molti errori così di Giordano come de' suoi seguaci [...][286]

E nella *Cronica*, è detto:

> Giordano...hebbe dottrina assai barbara, e nelle mecaniche prese assunti falsi, come nelle *Mecaniche* sue mostra il dottissimo Guidobaldo de' Marchesi del Monte[287].

L'atteggiamento di Baldi era quindi di un netto rifiuto della concezione medioevale di Giordano, considerato portatore di una dottrina barbara rispetto a quella degli autori greci.

[282] A Giordano erano attribuiti gli *Elementa Jordani super demonstrationem ponderum*, il *Liber de ratione ponderibus* e il *Liber Jordani de ponderibus.* (Cfr. E.A. Moody e M. Clagett, *The Medieval Science of Weights (Scientia de ponderibus) Treatises Ascribed to Euclid, Archimedes, Thabit ibn Quarra, Jordanus de Nemore and Blasius of Parma*, Madison, University of Wisconsin Press, 1952, pp. 145-149). Negli *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis*, Giordano avevo posto alla base della sua derivazione del principio della leva la nozione di *gravità secondo posizione* (*gravitas secundum situm*).

[283] Tartaglia curò anche la pubblicazione del *Liber de ponderibus* di Giordano (cfr. Jordanus de Nemore, *Opusculum de Ponderositate Nicolai Tartaleae studio correctum, novisque figuris auctum*, Venitiis, Curtio Troiano de' Navò, 1565).

[284] Tartaglia, *Quesiti ed Inventioni Diverse*, cit., libro VIII, prop. 42.

[285] Si veda Guidobaldo del Monte, *Mecanicarum liber*, cit., cc. 6v-7r.

[286] Baldi, *Le vite de' matematici*, cit., p. 155.

[287] Baldi, *Cronica*, cit., p. 46r.

Per quanto riguarda le differenze tra le impostazioni di Aristotele e Archimede, Baldi, seguendo Guidobaldo del Monte, era del parere che fossero conciliabili. Ad esempio, nella biografia di Archimede contenuta nelle *Vite de' matematici*[288], Baldi scrisse che, essendo naturale l'oggetto della meccanica e, tuttavia, trattabile con metodo matematico[289], Aristotele aveva tralasciato gli aspetti matematici e aveva preferito derivare i suoi risultati dai principi fisici; questi ultimi erano, però, di tale forza che, qualora fossero stati accompagnati da un ragionamento matematico, avrebbero potuto fornire una teoria completa e generale delle macchine. Tale obiettivo fu raggiunto nell'antichità da Archimede: il siracusano aveva assunto il principio della leva da Aristotele ma era andato oltre, sviluppando rigorose dimostrazioni geometriche e stabilendo precise relazioni quantitative. Archimede[290] aveva, quindi, seguito le orme di Aristotele per quanto riguardava i principi, aggiungendovi però la squisita bellezza delle sue dimostrazioni matematiche[291].

Secondo Baldi, era stato del Monte il primo, in epoca moderna, a notare che i *Problemi meccanici* erano ben fondati e che la semplice aggiunta delle dimostrazioni matematiche avrebbe condotto a precise conclusioni. In effetti, nella *Prefatio* alla *In duos Archimedis Aequiponderantium libros Paraphrasis*, del Monte[292] aveva sostenuto la tesi che Aristotele, nei *Problemi meccanici*, aveva fornito molte spiegazioni utili a comprendere le cause dei fenomeni meccanici e che, poi, Archimede, sulla

[288] Cfr. Narducci, *Vite inedite*, cit., pp. 388-406 e 437-453.

[289] Cfr. parte I, cap. 3.

[290] Cfr. Narducci, *Vite inedite*, cit., pp. 438-439.

[291] Nelle *Exercitationes*, Baldi aggiunse che l'autore dei *Problemi meccanici* aveva subodorato ciò che Archimede, il principe dei meccanici, aveva poi esposto e dimostrato per primo in modo esplicito, ossia che l'equilibrio si ha quando il peso sta al peso come il braccio al braccio in rapporto inverso: "Cæterum videtur Aristoteles id subodorasse, quod postea Archimedes, Mechanicorum princeps, in propos. 6. primi *Aequeponderantium* explicite protulit et probauit: nempe in æquilibrio ita esse pondus ad pondus, ut brachium ad brachium, ratione permutata" (*Exercitationes*, p. 37).

[292] Su Guidolbaldo del Monte, vedi Micheli, *Guidobaldo del Monte e la meccanica* in Micheli, *Le origini del concetto di macchina*, cit., pp. 153-162.

scorta di Aristotele, aveva reso più chiari ed espliciti i principi meccanici. Ciò, a suo parere, non sminuiva l'importanza di Aristotele nella storia della meccanica; infatti, Archimede aveva seguito le "tracce" di Aristotele, in quanto aveva assunto come base per i suoi postulati i principi implicitamente utilizzati nei *Problemi meccanici* ed aveva chiarito le questioni proposte e spiegate dallo stagirita, dandovi un'adeguata forma matematica[293].

Il punto di vista di Guidobaldo del Monte e di Bernardino Baldi circa una sostanziale conciliabilità tra i *Problemi meccanici* e gli *Equiponderanti* era largamente prevalente nella seconda metà del Cinquecento[294]. In effetti, solo Maurolico e Stevin rifiutarono tale concezione che in ultima analisi tentava di

[293] "Aristoteles enim in principio Questionum mechanicarum multa, eaque precipua ad causas rei mechanicæ dignoscendas aperuit; que secutus Archimedes in his libris mechanica principia explicatius patefecit, eaque planiora reddidit. Nec propterea Aristoteles diminutus extitit: etenim eorum, que ab ipso proposita, et explicata fuere, problematum causas egregie patefecit. Sed quoniam Archimedi scopus fuit mechanicæ disciplinæ rudimenta explanare; propterea ad magis particularia enucleam da descendere voluit. Aristoteles enim (gratia exempli) querens cur vecte magna movemus pondera? Causam esse ait longitudinem vectis maiorem ad partem potentiæ: et recte quidem; cum ex principio ab ipso constituto manifestum sit, ea, que sunt in longiori a centro distantia, maiorem quoque habere virtute. Archimedes vero ulterius adhuc progredi voluit, hoc admisso, nempe quod est in longiori distantia maiorem vim habere, quam id, quod est in breviori, inquirere etiam voluit, quanta sit vis eius, quod est in longiori distantia ad id, quod est in breuiori; ita ut inter haec nota reddatur qualis, et quae sit eorum proportio determinata. Atque ideo fundamentum illud mechanicum prestantissimum manifestauit; videlicet ita sese habere pondus ad pondus, ut distantia ad instantiam, unde pondera suspenduntur, sese permutatim habet. Quo ignoto, res mechanice nullo modo pertractari posse videntur. Quandoquidem huic tota mechanica facultas tanquam unico, precipuoque fundamento innititur. Quare Archimedes Aristotelem sequi videtur; quod non solum patet exijs, quæ dicta sunt; verum etiam si Archimedis postulata consideraverimus, quibus constituendis, ea, quæ de principijs mechanicis Aristoteles patefecit, Archimede supponere comperiemus" (del Monte, *In duos Archimedis Aequiponderantium libros Paraphrasis*, cit., p. 4).

[294] Cfr., ad esempio, Romano Gatto, *Tra la scienza dei pesi e la statica. Le Mecaniche di G. Galileo*, in Galileo Galilei, *Le mecaniche*, Edizione critica e saggio introduttivo di Romano Gatto, Città di Castello, Leo S. Olschki Editore, 2002, pp. IX-CXLIV, in particolare pp. XXXVIII-XLIV.

ridurre Archimede ad Aristotele. Invero, nei suoi *Problemata mechanica* Maurolico affermò:

> Neque objiciat mihi quisquam Archimedem in eo tratacto Aristotelis vestigia secutum, satis enim erat praestantissimo geometrae suamet ipsius speculatio, sicut in ceteris admirabilobus commentis. Quanquam respondere possim, id in laudem verti Archimedis si isthunc Aristotelis libellum vidisser, quandoquidem, praelibatis terminis, diffinitionibus, postulatis, omnia in demonstrationem ordinatissimam, Geometrarum more, redigest[295].

Secondo Maurolico, le difficoltà che i vari commentatori dei *Problemi meccanici* avevano incontrato potevano essere evitate se, invece di fare uso delle proprietà del cerchio, si fossero spiegati i principi della leva mediante la nozione di momento[296], la quale poteva svolgere una funzione chiarificatrice essenziale; di conseguenza, il libro di Archimede sugli *Equiponderanti* doveva essere preposto a ogni tentativo di spiegazione dei quesiti aristotelici.

Dal canto suo, Simon Stevin[297], aveva rifiutato il punto il vista aristotelico con la seguente motivazione:

> La raison pourquoy le pesanteurs égales, suspendues és rayons égaux, sont equilibros, est cognue par commune sentence, mais non pas la cause de l'equilibration des pesanteurs inégales, és rayon inégaux, proportion aux à icelles: laquelle cause ayant esté recherché par les anciens, ils ont estimé qu'elle estoit cachée sous le description des circonferences descrites par les extremitez des rayons, comme il se voit en *Aris-*

[295] Maurolico, *Problemata mechanica*, cit., p. 10.

[296] Maurolico definì il momento come la forza del peso che contropende da un qualsivoglia spazio (cfr. Maurolico, *Admirandi Archimedis Syracusani monumenta*, cit., p. 86). Maurolico attribuisce tale nozione ad Archimede ma, in realtà, essa non è rintracciabile nell'opera di quest'ultimo, né potrebbe trovarsi in quanto la nozione di momento implica un concetto di moltiplicazione che non sembra compatibile con quello in uso nella geometria greca.

[297] *L'art ponderaire ou de la statique*, in *Les Oeuvres Mathematiques de Simon Stevin*, Par Albert Girard, Leyde, Chez Bonaventure et Abraham Elsevir, 1634, pp. 433 sgg..

> *tote* en ses Mechaniques, et ses sectateurs. Ce que nous nions par ceste raison:
> *E. Ce qui demeure coy estant suspendu, ne descrit aucune circonference.*
> *A. Deux pesanteurs pendues en equilibre sont coyes.*
> *E. Deux pesanteurs pendues en equilibre donc, ne descrivent aucune circonference.*
> Et partant il n'y a aucune circonference: mais où il n'y a pas de circonference, elle ne sera pas cause de ce qui advient, ainsi donc la circonference n'est pas la cause de l'equilibration[298].

2. I principi della meccanica

Baldi inizia il suo commento ad Aristotele con un capitolo intitolato *Mechanices descriptio, natura, finis,* dove offre la seguente definizione della meccanica:

> MECHANICE, facultas quaedam est, quae naturali materia, Geometricisque demonstrationibus usa, ex centrobarica, et eorum quae ad vectem et libram rediguntur, speculatione; humanæ consulens necessitati, commoditatique, suapte vi, Naturam ipsam vel secundans, vel superans, varia, eaque mirabilia operatur[299].

Le parole di Baldi mettono in evidenza:

1) la natura di scienza mista della meccanica, che agisce mediante dimostrazioni geometriche e alla quale la centrobarica offre un valido supporto;
2) l'attenzione che la meccanica presta alle necessità e comodità umane;
3) le meraviglie operate dalla meccanica sia assecondando la natura sia superando, andando oltre, la natura.

Per quanto riguarda i punti 2) e 3) Baldi sta semplicemente parafrasando il brano iniziale dei *Problemi meccanici*, citato nella parte 1, cap. 7, p. 72, dove l'autore afferma che ci sono eventi che accadono in armonia con la natura (kat¦ fÚsin) e altri

[298] Ivi, p. 501.
[299] *Exercitationes*, p. 1.

contro natura (par¦ fÚsin)[300] e che alcuni eventi destano stupore e meraviglia. Precisamente, a causare meraviglia, sono gli eventi secondo natura, qualora la loro causa sia ignota, oppure quelli contro natura realizzati con arte e per l'utilità degli esseri umani. La meccanica è un'arte che viene in soccorso dell'uomo quando questi vuole ottenere un effetto che "forzi" la natura; in altri termini, l'arte meccanica interviene quando la natura lasciata a se stessa produrrebbe effetti in qualche modo contrari a quelli desiderati[301].

Per quanto riguarda il punto 1), si ritrova parzialmente in Aristotele. È vero che nei *Problemi meccanici* è chiaramente affermata la natura di scienza mista della meccanica, in quanto i fenomeni studiati appartengono alle speculazioni fisiche, mentre le dimostrazioni delle loro cause a quelle matematiche[302]; tuttavia, il trattato aristotelico non utilizza la nozione di centro di gravità, che invece è alla base della statica archimedea. Il riferimento di Baldi alla centrobarica chiarisce subito il suo proposito di commentare i *Problemi meccanici* alla luce dei principi statici archimedei. Tale intenzione era stata già espressa nella prefazione delle *Exercitationes* dove Baldi aveva osservato che i principi adottati nelle dimostrazioni di Aristotele erano differenti da quelli degli studiosi a lui posteriori e aveva affermato che era possibile trattare le questioni aristoteliche sulla base dei criteri adottati da Archimede:

> Considerantes enim Aristotelem aliis fecerint Meccanici demonstrasse, more huiusce facultatis studiosis gesturos nos

[300] Nel Rinascimento l'espressione "par¦ fÚsin", fu tradotta in due modi diversi: "contro natura" e "superamento della natura". In quest'occasione Baldi preferisce la seconda espressione lasciando intendere che la meccanica non agisce contro natura (cfr. Bottecchia Dehò, *Note*, cit., 131). In altre occasioni, tuttavia, Baldi usa l'espressione *praeter naturam*, ma probabilmente questa espressione non va presa alla lettera, dato che, ad esempio, nel *Discorso di chi traduce* Baldi afferma che la meccanica, a differenza della magia, opera secondo principi naturali (cfr. *supra*, parte I, cap. 7).

[301] Aristot., *Mech.*, 847a 11-20.

[302] Aristot., *Mech.*, 847a 25-28 (cfr. parte 1, cap. 3).

fore arbitrati sumus, si easdem illas quaestiones Mechanicis, hoc est, Archimedeis probationibus confimaremus[303].

Per Baldi, la meccanica si fondava sullo studio dei centri di gravità, che rendeva più chiari i ragionamenti aristotelici, senza tuttavia invalidarli nel loro complesso. Per esempio, quando nelle *Exercitationes* Baldi tratta la *Quaestio II*[304], afferma che la soluzione aristotelica è certamente vera ma non deriva da principi meccanici (ossia, dalla considerazione dei centri di gravità) e, per questo motivo, preferisce discutere la *Quaestio* basandosi sulla nozione di centro di gravità[305].

Naturalmente, avendo posto il centro di gravità a fondamento della meccanica, è necessario darne un'adeguata definizione. A tale fine, Baldi osserva, anzitutto, che il centro di gravità può essere considerato sia in grandezze lineari che piane e solide. Il caso lineare, data la sua semplicità, non era stato mai studiato; invece, i baricentri dei corpi piani e solidi erano stati indagati da Archimede, ma, per l'ingiuria del tempo, le ricerche sui solidi erano andate perse fino a quando Federico Commandino aveva provveduto a restituirle agli studiosi[306]. Baldi fornisce quindi le definizioni di centro di gravità che si trovano in Pappo[307] e in Commandino[308]; preferisce, tuttavia,

[303] *Exercitationes*, *Praefatio authoris*, ultima pagina.

[304] "Quaestio II. Cur, si sursum librae fulcimentum sit, apposito ad alteram partem pondere, descendat libra, et eo amoto, iterum ascendat, et ad aequilibrium revertatur. Si vero deorsum fulcimentum fuerit, depressa ad aequilibrium non revertatur?" (Ivi, p. 18).

[305] "Hæc Philosophi demonstratio est vera illa quidem, sed non ex Mechanicis principijs, hoc est, ex centri gravitatis speculatione; nos igitur clarius rem exponemus, his quæ sequuntur consideratis." (*Exercitationes*, p. 20).

[306] "De centro gravitatis solidorum ipsemet olim scripserat Archimedes, sed ea quae protulit, temporis iniuria deperdita, sua diligentia restituit Federicus Commandinus" (*Exercitationes*, p. 2).

[307] Papp., *Synag.*, 8. 1030.11-13 Hultsch. Nella traduzione latina di Commandino, riportata da Baldi senza reali cambiamenti nelle *Exercitationes*, p. 2, la definizione suona: "Centrum gravitatis uniuscuiusque corporis est punctum quoddam intra positum, a quo si grave, appensum mente concipiatur, dum fertur, quiescit, et servat eam quam in principio habuit positionem; neque in ipsa latione circumvertitur" (Federico Commandino, *Liber de centro gravitatis solidorum*, Bonomiae, Ex Officina Alexandri Benacii, 1565, p. 1). La traduzione in italiano di Pigafetta (*Le mecaniche*, cit., p. 1-2) è: "Il centro della gravezza di ciascun corpo è un certo punto posto dentro, dal

apportare un miglioramento a quella di Commandino affermando che la sua definizione è più breve di quella del suo maestro (*nos vero quam brevissime dicimus*). In realtà, essa è anche più generale (valida, cioè, per grandezze sia lineari, sia piane, sia solide) e più astratta, essendo riferita al concetto astratto di grandezza:

> Centrum gravitatis uniuscuiusque magnitudinis punctum esse intra extrave magnitudinem positum, per quod si plano linea punctove dividatur, in partes secatur aequeponderantes[309].

Baldi illustra nei dettagli tale definizione; in particolare, chiarisce l'uso del termine grandezza (*magnitudo*) per indicare linee, piani e solidi e l'affermazione per cui anche le linee e le superfici hanno un centro di gravità. Precisa che i corpi matematici non hanno mai gravità, ma in meccanica, si assume che le corde, le aste, le leve siano linee e le tavole siano superficie.[310] È chiaro che, per Baldi, siamo nel campo della

quale se con la imaginatione s'intende esservi appeso il grave, mentre è portato sta fermo e mantiene quel sito, che egli havea da principio, né in quel portamento si va rivolgendo".

308 "Centrum gravitatis uniuscuiusque solidae figurae, est punctum illud intra positum, circa quod undique partes æqualium momentorum adsistunt. Si enim per tale centrum ducatur planum, figuram quomodolibet secans, in partes aeque ponderantes eam dividit." (*Exercitationes*, p. 2). Cfr. Commandino, *Liber de centro gravitatis*, cit., pp. 1-2. Pigafetta (*Le mecaniche*, cit., pp. 1-2) traduce così: "Il centro della gravezza di ciascuna figura solida è quel punto posto dentro, d'intorno al quale le parti di momenti eguali da ogni parte si fermano. Peroché se per tale centro sarà condotto un piano, che seghi in qual si voglia modo la figura, sempre la dividerà in parti, che peseranno egualmente".

309 *Exercitationes*, p. 2.

310 "Diximus, Magnitudinis ut lineæ, plani solidique; centrum complecteremur. Erit igitur, ut in praesenti figura, lineae quidem centrum A, plani B, solidi vero C. quod si objiciat quispiam, lineam et superficiem nullam habere gravitatem; is sciat, neque corpora Mathematica gravitatem habere, Mechanicum vero funes, hastas, vectes pro lineis sumere; tabulas vero, et eiusmodi plana ad superficierum naturam referre" (*Exercitationes*, p. 3).

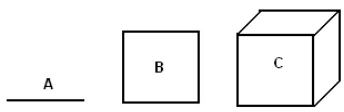

FIG. 3

meccanica razionale, scienza astratta dove i corpi perdono la loro materialità e sono sostituiti da entità geometriche (sulle difficoltà inerenti a tale concezione, si veda parte 1, cap. 6).

La definizione di centro di gravità non costituisce l'unico caso in cui Baldi riformula proposizioni di Commandino o di autori antichi con l'obiettivo di essere più conciso e generale (*brevius et universalius*). Ad esempio, nella trattazione della *Quaestio XIX*, dapprima Baldi traduce la formulazione aristotelica con queste parole:

> Dubitat Philosophus, cur si quis super lignum magnam imponat securim, desuperque magnum adijciat pondus, ligni quippiam quod curandum sit, non dividit; si vero securim extollens percutiat, illud scindit, cum alioquin multo minus habeat ponderis id quod percutit, quam illud quod superiacet et premit?[311]

Poi, egli afferma che Aristotele avrebbe potuto porre la questione in termini più concisi e generali, ossia poteva chiedersi per quale motivo il movimento aggiunge peso al peso e, quindi, un oggetto subisce una sollecitazione maggiore dal movimento che non da un peso che staticamente gravi su di esso[312].

La ricerca della brevità[313] e, soprattutto, della *generalità* non è meramente una questione stilistica, cui pure Baldi è molto attento[314], ma è parte della tendenza verso l'astrazione che caratterizza la matematica dell'epoca e che andrà sempre più accentuandosi nei secoli successivi; tuttavia, Baldi, come tutta la scuola di Urbino e, probabilmente, come tutta la matematica italiana a lui contemporanea, non spinge la ricerca dell'astratto fino alla formulazione di una nozione di quantità generale

[311] *Exercitationes*, p. 128.

[312] "Poterat Aristoteles, ni fallimur, rem brevius et universalius proponere. Scilicet cur motus ponderi addat pondus et efficacius ex motu quam ex immoto pondere mota res operetur. Soluit autem. An, inquiens, ideo fit, quia omnia cum motu fiunt, et grave ipsum gravitatis magis assumit motum, dum movetur quam dum quiescit?" (Ivi, p. 128).

[313] Per un ulteriore esempio non tratto dalle *Exercitationes*, si veda la voce "analemma" a p. 9 del citato *De verborum vitruvianorum significatione*, dove Baldi corregge la definizione di Commandino fornendone un'altra più concisa.

[314] Per una raffinata analisi stilistica del passo riportato alla nota n. 312, si vedano le pp. 140-142 dell'articolo di Sergio Aprosio, *L'officina del Baldi* in *Bernardino Baldi*, cit., pp. 127-142.

capace di unificare il discreto e il continuo e di costituire un fondamento per l'algebra simbolica[315].

[315] Cfr. Giovanni Ferraro, *Analytical Symbols and Geometrical Figures in Eighteenth Century Calculus*, "Studies in History and Philosophy of Science Part A", 32 (2001), pp. 535-555; Giovanni Ferraro, *The Rise and Development of the Theory of Series up to the Early 1820s*, New York, Springer, Sources and Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences, 2008, cap. VII. Ferraro [2010a] Ferraro, G., Euler's analytical program, *Quaderns d'història de l'enginyeria,* 9 (2008), 25-58.
Ferraro [2010b] Ferraro, G., Pure and Mixed Mathematics in the Work of Leonhard Euler in *Computational Mathematics: Theory, Methods and Applications*, a c. di Peter G. Chareton, Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, 2010.
Giovanni Ferraro, Mathematics and Natural Philosophy in Euler's Investigation of Saturn's Perturbations, in *First International Meeting on Cultural Astronomy*, NAPOLI:Loffredo, 2010.
Giovanni Ferraro, Some mathematical aspects of Newton's Principia. In: Second International Meeting on Cultural Astronomy. Campobasso, 30 Settembre 2010, p. 95-108, NAPOLI:Loffredo;
Giovanni Ferraro, The
AffichageTexte ne doit pas comporter plus d'une ligne ! integral as an anti-differential. An aspect of Euler's attempt to transform the calculus into an algebraic calculus, *Quaderns d'història de l'enginyeria,* 9 (2008), 25-58.
Giovanni Ferraro, Manuali di geometria elementare nella Napoli preunitaria (1806-1860), *History of Education & Children's Literature,* 3 (2008), 103-139.
Giovanni Ferraro, D'Alembert visto da Eulero, *Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche*, 28 (2008), 257-275; Giovanni Ferraro, *L'evoluzione della matematica. Alcuni momenti critici.* Napoli, Ernesto Ummarino Editore, 2007*;* Giovanni Ferraro, Convergence and formal manipulation in the theory of series from 1730 to 1815, *Historia Mathematica,* 34 (2007), 62-88.
Giovanni Ferraro, The foundational aspects of Gauss's work on the hypergeometric, factorial and digamma functions, *Archive for History of Exact Sciences* 61 (2007), 457-518.
Giovanni Ferraro, Euler's treatises on infinitesimal analysis*: Introductio in analysin infinitorum, Institutiones calculi differentialis, Institutionum calculi integralis*, in *Euler Reconsidered. Tercentenary Essays*, a c. di R. Baker, Heber City, UT, Kendrick Press, 2007, 39-101.
Giovanni Ferraro, Differentials and differential coefficients in the Eulerian foundations of the calculus, *Historia Mathematica,* 31 (2004), 34-61.
Giovanni Ferraro, Convergence and formal manipulation of series in the first decades of the eighteenth century, *Annals of Science,* 59 (2002), 179-199.

***

Se, da una parte, Baldi, seguendo Archimede, ritiene che la meccanica sia basata sulla nozione di centro di gravità, dall'altra il suo concetto di gravità è ancora, nell'essenziale, quello aristotelico. Nelle *Exercitationes*, l'urbinate distingue i corpi in pesanti e leggeri; i primi tendono per natura verso il centro della Terra, gli altri, invece, hanno una naturale propensione ad allontanarvisi. I corpi considerati in meccanica non sono però soggetti solo alla gravità naturale ma anche ad altre forze; di conseguenza, è opportuno suddividere i gravi in due categorie: i gravi per natura, che si muovono verso il centro della Terra, e i gravi per violenza, che sono spinti da una causa esterna ad allontanarsi dalla causa stessa[316]. Sui gravi per violenza, in realtà, agiscono due forze: la gravità naturale e la forza indotta dal motore esterno[317]; pertanto, il

Giovanni Ferraro, Analytical symbols and geometrical figures in Eighteenth Century Calculus, *Studies in History and Philosophy of Science Part A, 32 (2001), 535-555.*

Giovanni Ferraro, Functions, Functional Relations and the Laws of Continuity in Euler, *Historia mathematica*, 27 (2000), 107-132.

Giovanni Ferraro, The value of an infinite sum. Some Observations on the Eulerian Theory of Series, *Sciences et Techniques en Perspective*, 4 (2000), 73-113.

Giovanni Ferraro, True and Fictitious Quantities in Leibniz's Theory of Series, *Studia Leibnitiana*, 32 (2000), 43-67.

Giovanni Ferraro, The first modern definition of the sum of a divergent series. An aspect of the rise of the 20th century mathematics, *Archive for History of Exact Sciences*, 54 (1999), 101-135.

Giovanni Ferraro, Rigore e dimostrazione in Matematica alla metà del Settecento, *Physis*, (2) 36 (1999), 137-163.

Giovanni Ferraro, Some Aspects of Euler's Theory of series. Inexplicable functions and the Euler-Maclaurin summation formula, *Historia mathematica*, 25 (1998), 290-317.

Giovanni Ferraro- FrancoPalladino 2005, *Il Calcolo sublime di Eulero e Lagrange esposto col metodo sintetico nel progetto di Nicolò Fergola*, Napoli, Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, Seminari di Scienze, Edizioni La Città del Sole, 1995

[316] "Grave Natura dicitur, quod insita propensione in centrum mundi fertur. Grave autem Violentia, quod impresso extrinsecus pondere ab impellente pellitur. Leve contra, quod Natura a centro fertur" (*Exercitationes*, p. 1).

[317] Nessuna ulteriore suddivisione è fatta per i corpi leggeri.

moto di un grave per violenza è misto, dovuto al combinarsi dell'effetto della gravità naturale e del motore esterno.

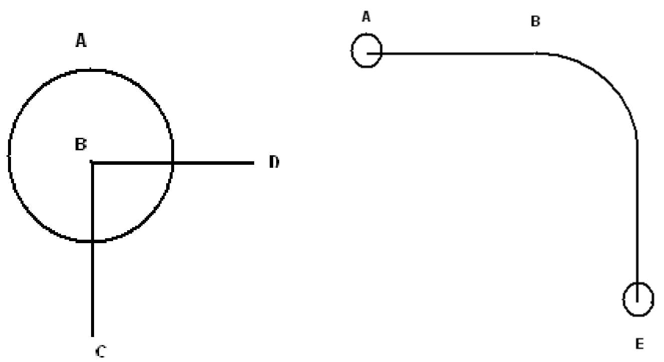

FIG. 4

Ad esempio, se il corpo A con centro di gravità B, che per sua natura cadrebbe in C, è spinto lateralmente nella direzione di D, si muoverà prima di moto rettilineo (in quanto prevale il moto violento), poi secondo una traiettoria curvilinea, infine di nuovo di moto rettilineo (prevalendo la gravità)[318].

Pur accettando la teoria dei luoghi naturali, Baldi rifiuta la giustificazione delle leggi della leva data nei *Problemi meccanici.* Aristotele, infatti, basandosi sull'osservazione che la rottura dell'equilibrio di una bilancia, ottenuta agendo su uno dei suoi bracci, provoca un moto circolare intorno al fulcro, aveva affermato che il cerchio era il principio cui si riducono tutti i fenomeni meccanici:

> le proprietà che riguardano la bilancia si riducono al cerchio, quelle che riguardano la leva alla bilancia, e alla leva si riconducono quasi tutte quelle che riguardano i movimenti meccanici[319].

[318] La descrizione del moto del corpo A fatta da Baldi ricorda quella di Nicolò Tartaglia nella *Nova scientia* (Vinegia, per Stephano de Sabio, 1537). In seguito, Tartaglia aveva negato che il moto di un proiettile soggetto alla gravità e ad un'ulteriore forza, come accadeva per il corpo A, fosse rettilineo (Tartaglia, *Quesiti et inventioni diverse*, cit., cc. 11v-12r). Su ciò, si veda anche Gatto, *Bilance e leve*, cit., p. 274.

[319] Aristot., *Mech.*, 848b12-14.

Il motivo per cui il cerchio è a fondamento dei movimenti meccanici è che in esso si manifestano proprietà contrarie[320]:

> Di tutte tali cose, il principio fondamentale è nel cerchio. E ciò è ragionevole; nulla di strano, infatti, che da cosa più mirabile una mirabile ne proceda; massimamente meraviglioso, invece, è che dei contrari stiano insieme. Il cerchio è costituito appunto da tali contrari[321].

Sono quattro le coppie di opposti che, per Aristotele, giustificano le meravigliose proprietà del cerchio che, a loro volta, spiegano il principio della leva e tutti gli effetti meccanici che vi si possono ridurre. Baldi, invece, non condivide l'entusiasmo aristotelico nei confronti del cerchio e nel capitolo intitolato *De Circulo eiusque natura Aristotelis doctrina esaminata* non lesina critiche all'autore dei *Probemi meccanici*[322].

La prima delle coppie di opposti individuate da Aristotele è moto-quiete: il cerchio, infatti, è generato da un compasso che ha un'estremità fissa e l'altra mobile[323]. Baldi osserva:

> Dicimus igitur, videri nobis, circulum non ex contrarijs constitui, puta ex manente et moto, sed ex moto simpliciter. Nulla est enim semidiametri pars, quæ non moveatur. Punctum autem, quod stat, semidiametri pars nulla est. Et sane cur moto semidiamentro fiat circulus, non ideo accidit, quod alterum extremum stet, alterum vero moveatur: sed ideo quod semidiameter perpetuo eandem seruet longitudinem. Ellipsis sane centrum habet, sed ab eo ad circumferentiam quatuor tantum semidiametri quomodolibet sumpti ducuntur aequales. Si quis igitur semidiametrum daret proportione crescentem et decrescentem, stante altero extremorum Ellipsis describeretur. Præterea et spiralis linea, quæ mixta est, altero

[320] Per una dettagliata descrizione delle proprietà del cerchio in Aristotele, cfr. Micheli, *Le origini del concetto di macchina*, cit., pp. 41-58.

[321] Aristot., *Mech.*, 847b 16-20.

[322] Sull'atteggiamento di Baldi circa le proprietà del cerchio, si veda il paragrafo 5 dell'articolo di Paolo Palmieri, *Breaking the Circle: the Emergence of Archimedean Mechanics in the Late Renaissance*, "Archive for History of Exact Sciences", 62 (2008), pp. 301-346.

[323] "Per cominciare, infatti, il cerchio è generato da moto e dall'immobilità, che per natura sono contrari tra di loro; per cui, se si riflette su ciò, meravigliano meno le opposte proprietà che lo concernano" (Aristot., *Mech.*, 847b 20-23).

> semidiametri extremo manente, altero vero moto producitur. Legem itaque circulo prælcribit, non quidem quod hæc extremitas ster, illa vero moveatur, sed quod sua circulatione semper semidiameter eandem servet longitudinem, quod vel ex ipsa circuli definitione colligitur.[324]

Per Baldi, quindi, il cerchio non è generato dalla coppia di contrari moto-quiete ma dal solo movimento del raggio generatore, in quanto il punto in quiete è una parte nulla del raggio[325]. Il cerchio è sì creato dal moto del raggio, ma ciò accade non perché qualcosa è fermo e qualche altra si muove ma perché il raggio conserva la lunghezza: se il raggio fosse variabile, cioè aumentasse o diminuisse, avremmo un ellisse.

Nel suo saggio sulle origini del concetto di macchina, Micheli osserva che le considerazioni di Baldi riguardano in realtà il cerchio sotto l'aspetto strutturale e non sotto quello operativo cui invece l'autore dei *Problemi meccanici* si riferisce (lo star fermo e l'esser mosso sono le condizioni che rendono possibile l'operazione)[326]. È interessante poi notare che la posizione di Baldi è in contrasto con quella di altri commentatori come Biancani[327] ("circulus tamen ex contrarijs est contistutus, oritur enim circulum ex commoto, et manente, quae quidem naturaliter sunt invicem contraria") e de Guevara[328] ("admirandum valde sit, simul contraria fieri, aut aliquid effici ex contrarijs, et hoc contingat, et hoc contingat in ipsa constitutione circuli").

Dall'originale coppia di opposti, l'autore dei *Problemi meccanici* ne faceva discendere altre tre. La prima è concavo-

[324] *Exercitationes*, p. 8.

[325] L'opposizione aristotelica fornì a Baldi lo spunto per uno dei *Cento apologhi*. Infatti, nell'apologo LIV, scrive: "Uno desiderava saper dal compasso, perché, facendo il circolo, stesse con un piè saldo, e con l' altro si movesse. A cui il compasso: — Perché egli è impossibile che tu facci cosa perfetta, ove la costanza non accompagna la fatica" (*Cento apologhi*, in Baldi, *Versi e prose*, cit., p. 411). Il ruolo delle macchine negli apologhi di Baldi è stato indagato da Anna Siekiera in *L'ingegno e la maniera di Bernardino Baldi*, cit.

[326] Micheli, *Le origini del concetto di macchina*, cit., p. 43.

[327] *Aristotelis loca mathematica*, cit., p. 149.

[328] *In Aristotelis mechanica commentarii*, cit., p. 34.

convesso: la circonferenza sarebbe a un tempo concava e convessa[329]. Per Aristotele, il concavo e il convesso erano opposti non solo tra loro ma anche alla retta[330]. Baldi, dal canto suo, sostiene che la proprietà di essere concava e convessa si trova in ogni curva e quindi non caratterizza la circonferenza:

> Ad secundum miraculum, scilicet, quod in circulo circumferentia, quæ vacua linea est, concava simul sit, et convexa. Diceret quispiam id, si modo mirabile est non circulari tantum, sed cuilibet curvæ lineæ primo competere, etenim et Ellipsis et Hyperbole, et Parabole, et spira, tum Cyssois, Conchois, et infinitæ aliæ irregulares concavæ simul sunt et convexæ. Sed et hæc in superficiebus quoque desiderantur[331].

In precedenza, Giovanni Battista Benedetti aveva negato l'opposizione tra concavità e convessità, sostenendo che era la curvatura, ossia la convessità, a definire la circonferenza, mentre la concavità è solo il termine della superficie ambiente, esterna al cerchio, per cui concavità e convessità non appartengono in realtà alla stessa linea[332]. In seguito, de Guevara risponderà a queste obiezioni ribadendo che la circonferenza è una linea dove il concavo e il convesso coincidono:

> Nec difficultatem evadunt, qui dicunt, concavum, et convexum realiter non esse idem in circulo, seu curvitatem, et

[329] "In primo luogo, infatti, nella linea che racchiude il cerchio, linea che non ha larghezza alcuna, appaiono in qualche modo i contrari, cioè il concavo e il convesso. Questi differiscono tra loro come il grande e il piccolo: dei quali ultimi, infatti, intermedio è l'uguale, mentre dei precedenti il rettilineo. Per cui, mutandosi l'uno nell'altro, essi necessariamente diventano eguali prima di diventare l'uno o l'altro degli estremi; così come la linea necessariamente diventa retta, quando da convessa si muta in concava o, con il processo inverso, da concava diviene una curva convessa" (Aristot., *Mech.*, 847b 24-848a 3). Il termine "concavo" va inteso "concavo verso l'interno del cerchio"; "convesso" (o "curvo", come spesso si trova nelle traduzioni rinascimentali) è inteso come "convesso verso l'esterno" (cfr. Bottecchia Dehò, *Note*, cit., p. 139).

[330] Aristot., *De caelo*, 270b 34-271a 2. Henri de Monantheuil afferma che il concavo e il convesso per Aristotele non sono contrari in senso assoluto ma in senso relativo (de Monantheuil, *Aristotelis Mechanica*, cit., pp. 18-19).

[331] *Exercitationes*, p. 9.

[332] Benedetti, *Diversarum speculationum*, cit., p. 152.

concavitatem non reperiri in eadem linea, sed in diversis, ita ut in circunferentia sit tantum curvitas, seu convexum, concavitas vero sit potius in corpore extrinseco ambiente per lineam illi correspondentem. Etenim cum linea corporis continentis ambiens circulum, penetretur in eodem spacio cum circunferentia ipsius circuli, considereturque sola quantitas abstracta, et figura utriusque lineæ coincidentis, eadem semper difficultas obstabit; nempe quo pacto fieri possit, ut eadem longitudo latitudinis expers, circulum terminans, seu circulariter extensa, simul sit concava, et convexa. Sed nihil prohibet eandem circumferentiam indivisibilem quoad latitudinem, et profunditatem, simul esse concavam, et convexam respectu diversorum, ut in alijs etiam linearum figuris, ac superficiebus poterit exemplificari: et ut eadem via dicitur aclivis, et declivis; idemque magnum, et parvum rei pectu diversorum, quæ cum illo comparantur[333].

Micheli[334] interpreta il punto di vista aristotelico osservando che la concavità e la convessità della circonferenza "sono poste in evidenza mediante un atto operativo di apprensione, il movimento di flessione, per cui esse appaiono immediatamente, in modo inscindibile nella linea". Le critiche di Baldi e di Benedetti, pertanto, non tengono conto di tale aspetto legato all'operazione del flettere che dà forma al cerchio, ma riguardano la forma del cerchio già dato.

Un'altra coppia di opposti meravigliosi si ritrova, secondo l'autore dei *Problemi meccanici*, nel fatto che chi si muove lungo una circonferenza ritorna al punto di partenza, per cui l'ultimo diventa il primo e, allo stesso tempo, si muove avanti e indietro[335]. Ma Baldi non vede alcuna stranezza o miracolosa opposizione in ciò, in quanto se si percorre una circonferenza ABCD, il suo centro rimane sempre o alla destra o alla sinistra

[333] de Guevara, *In Aristotelis mechanica commentarii*, cit., p. 36.

[334] *Le origini del concetto di macchina*, cit., pp. 44-45.

[335] "Un'altra [stranezza del cerchio], poi, è che esso simultaneamente si muova in direzione contrari: nello stesso tempo, infatti, si muove avanti e indietro. E il raggio che descrive il cerchio si comporta proprio così: da dovunque infatti inizi il movimento, l'estremo nuovamente al medesimo punto ritorna, poiché per la continuità del movimento l'ultimo viene ad essere reciprocamente il primo, cosicché è evidente che esso è mutato rispetto alla posizione originaria" (Aristot., *Mech.*, 848a 4-10).

di chi la percorre (si veda fig. 5); non ci sono, pertanto, due moti opposti che avvengono contemporaneamente ma un unico moto e se si suppone, inoltre, che il cerchio ruoti in senso antiorario non può contemporaneamente muoversi in senso orario:

> Ad tertium, quod contrarijs feratur lationibus, antrorsum, retrorsum, sursum et deorsum. Dicimus, facile solui, Nullus enim, re bene perspecta, affirmaverit circulum contrarijs lationibus moveri.
> Esto enim circulus ABCD, circa centrum E; ponamus rotari, et A versus B, exempli gratia, antrorsum, movebitur autem et B versus C, et C versus D, tum D versus A. Non puto quenquam dicturum, circulum hunc antrorsum codem tempore, et retrorsum ferri nec sursum aut deorsum, si enim quispiam per eius circuli circumferentiani ambularet, is certe centrum ipsum semper ad dexteram haberet, vel ad sinistram, si ad dexteram, antrorsum ibit, si ad sinistram, tetrorsum. Sed nec sursum vel deorsum, est manifestum. Nihil autem prohibet eundem motum vario respectu contrarium dici posse, id tamen profecto fierine quaquam potest, nempe A moveri versus B, hoc est, B antrorsum, et eandem eodem tempore versus B, id est, retrorsum; repugnat enim naturæ[336].

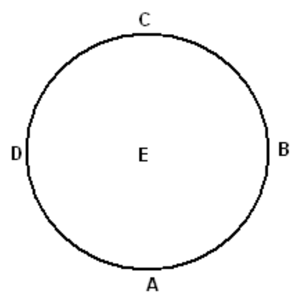

FIG. 5

Infine, la quarta contrarietà: i differenti punti del raggio del cerchio si muovono con differente velocità quando il raggio ruota; più precisamente, se un punto E è più lontano dal centro C di un punto D ma più vicino di un altro punto A, allora il

[336] *Exercitationes*, pp. 9-10.

punto E si muove con maggiore velocità di D e più lentamente di A (si veda fig. 6)[337].

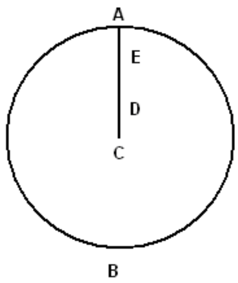

FIG. 6

Ad Aristotele sembra straordinario che punti diversi di uno stesso corpo (rigido) abbiano velocità differenti pur essendo mossi da una medesima forza. La dinamica aristotelica prevede che la velocità sia proporzionale alla forza, per cui la stessa forza non deve produrre moti differenti. Siamo di fronte a un "miracolo", per dirla con Baldi, che va spiegato[338].

La spiegazione fornita nelle *Exercitationes* sostanzialmente riproduce l'argomentazione proposta dall'autore dei *Problemi meccanici*; tuttavia, Baldi coglie l'occasione per precisare qualche punto della discussione aristotelica e per criticare il filosofo attribuendogli un errore circa la natura dei moti che si ottengono come composizione di altri moti. L'abate di Guastalla pensa che la posizione di Aristotele sul moto circolare e sul moto misto possa essere riassunta con queste parole:

[337] "Ed inoltre, essendo unico il segmento tracciato dal centro come raggio, nessuno dei punti che sono in esso si muove a velocità uguale ad un altro, ma in ogni caso si muove più rapidamente quello che è lontano dall'estremo che è fisso; da ciò conseguono molte delle mirabili proprietà inerenti ai movimenti del cerchio" (Aristot., *Mech.*, 848a 14-20).

[338] In uno dei suoi apologhi Baldi illustra tale aspetto del moto circolare in questo modo: "Le parti della ruota d'un carro più lontane dal centro, rampognavano le più vicine di tardezza. Alle quali esse risposero: – E perché dobbiam noi correre, se con la nostra tardezza agguagliamo la vostra velocità? – " (Baldi, *Cento apologhi*, cit, p. 412).

> Circulum quidem duplici motione produci, Naturali videlicet altera, et altera quæ est præter naturam, et ideo circularem lineam inter mixtas computari. Motus mixtus ait, vel proportione servata fit, aut non. Si proportione servata, rectam lineam; ea vero non servata, circularem lineam produci[339].

Il movimento circolare, quindi, è il risultato della composizione di due moti, uno secondo natura, l'altro contro natura. Si tratta di un moto misto, anzi, è uno dei due casi possibili di moto misto, in quanto, secondo l'interpretazione che l'urbinate dà ai *Problemi meccanici*, la traiettoria di un moto misto può essere solo rettilinea o circolare; più precisamente, è:

1) rettilinea, quando la proporzione tra i due moti componenti si conserva;
2) circolare, quando il rapporto tra i due moti componenti non si conserva.

Nel brano sopra riportato Baldi si riferisce alla discussione del moto circolare contenuta nel primo dei 35 quesiti che costituiscono i *Problemi meccanici*, dove è affermato:

> La causa di ciò [della quarta contrarietà] è che la linea che descrive il cerchio ha due spostamenti. Pertanto, quando ciò che si sposta si sposta in una certa proporzione, è necessario che si sposti in linea retta, e la stessa linea diventa diametro della figura che fanno le linee poste in questa proporzione[340].

Tale proposizione, alla luce della dimostrazione data da Aristotele e delle parole che immediatamente seguono la dimostrazione, può essere riformulata in questo modo (si veda fig. 7).

> TEOREMA 1. Supponiamo che lo spostamento totale s di un punto A sia il risultato della composizione di due spostamenti u e v in direzioni differenti. Nelle direzioni di tali spostamenti, si considerino due segmenti, AB e AΓ, proporzionali a u e v

[339] *Exercitationes*, p. 10.

[340] Aristot., *Mech.*, 848b 10-14: a‡tion d□ toÚtwn Óti fšretai dÚo for¦j ¹ gr£fousa tÕn kÚklon. Ótan m□n oân ™n lÒgJ tinˆ fšrhtai, ™p' eÙqe…aj ¢n£gkh fšresqai tÕ ferÒmenon, kaˆ g…netai di£metroj aÙt¾ toà sc»matoj Ö poioàsin af ™n toÚtJ tù lÒgJ sunteqe‹sai gramma….

$$AB : A\Gamma = u : v$$

e si costruisca il parallelogramma AΓHB determinato dai segmenti AB e AΓ. Infine, sia s_t lo spostamento di A in un intervallo di tempo t e si supponga che s_t avvenga in modo che le sue componenti nelle direzioni di AB e AΓ, diciamo u_t e v_t, siano proporzionali a u e v, ossia

$$u : v = u_t : s_t.$$

Sotto tali condizioni, il moto del punto A avviene lungo la diagonale AC del parallelogramma AΓHB.

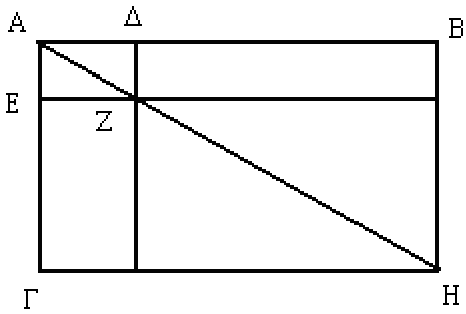

FIG. 7

Il teorema 1 mostra che Aristotele ha una chiara padronanza del principio di composizione dei moti. Va anche detto che nulla, nel ragionamento di Aristotele, lascia pensare che le due direzioni siano perpendicolari tra loro e che quindi il parallelogramma sia un rettangolo; tuttavia, in tutte le edizioni da me consultate la figura che accompagna il testo è un rettangolo.

La dimostrazione di Aristotele ha una struttura abbastanza simile, ma non del tutto coincidente, a quella tipica della geometria euclidea, come descritta da Proclo[341]. Aristotele, infatti,

- dapprima fornisce la formulazione in generale del teorema;

[341] Cfr. Giovanni Ferraro, *L'evoluzione della matematica. Alcuni momenti critici*, Napoli, Ernesto Ummarino Editore, 2007, pp. 29-30.

- quindi esemplifica il teorema in un caso particolare con riferimento a una figura specifica ("sia la proporzione con cui ciò che si sposta si sposta, quella che AB ha con AΓ");
- costruisce poi la figura ("AΓ si sposti verso B e AB si sposti in giù verso HΓ; A si sia spostato verso Δ e la linea che è in AB verso E");
- procede alla dimostrazione propriamente detta ("se la proporzione dello spostamento è quella che AB ha con AΓ, è necessario che AΔ abbia con AE questa proporzione. Allora il quadrilatero piccolo è simile per la proporzione al maggiore, cosicché la stessa linea sarà loro diametro e A sarà verso Z");
- conclude, ribadendo la generalità della dimostrazione di cui al punto precedente ("si avrà la stessa dimostrazione, qualora lo spostamento sia interrotto in un punto qualsiasi") e riformulando il risultato ("infatti, ciò che si sposta sarà sempre sul diametro").

Baldi è d'accordo con il teorema 1 e con la dimostrazione che ne dà Aristotele. Invero, riformula abbastanza fedelmente il ragionamento aristotelico considerando un rettangolo ABCD, il cui vertice punto A sia soggetto a un duplice moto, verso B e verso D (si veda fig. 8). Se A raggiunge il punto G le componenti del moto di A sono AF e AE, se raggiunge il punto C sono AD e AB. Poiché la proporzione tra i moti è conservata, si ha

$$AF : AE = AD : AB.$$

Quindi i parallelogrammi AEGF e ABCD sono simili e i punti A, G e C sono allineati, per un teorema[342] del libro VI di Euclide[343].

[342] Nelle *Exercitationes* Baldi dice teorema 24, nelle versioni moderne di Euclide è il teorema 26.

[343] "Esto enim rectangulum ABCD, cuius latera in data sint proportione, AD cum AB. Moveatur A, duplici motu. Altero quidem tendens in B, altero vero ad motum lineae AB, feratur versus D, servata interim laterum proportione. Itaque ponatur ex motu ab A versus B, pervenisse in E, ex motu autem quo proportionaliter fertur cum linea AB, facta ipsa AB, in FH, pervenisse in G, et EG connectatur. Erit igitur Parallelogrammum AEGF,

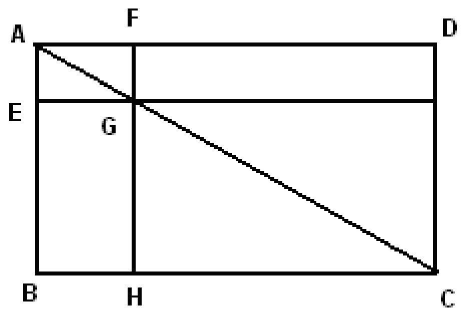

FIG. 8

Si noti che nell'ambito della fisica aristotelica, la velocità è proporzionale alle forze e agli spostamenti (in dato tempo) e poiché nella dimostrazione ha importanza solo la proporzionalità tra i segmenti, questi possono rappresentare sia le forze (i motori), sia le velocità, sia gli spostamenti. Inoltre, laddove Aristotele parla di "spostamenti che hanno proporzione in un certo intervallo di tempo" (in contrapposizione, quindi, a "spostamenti che non hanno proporzione"), Baldi usa l'espressione "proporzione conservata" (che evidentemente è in contrapposizione a "proporzione non conservata"). Bottecchia Dehò, nella sua citata traduzione dei *Problemi meccanici*, parla, invece, di moti aventi "un rapporto costante" (in contrapposizione a "rapporto non costante" o "variabile")[344]. Va segnalato che le concezioni implicite nella terminologia di Aristotele, di Baldi e di Bottecchia Dehò presentano significative differenze. Per Aristotele, una proporzione è determinata oppure non è (una proporzione);

Parallelogrammo ABCD proportionale simile, et circa eandem diametrum AGC. Semper igitur punctum A si duabus lationibus feratur, laterum proportione servata, lineam producet rectam, diametrum nempe AGC. Et hoc sane nullam habet dubitationem, ex ijs quæ docet Euclides 1. 6. prop. 24" (*Exercitationes*, p. 10).

[344] A p. 65 della sua versione dei *Problemi meccanici*, Bottecchia Dehò traduce il passo di Aristotele citato alla nota n. 340 come segue: "Causa di ciò è che il raggio che descrive il cerchio si muove di due moti. Quando dunque il moto si muove secondo un rapporto costante, necessariamente si muove su una retta, e tale retta viene ad essere la diagonale di quella figura che è generata dai segmenti che stanno in tale rapporto".

non sembra che, per lo stagirita, si possano prendere in considerazione (come oggetto di studio matematico) proporzioni che non siano definitivamente fissate. L'espressione "rapporto costante" che Bottecchia Dehò prende a prestito dal moderno linguaggio matematico, oltre a ridurre il concetto di proporzione a quello di rapporto, suppone l'esistenza di rapporti sia costanti che variabili, dove i termini "costante" e "variabile" sono intesi nel senso moderno secondo cui non vi è differenza concettuale tra il variabile e il costante e il rapporto costante è solo un caso particolare del rapporto variabile. È la natura fortemente simbolica della matematica moderna che rende possibile assimilare il variabile e il costante, ignorando la loro opposizione concettuale, allo stesso modo in cui nella moderna nozione di numero sono unificati nozioni in opposizione tra loro come quelli di quantità e assenza di quantità oppure di quantità discreta e di quantità continua. Tale concezione simbolica manca del tutto in Aristotele e nella matematica greca[345]. Per quanto riguarda l'espressione "*proportio servata*" usata da Baldi, essa, sia pure in modo ambiguo, appare preludere alla concezione moderna[346], facendo riferimento a proporzioni che si possono conservare o meno e

[345] Cfr. Ferraro, *L'evoluzione della matematica*, cit., pp. 59-104; Idem, *Analytical Symbols and Geometrical Figures*, cit.

[346] In Ferraro G., *Baldi, le matematiche, l'architettura* in *Saggi di Letteratura architettonica da Vitruvio a Winckelmann*, a c. di F.P. Di Teodoro, vol. I, Firenze, Olschki 2009, 207-220.., ho notato che la nozione di proporzione in Baldi mostra segni di evoluzione rispetto alla concezione classica esposta nel V libro di Euclide. Cfr. anche Ferraro, G., Tra filosofia naturale e matematica: il paradosso della rota Aristotelis in Cardano, de Guevara e Galileo, in *Saggi di Letteratura architettonica da Vitruvio a Winckelmann*, a cura di L. Bertolini, vol. II, Firenze, Olschki, 2009, 121-138; Ferraro, G., Dimostrazioni matematiche e conoscenza scientifica in Alessandro Piccolomini, in *Saggi di Letteratura architettonica da Vitruvio a Winckelmann*, a c. di H. Burns, vol. III, Firenze, Olschki, 2009, 197-215.

che possono essere prese in considerazioni in ogni caso anche quando non si conservano[347].

Lasciata da parte tale questione, si può osservare che Baldi è in pieno accordo con Aristotele circa la natura rettilinea del moto quando la proporzione tra i due moti componenti si conserva[348], mentre è in disaccordo sulla natura circolare del moto quando il rapporto tra i due moti componenti non si conserva. A tale proposito, si osservi anzitutto che, nei *Problemi meccanici*, dopo avere dimostrato l'esistenza di un rapporto fissato, in un qualsiasi intervallo di tempo, tra i due moti componenti è condizione sufficiente (volendo usare un termine moderno) affinché lo spostamento del punto A avvenga lungo la diagonale, Aristotele fa la seguente affermazione:

> È chiaro pertanto che è necessario che ciò che si sposta nei due spostamenti secondo il diametro si sposti con la proporzione che hanno i lati[349].

In genere tale proposizione (che chiamerò teorema 2) è considerata come inversa della precedente[350]. Micheli[351] ha

[347] Ad esempio, Baldi afferma che il moto circolare è prodotto da un moto misto che conserva una qualche proporzione, ma non la stessa (altrimenti si avrebbe il moto rettilineo): "Cæterum falsum est, asserere circulum ex mixto motu nunquam servata proportione produci. Servat enim assidue mixtus motus quo producitur (si cum mixto motu producere velimus) aliquam proportionem, sed non eandem" (*Exercitationes*, p. 11). L'effettivo studio delle proporzioni non costanti è comunque al fuori delle ambizioni di Baldi.

[348] Cfr. *supra*, p. 112.

[349] TÕn aÙtÕn d¾ trÒpon deicq»setai k¨n Ðpouoàn dialhfqÍ ¹ for£: a„e^ g¦r œstai ™p^ tÁj diamštrou (*Mech.*, 848b 21-22). La traduzione è di Micheli, *Le origini del concetto di macchina*, cit., pp. 53-54. Bottecchia Dehò, a p. 63 della sua versione dei *Problemi meccanici*, traduce "Nello stesso modo, poi, si dimostrerà, in qualsiasi punto il moto venga intercettato: esso infatti si troverà sempre comunque sulla diagonale".

[350] In *Mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis*, cit., c. 11v, Piccolomini aveva considerato esplicitamente il caso di moto aventi i moti componenti in rapporto (costante) differenti dal rapporti dai lati (figura 9).

negato ciò sulla base del fatto, notato da già da Benedetti[352], che un dato movimento rettilineo può essere originato da coppie di spostamenti differenti. La struttura della frase mi sembra invece che lasci pochi dubbi sull'intenzione dell'autore dei *Problemi meccanici* di invertire un'ipotesi del teorema 1 (il moto conserva la proporzionalità delle componenti) con la tesi dello stesso teorema (il moto avviene lungo la diagonale); naturalmente è necessario aggiungere l'ulteriore ipotesi che il moto sia la risultante di due altri moti. Se si suppone, invero, che i moti componenti siano assegnati per direzione, allora il teorema 1 permette, data la proporzione, di determinare la diagonale su cui avviene il moto e il teorema 2 consente, data la diagonale, di determinare la proporzione tra i lati del parallelogramma. Senza tale ipotesi, cioè non si suppone che i moti componenti siano assegnati per direzione, il teorema 1 afferma solo l'esistenza di una diagonale in qualche parallelogramma lungo cui avviene il moto ma non permette di determinarla; laddove il teorema 2 si limita ad affermare l'esistenza della proporzionalità con i lati di qualche parallelogramma ma non permette di determinare tale parallelogramma. Aristotele giustifica il teorema 2 nel seguente modo:

> Se [ciò che si sposta] ha, infatti, un'altra proporzione, non si sposterà secondo il diametro. E se i due spostamenti non hanno alcuna proporzione in alcun intervallo di tempo, è impossibile che lo spostamento sia in linea retta. Infatti, supponiamo che sia in linea retta: se questa è posta come

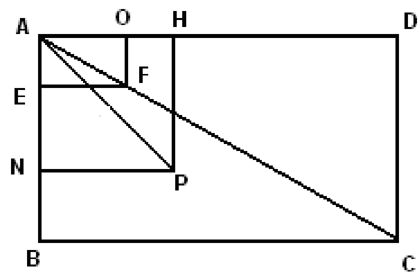

FIG. 9

[351] *Le origini del concetto di macchina*, cit., pp. 54-55.
[352] *Diversarum speculationum*, cit., p. 152.

diametro e completata ai lati, è necessario che ciò che si sposta si sposti con la proporzione che hanno i lati; lo si è dimostrato prima. Perciò, ciò che si sposta senza alcuna proporzione in alcun intervallo di tempo, non farà una retta, poiché si sposta con qualche proporzione in qualche intervallo di tempo, è necessario che lo spostamento sia retto in qualche tempo, in base a quanto detto precedentemente. Cosicché ciò che si sposta, se ha due spostamenti senza proporzione in nessun intervallo di tempo, diventa circolare[353].

Baldi intende l'ultima frase[354] nel senso che il moto, qualora non siano verificate le condizioni che lo rendono rettilineo, è certamente circolare. Questa interpretazione è usuale nel Rinascimento[355]. Ad esempio, Piccolomini, citato esplicitamente da Baldi[356], afferma:

[N]on secondum rectam lineam facta est motio; quo sit secundum curvarum linea concludi possit. Quam, quia

[353] Aristot., *Mech.*, 848b23-35.

[354] Il testo greco del passo sopra citato è: fanerÕn oân Óti tÕ kat¦ t¾n di£metron ferÒmenon ™n dÚo fora‹j ¢n£gkh tÕn tîn pleurîn fšresqai lÒgon. e„ g¦r ¥llon tin£, oÙk o„sq»setai kat¦ t¾n di£metron. ™¦n d□ ™n mhdenˆ lÒgJ fšrhtai dÚo for¦j kat¦ mhdšna crÒnon, ¢dÚnaton eÙqe‹an e□ nai t¾n for£n œstw g¦r eÙqe‹a. teqe…shj oân taÚthj diamštrou, kaˆ paraplhrwqeisîn tîn pleurîn, ¢n£gkh tÕn tîn pleurîn lÒgon fšresqai tÕ ferÒmenon: toàto g¦r dšdeiktai prÒteron. oÙk ¥ra poi»sei eÙqe‹an tÕ ™n mhdenˆ lÒgJ ferÒmenon mhdšna crÒnon. ™¦n g£r tina lÒgon ™necqÍ ™n crÒnJ tin…, toàton ¢n£gkh tÕn crÒnon eÙqe‹an e□nai for¦n di¦ t¦ proeirhmšna. éste perifer□ j g…netai, dÚo ferÒmenon for¦j ™n mhqenˆ lÒgJ mhqšna crÒnon.

[355] Nelle traduzioni moderne in genere periferšj viene reso con "curvilineo" in modo da evitare di attribuire un errore a Aristotele. Ad esempio, Bottecchia Dehò, a p. 65 della sua versione dei *Problemi meccanici*, traduce: "Cosicché un punto che si muove in base a due moti senza un rapporto costante e senza un tempo determinato realizza un moto curvilineo". La traduzione di Micheli è: "Cosicché ciò che si sposta, se ha due spostamenti senza proporzione in nessun intervallo di tempo, diventa curvilineo" (Micheli, *Le origini del concetto di macchina*, cit., p. 54).

[356] "Hanc difficultatem vidit Picolomineus in sua Paraphrasi, et eam solvere conatus est, sed quam bene, aliorum esto iudicium" (*Exercitationes*, p. 11).

nonsolum in nulla ratione, sed etiam in nulla ratione in nullo tempore, facta est motio, ciurcularem esse necesse erit[357].

Giovanni de Guevara, qualche anno dopo Baldi, scrive:

Si autem in nulla fertur proportione secundum duas lationes nullo in tempore, rectam esse lationem, est impossibile. Sit enim recta. Posita igitur hac pro diametro, et circumrepletis lateribus, illud quod fertur, secundum laterum proportionem ferri necesse est: hoc enim demonstratum est prius. Non igitur rectam efficiet id quod secundum nullam proportionem, in nullo fertur tempore. Si autem secundum quampiam feratur proportionem, et in tempore quopiam, hoc necesse est tempus rectam esse lationem, per ea quæ retro sunt dicta. Quamobrem circulare est id, quod secundum nullam proportionem nullo in tempore duas fertur lationes[358].

Naturalmente non è vero che un moto misto risultante da due moti non in proporzione fissata descriva una traiettoria circolare. Baldi lo nota e si preoccupa di darne un'esplicita dimostrazione; il suo ragionamento può essere ricostruito nel modo seguente (si veda fig. 10).

Sia il punto A soggetto a un duplice moto, verso B e verso C, e si supponga che non sia conservata la proporzione tra i moti. Si supponga, inoltre, che la traiettoria descritta del punto A sia la circonferenza AHB.

[357] Piccolomini, *In Mechanicas quaestiones Aristotelis paraphrasis*, cit., cc. 13r-13v.

[358] de Guevara, *In Aristotelis mechanica commentarii*, cit., p. 40.

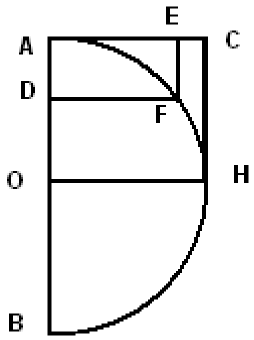

FIG. 10

Per la proposizione inversa di Euclide VI.13, deve aversi:

AD : DF = DF : (AB - AD);

quindi AE=DF è media proporzionale tra AD=EF e DB. In altri termini, per aversi un moto circolare, la componente che esprime il moto violento AE deve essere media proporzionale tra la componente del moto naturale AD e la differenza tra l'intero percorso e la stessa AD[359]. Quando non si verifica tale condizione, il moto non descrive una traiettoria circolare. In conclusione, se la proporzione dei moti composti non si mantiene costante, può prodursi non solo un cerchio ma anche un'ellisse o una qualsiasi altra linea curva che non contenga alcun segmento rettilineo:

> Non enim mixtus motus, qui nun quam servata proportione fit, semper circulum producit, sed et Ellipsim potest, et quamlibet aliam lineam, cuius nulla pars sit recta.[360]

Baldi conclude la sua dimostrazione facendo notare esplicitamente che Aristotele ha commesso un errore:

> verum non esse quod asserebat Philosophus, circulum ex mixto motu proportione nun quam servata necessario produci[361].

[359] *Exercitationes*, p. 11.
[360] *Ibidem*.
[361] Ivi, p. 12.

Dopo aver corretto Aristotele sui moti misti, Baldi espone e commenta la spiegazione del quarto "miracolo" contenuta nei *Problemi meccanici*, la quale è basata sul seguente principio:

> Se due cose che si spostano con la medesima forza, l'una è più respinta e l'altra meno, è ragionevole che quella più respinta si muova più lentamente di quella meno respinta[362].

In altri termini, se lo stesso motore agisce su due corpi, ma ostacola lo spostamento di uno più dello spostamento dell'altro, allora il corpo maggiormente ostacolato si muove più lentamente dell'altro. Applicando tale principio, la spiegazione della quarta contrarietà (più veloce-meno veloce) consiste sostanzialmente nell'affermare che un punto più vicino al centro si muove più lentamente perché ha uno spostamento contro natura maggiore rispetto a un punto più lontano[363]:

> Ad ogni linea che descrive un cerchio, accade di muoversi per natura secondo la circonferenza, contro natura lateralmente e verso il centro; minore è il raggio, maggiore è il movimento contro natura, perché più esso è vicino al centro che lo respinge di un moto contrario, maggiore è l'influsso che ne subisce[364].

Naturalmente, l'effettivo significato di tale spiegazione dipende dall'accezione di moto "contro natura" e moto "secondo natura". Micheli ha proposto la seguente interpretazione che appare solidamente fondata:

> ad ogni linea che descrive il cerchio accade questo, si sposta secondo natura lungo la circonferenza (moto in cui agisce •op» [forza che il corpo ha in sé per natura e che lo spinge a muoversi in una determinata direzione] costretta lungo un percorso prefissato), e contro natura lateralmente (moto contro natura generato da „scÚj [forza che agisce dall'esterno su di un

[362] Aristot., *Mech.*, 849a 7-9.

[363] "Conatur post hæc Aristoteles rationem afferre, cur circuli partes, quo propiores centro fuerint, eo sint tardiores. Ait autem: si duobus ab eadem potentia latis hoc quidem plus repellatur, illud vero minus, æquum est tardius id moveri quod plus repellitur, eo quod minus. Detrahi autem plus lineam, cuius extremum prepius est centro illa quæ suum habet terminum a centro remotiorem" (*Exercitationes*, p. 12).

[364] Aristot., *Mech.*, 849a 14-20 (trad. di Pietro Cobetto Ghiggia).

> corpo]) e verso il centro (azione costrittoria del centro sul moto lungo la circonferenza)[365].

Più tradizionale è l'interpretazione di Bottecchia Dehò, secondo la quale "la circonferenza viene ad essere la risultante di due movimenti, uno secondo natura ed uno contro natura, vale a dire uno in direzione della tangente e l'altro verso il centro"[366]. Quest'ultima è nella sostanza anche l'interpretazione di Baldi (condivisa dagli altri autori rinascimentali): il moto circolare si produce per l'effetto di due differenti moti, uno contro natura, verso il centro, l'altro secondo natura verso il basso. Per chiarire la spiegazione aristotelica del quarto 'miracolo', Baldi, anzitutto, costruisce la figura 11.

> Esto, inquit, circulus BCDE et alter in eo minor MNOP circa idem centrum A. Ducantur Diametri maioris quidem CD, EB, minoris vero MO, NP. Itaque ubi AB circulata eo pervenerit unde est gressa, ipsa quoque AM eo unde moveri cœperat, perveniet. Tardius antem fertur AM, quam AD, propterea quod AM a centro magis retrahatur quam ipsa AB. Ducatur igitur ALF et a puncto L, ipsi AB perpendicularis LQ, cadens in minori circulo, et

[365] Micheli, *Le origini del concetto di macchina*, cit., p. 65.

[366] Bottecchia Dehò, *Note*, cit., p. 151. Bottecchia Dehò traduce *Mech.* 849a 14-20 nel modo seguente: "Ad ogni raggio che descrive un cerchio accade dunque questo, cioè si muove secondo la circonferenza secondo natura in direzione della tangente e contro natura verso il centro; maggiore è il movimento contro natura secondo cui si muove il raggio minore. Infatti, poiché è più vicino al centro che trae in senso opposto, ne subisce maggiormente l'influenza" (Ivi, pp. 66-67). La traduzione di Micheli è: "Ad ogni linea che descrive il cerchio accade questo, si sposta seconda natura lungo la circonferenza, contro natura lateralmente e verso il centro. La minore si sposta sempre più contro natura; infatti ciò che è più vicino al centro che lo ritrae, è più vinto" (cfr. Micheli, *Le origini del concetto di macchina*, cit., pp. 57-58). Il testo greco è: p£sV m□n oân kÚklon grafoÚsV toàto sumba…nei, kaˆ fšretai t¾n m□n kat¦ fÚsin kat¦ t¾n perifšreian, t¾n d□ par¦ fÚsin e„j tÕ pl£gion kaˆ tÕ kšntron. me…zw d' ¢eˆ t¾n par¦ fÚsin ¹ ™l£ttwn fšretai: di¦ g¦r tÕ ™ggÚteron e□nai toà kšntrou toà ¢ntispîntoj krate‹tai m©llon.

rursus ab codem L ipsi AB, parallela ducatur LS, ab S vero eidem perpendicularis ST, et ab F item FX[367].

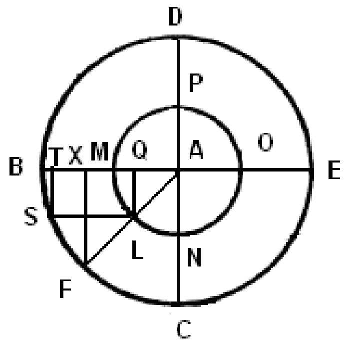

FIG. 11

Nella prima parte della spiegazione, Aristotele suppone che gli spostamenti secondo natura di B e M siano uguali, cioè ST=QL (si noti che non è ipotizzato che tali spostamenti avvengano nello stesso tempo). Un esame della figura mostra che MQ>BT: quindi essendo lo spostamento di M verso il centro maggiore rispetto a quello B, il punto M deve avere velocità minore.

Aristotele aveva giustificato la disuguaglianza MQ>BT affermando che "segmenti rettilinei uguali condotti su cerchi diseguali tagliano una parte minore del diametro nei cerchi maggiori"[368]. Baldi ritiene opportuno offrire una chiara ed esplicita dimostrazione della disuguaglianza MQ>BT, fondata sulla proposizione VI.13 di Euclide. Considerato, invero, il cerchio maggiore BCEP, si vede facilmente che TS è media proporzionale tra BT e TE; di conseguenza il quadrato di lato TS è uguale al rettangolo di lati BT e TE. Allo stesso modo considerando il cerchio minore, si vede che il quadrato di lato QL è uguale al rettangolo di lati MQ e QO. Ma i due quadrati sono uguali, essendo ST=QL, quindi i due rettangoli

[367] *Exercitationes*, pp. 12-13. Ho apportato alcune correzioni formali al testo per adattarlo alla figura: il testo di Baldi presenta un alto numero di errori di stampa, su cui si veda anche Becchi, *Q. XVI*, cit., p. 62.

[368] Aristot., *Mech.*, 849a 35-39.

devono avere la stessa area, e poiché QO<TE, deve essere MQ>BT[369].

Nella seconda parte della spiegazione – che Baldi riporta semplificando ciò che ritiene superfluo –, Aristotele osserva che in realtà gli spostamenti devono essere in proporzione: ossia vi deve essere proporzione tra gli spostamenti contro natura e quelli secondo natura di M e B, e quindi se M si sposta in L, B si sposta in F (il che significa assumere che i movimenti dei punti M e B avvengano in tempi uguali). Di conseguenza, M percorre uno spazio maggiore nello stesso tempo ed è più veloce[370].

Baldi afferma che il ragionamento aristotelico è sottile e ingegnoso, ma si può fornire una dimostrazione migliore e più semplice che non faccia uso della gravità secondo natura. Infatti, quest'ultima è causa di un moto in linea retta verso il centro del mondo, per cui il moto circolare, di per sé, non avviene sotto l'azione della gravità naturale:

> Caeterum subtilia et ingeniosa isthaec esse non negamus, et longe faciliori et explicatiori modo veritas haec demonstrari potest, reiectis nempe illis, secundum, et praeter naturam motibus, qui quidem in simplici circulo necessario non cadunt: caderent autem fortasse, si de circulo res esset a ponderibus circumlatis ex stabili centro descripto, qua de re agit G. Ubaldus in *Mechanicis tractatu*

[369] "Modo quod pollicebamur, nempe minorem esse BT, quam QM, ita demonstramus. Quoniam ST, ex prop. 13. 1. 6, media proportionalis est inter BT et TE, erit quadratum TS æquale parallelogrammo seu rectangulo BT, TE, item, quoniam QL media proportionalis est inter MQ et QO. Erit quadratum QL æquale rectangulo MQ, QO, æqualia ergo sunt rectangula BTE, MQO, itaque reciproca latera habent proportionalia. Quare, ut TE, ad QO, ita MQ ad TB, sed TE maior est ipsa QO, quippe quod pars sit QO ipsius TE, maior ergo et MQ ipsa TB, quod ostendendum fuerat" (*Exercitationes*, p. 13).

[370] "Si igitur fiat ut motus præter naturam ad motum præter naturam, ita motus secundum naturam, ad motum secundum naturam, punctum B; cum M fuerit in L, non erit in S, sed in F. Tunc enim, ut est FX motus secundum naturam ad XB, præter naturam, ita est QL secundum naturam ad QM præter naturam; sed BF maior est ML, ergo proportione servata, velocius movetur B quam M circa idem centrum A. Hæc autem summa est eorum quæ præfert Aristoteles. Cæterum nos parallelogrammum, quod in figura eius habetur prætermisimus, quippe quod nihil ad eam quæ affertur, demonstrationem faciat" (*Ibidem*).

de libra[371]. Tunc enim dici potest, pondus quod alias recta ad mundi centrum tenderet, a circuli centro in circulatione retrahi, sed haec ad circuli naturam, quatenus circulus est, ne quaquam spectant[372].

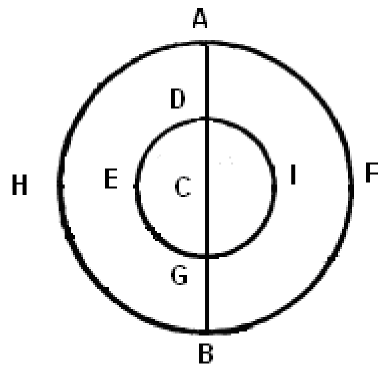

FIG. 12

La conclusione di Baldi è semplice: il moto di un punto più esterno è più veloce perché percorre uno spazio maggiore nello stesso[373]. Si tratta, tuttavia, di un osservazione strettamente cinematica e del tutto tautologica, che non sembra cogliere il tentativo fatto da Aristotele di offrire una spiegazione causale,

[371] Baldi si riferisce a Guidobaldo del Monte, il quale, nell'illustrare la differente gravità dei diversi punti in un cerchio, afferma che la gravità naturale agisce interamente se il moto avviene lungo la linea che unisce il punto al centro della Terra (cfr. del Monte, *Le Mecaniche*, cit., pp. 9-11).

[372] *Exercitationes*, pp. 13-14.

[373] "Esto igitur circumferentia AFBH, cuius centrum C, diameter ACB, semidiameter AC. Sumatur in AC punctum quodlibet, D, et centro C, spatio CD, circumferentia describatur DGEI. Dico punctum A velocius moveri puncto D eadem circulatione rotato. Etenim ut diameter ad diametrum, et semidiameter ad semidiametrum, ita circumferentia ad circumferentiam: igitur ut AC ad CD, ita circumferentia AFHB ad circumferentiam DGEI. At mota linea CA circa centrum C movetur simul et CD, eodem igitur tempore rotationem complent puncta AD, maius ergo spatium eodem tempore metitur A, ipsa D, quare velocior. Ita igitur se habet velocitas ad velocitatem, ut circumferentia ad circumferentiam, et diameter ad diametrum, quare id quod mouetur in puncto a centro remotiori, velocius illo movetur quod ab eo distat minus, quod fuerat demonstrandum" (Ivi, p. 14).

ossia di spiegare la maggiore o minore velocità sulla base delle presunte cause del moto (naturali o per violenza).

***

Le meravigliose proprietà del cerchio e, in particolare la quarta, forniscono, secondo l'autore dei *Problemi meccanici*, la soluzione ai quesiti che si trovano in tale trattato. Di particolare interesse per la presente discussione è la *Quaestio III*, dove si chiede di spiegare il motivo per cui piccole forze, con l'aiuto di una leva, muovono grandi pesi nonostante il peso aggiuntivo della leva (cfr. *supra*, p. 74). Aristotele scrive:

> [T]re sono le cose che riguardano la leva, il fulcro, lo sparto e il centro, e due pesi, quello che muove e quello che è mosso; pertanto, ciò che il peso mosso è rispetto a quello che muove, la lunghezza lo ricambia rispetto alla lunghezza allo stesso modo. Sempre, quanto sarà più distante dal fulcro, si muoverà più facilmente. La causa è quella detta precedentemente, che il punto più distante dal centro descrive un cerchio maggiore. Cosicché ciò che si muove con la stessa forza si trasferirà di più quanto più è lontano dal fulcro[374].

Da tali affermazioni e dalle leggi della fisica aristotelica, seguendo Pierre Duhem[375], alcuni studiosi[376] ritengono possibile derivare il principio della leva. Invero, considerata la leva AB (si veda fig. 13), il peso P posto in A percorre un arco maggiore del peso Q posto in B, ma i due spostamenti avvengono nello stesso tempo e quindi le loro velocità v_a e v_b sono proporzionali alle distanze percorse, ossia:

$$v_a : v_b = OA : OB.$$

[374] Aristot., *Mech.*, 850a 37-850b6.

[375] *Les origines de la statique*, 2 voll., Paris, Hermann, 1905-1906.

[376] Cfr. Thomas Heath, *Mathematics in Aristotle*, Oxford, Oxford University Press, 1949, pp. 228-229. Israel E. Drabkin, *Notes on Laws of Motion in Aristotle*, "American Journal of Philology", 39 (1939), p. 73. La tesi è ripresa in forma diversa da Fritz Krafft, il quale, nel suo *Betrachtungsweise in der antiken Mechanik*, Wiesbaden, Steiner Verlag, 1970, p. 75, pensa giustamente che si debba evitare qualsiasi nozione assimilabile a quella di momento statico (cfr. anche nota n. 296<>).

Per dimostrare la legge della leva, secondo costoro, si potrebbe utilizzare la relazione tra forza e velocità che si trovano all'inizio del quinto capitolo del libro VII della *Fisica*:

> Se A è il motore, B ciò che è mosso, C la quantità della lunghezza per la quale è stato mosso e "in quanto [lo è stato], ossia il tempo, è indicato con D, allora nel tempo uguale la forza uguale, indicata con A, muoverà la metà di B per un [intervallo] doppio dell'[intevallo] C e per l'[intervallo] C nella metà di D. In questo modo, infatti, si avrà proporzione. E se la medesima forza muove la medesima cosa in questo tempo qui per un [intervallo] di questa quantità qui e per la metà dell'[intervallo] nella metà del tempo, anche la metà della forza muoverà nell'ugual tempo la metà della cosa per l'uguale [lunghezza]. Per esempio, la [forza] E sia la metà di A e Z la metà di B: ebbene, le cose stanno in modo simile e la forza è proporzionale al peso, per cui in un tempo uguale muoveranno per un [lunghezza] uguale. E se E muove Z ne [tempo] D per l'[intervallo] C, non necessariamente nel tempo uguale ciò che è indicato con E muove il doppio di Z per la metà dell'[intervallo] […] Ché, in generale, […] non muoverà niente. In effetti, se l'intera forza ha mosso per un [intervallo] di una data quantità, la metà non muoverà né per altrettanto [intervallo], né in un tempo qualsiasi. Ché, uno solo potrebbe muovere la nave, se la forza di coloro che la tirano in secco viene divisa dal loro numero e nella lunghezza per la quale la muovono[377].

Con un'interpretazione rigorosamente quantitativa della prima parte di tale brano, si ottiene quella che è in genere considerata la legge fondamentale della dinamica aristotelica: in un moto violento, la velocità è direttamente proporzionale alla forza applicata e inversamente proporzionale alla "grandezza" del corpo. Tale legge è espressa da Duhem affermando che la potenza del motore che muove un corpo è misurata dal prodotto del peso (o dalla massa) del corpo mosso

[377] Aristot., *Phys.*, 249b 31-250a 19. Per quanto riguarda i moti naturali Aristotele (*De cael.*, 290a) afferma che la velocità dei corpi in moto naturale è direttamente proporzionale alla "grandezza" del corpo che ne determina la *pesantezza o leggerezza* ("Più un corpo è grande, più rapidamente esso compie il moto che gli è peculiare").

per la velocità del movimento impresso a quel corpo[378]. Benvenuto traduce la lunga frase di Duhem nella formula

$$Q=ms/t=mv,$$

dove Q è la forza, m un coefficiente di proporzionale[379], s la distanza percorsa, t il tempo, v la velocità[380].

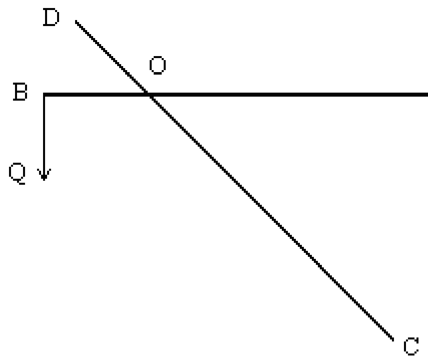

FIG. 13

Nel caso in esame della leva AB, le forze applicate non sono altro che i pesi Q e P, quindi le velocità v_a e v_b sono proporzionali ai pesi, ossia

$$Q : P = OA : OB.$$

Duhem non si limita ad affermare che la formula della leva è contenuta nei *Problemi meccanici*, ma addirittura vede nella riduzione della leva al movimento circolare la radice del principio delle velocità virtuali:

> N'eût-il formulé que cette seule pensée, Aristote mériterait d'être célébré comme le père de la Mécanique rationnelle.

[378] "La puissance du moteur qui meut un corps est mesurée par le produit du poids du corps mû (ou de sa masse, car les deux notions de poids et de masse sont alors indistinctes) par la vitesse du mouvement imprimé à ce corps" (Duhem, *Les origines de la statique*, cit., vol. I, p. 4).

[379] Benvenuto non usa il termine massa, che, evidentemente, gli sembra eccessivo, anche se in Aristotele è presente un chiaro riferimento alla grandezza del corpo mosso.

[380] Edoardo Benvenuto, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Edizioni di Storia e Letteratura, Roma, 2006, pp. 6-7.

> Cette pensée, en effet, est la graine d'où sortiront, par un développement vingt fois séculaire, les puissantes ramifications du Principe des vitesses virtuelles[381].

Una differente e più plausibile interpretazione si trova in de Gandt[382] e Micheli[383]. Nella soluzione della *Quaestio III*, Aristotele afferma che il peso maggiore, posto più lontano dal fulcro, si muove più velocemente, qualora una forza esterna lo metta in movimento. Non vi sono riferimenti alla proporzionalità tra velocità e peso, né si fa un tentativo di tradurre lo spostamento in termini quantitativi esatti: nei *Problemi meccanici*, il ragionamento è sostanzialmente qualitativo[384]. Inoltre, le stesse regole di proporzionalità aristotelica non sono traducibili in termini rigorosamente quantitativi. Il brano sopra citato si conclude con l'osservazione per cui se fra la "grandezza" del corpo e la forza applicata vi è una grande sproporzione, allora è possibile che non si produca alcun movimento; in altri termini, affermare che certi oggetti sono in proporzione (diretta) non significa di per sé che esiste un'esatta proporzione in senso matematico tra due oggetti, ma semplicemente che se l'uno viene aumentato l'altro verrà incrementato in modo simile, entro condizioni non precisate.

[381] Duhem, *Les origines de la statique*, cit., vol. I, p. 5. Duhem continua sostenendo: "Aristote n'était pas géomètre; du Principe qu'il avait posé, il ne sut pas tirer avec une entière rigueur toutes les conséquences qui s'en pouvaient déduire; parfois, aussi, il crut pouvoir l'appliquer à des problèmes dont la complexité excédait de beaucoup les moyens par lesquels il les prétendait résoudre" (*Ibidem*). La tesi di Duhem è ripresa in modo del tutto acritico anche da autori recenti, quali Bruno Carbonara e Giulio Starita, nel loro poco felice *The principle of Virtual velocities* (in *Classical Problems in Mechanics*, a cura di Remigio Russo, Roma, Aracne, 1998, pp. 1-95), un testo "esemplare" di un certo atteggiamento verso la storia della scienza caratterizzato dalla sistematica forzatura delle fonti antiche mediante l'uso inappropriato di concetti moderni.

[382] François de Gandt, *Force et science des machines*, in Jonathan Barnes, Jacques Brunschwig, Myles Burnyeat, Malcolm Schofield (eds.), *Science and Speculation: Studies in Hellenistic Theory and Practice* (Cambridge, 1982), 96-127.

[383] *Le origini del concetto di macchina*, cit., pp. 83-86.

[384] Ivi, p. 85.

***

Procedo ora a illustrare come Baldi tratta il principio nelle *Exercitationes*. Dopo aver accennato alla questione del peso di una leva materiale e chiarito che ha una scarsa influenza nel sollevare grandi pesi[385], l'urbinate passa a esporre la sua interpretazione della *Quaestio III*[386], che può così riassunta: un peso più lontano descrive un cerchio maggiore e quindi ha una velocità maggiore; poiché le forze acquistano potenza dalla lunghezza del braccio e quindi dalla velocità, quanto più è lungo il braccio tanto più facilmente è mosso il peso; in altri termini,

$$P : Q = v_a : v_b = OA : OB,$$

ossia, nella sostanza, la stessa interpretazione data poi da Duhem.

Baldi ha però molte riserve sulla concezione aristotelica di tipo dinamico; a sua avviso, essa presenta una difficoltà sostanziale per quanto riguarda la possibilità di parlare di velocità di una leva in equilibrio, essendo una leva in equilibrio ferma:

> Veruntamen, caussam huiusce mirabilis effectus, esse velocitatem, quæ brachij longitudinem consequitur, non affirmamus. Quae enim velocitas in re stante? Stant autem

[385] Cfr., *supra*, parte 1, cap. 6, pp. 73-74.

[386] "[Q]uoniam ab æquali pondere celerius movetur maior earum quæ a centro sunt duo vero pondera, quod movet et quod movetur, quod igitur motum pondus ad movens longitudo patitur ad longitudinem, semper autem quantum ab hypomochlio (id est, fulcimento) distabit magis, tanto facilius movebit. Caussa autem est, quæ retro commemorata est, quoniam quæ plus a centro distat maiorem describit circulum. Quare ab eadem potentia plus superabitur id quod movetur, quæ plus a fulcimento distat. Huc ille, qui asserit duo pondera in vecte considerari, Pondus nempe motum, et moventem Potentiam (hanc enim ponderis habere vim atque rationem certum est) Vires autem potentiam acquirere ex brachij longitudine, et ex inde consequenti velocitate, quo enim brachia longiora, eo in extremitate velociora, atque idcirco ita se habere motum pondus ad potentiam moventem, ut brachij longitudo ad brachij longitudinem: brachia autem vocamus, partes illas vectis, quæ a fulcimento ad utranque vectis extremitatem pertingunt, et ideo quantum a fulcimento potentia distabit magis, eo facilius pondus movebit" (*Exercitationes*, pp, 35-36).

vectis, et libra dum manent in æquilibrio, et nihilo secius parva potentia ingens sustinet pondus[387].

Un aristotelico potrebbe rispondere a tale obiezione osservando che le velocità considerate non sono in atto ma in potenza[388]; risposta inaccettabile per l'urbinate, in quanto non è per nulla evidente quale sarebbe il movimento in potenza di ciò che attualmente fermo; inoltre, la forza che sostiene, lo fa in atto e non in potenza[389]. È vero che la velocità del moto del braccio più lungo è maggiore, ma tale maggiore velocità non è la causa dell'equilibrio perché la forza che agisce nel luogo dove la velocità è maggiore non si oppone al movimento. Inoltre, per effetto della velocità, i corpi, e che siano lanciati, e che cadano naturalmente, acquistano peso, ma tale aumento deriva da una velocità e da un moto che sono in atto. Invece, i bracci in equilibrio non si muovono: nessun movimento è in atto[390]. Di conseguenza, per Baldi, la corretta impostazione del problema è quella archimedea contenuta nella proposizione 6 degli *Equiponderanti*:

PROPOSIZIONE 6. Grandezze commensurabili si equilibrano quando le loro distanze sono inversamente proporzionali ai loro pesi[391].

Come accennato nel capitolo II.1, la dimostrazione di tale proposizione si basa su un sistema di otto postulati. Alcuni

[387] *Exercitationes*, p. 36.

[388] "Dicet ad hæc quispiam, velocitatem in longiori brachio si non actu, saltem potentia esse maiorem" (*Ibidem*).

[389] "At quæso quid in re quæ est actu, momenti habet potentia? Actu enim sustinet, sustinens" (*Ibidem*).

[390] "Consequitur, (id utique fatemur) necessario velocitas maior motu brachij maioris; non tamen caussa est cur vis loco ubi velocitas maior sit, apposita magis moveat. Sane ex velocitate, dum moventur, pondus acquirere corpora, tum proiecta, tum cadentia certum est, quod etiam in quæstione 19 cum Philosopho considerabimus. Sed hoc ex velocitate et motu sit, quæ sunt actu. At brachia in ipso æquilibrio sustinent actu quidem, sed non moventur" (ivi, pp. 36-37).

[391] Cfr. Archim., *De plan. aequ.*, 2, 85 Mugler (trad. italiana *Opere di Archimede*, a cura di Attilio Frajese, Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1974, p. 403).

riguardano l'equilibrio dei gravi sospesi e possono essere formulati così:

- pesi uguali applicati a distanze uguali (dal fulcro) sono in equilibrio, pesi uguali applicati a distanze disuguali non sono in equilibrio, e quello che è sospeso alla distanza maggiore si abbassa;
- se due pesi applicati a certe distanze (dal fulcro) sono in equilibrio, e se a uno di loro si aggiunge qualcosa, allora si ha pendenza dal lato cui si è aggiunto;
- se due pesi applicati a certe distanze (dal fulcro) sono in equilibrio, e se a uno di loro si toglie qualcosa, allora si ha pendenza dal lato cui non si è tolto.

Altri postulati riguardano i centri di gravità:

- se figure piane uguali e simili coincidono, anche i loro centri di gravità coincidono;
- figure simili hanno centri di gravità similmente posti;
- se grandezze poste a certe distanze sono in equilibrio, anche grandezze ad esse uguali, poste alle stesse distanze, sono in equilibrio;
- ogni figura il cui perimetro è concavo dalla stessa parte ha il centro di gravità al suo interno[392].

Dopo aver provato alcuni risultati preliminari, Archimede dimostra la proposizione 6 nel modo seguente[393].

[392] Cfr. Archim., *De plan. aequ.*, 2, 80-81 Mugler (trad. Archimede, *Opere*, cit., pp. 397-399).

[393] Cfr. Archim., *De plan. aequ.*, 2, 85-86 Mugler (trad. Archimede, *Opere*, cit., pp. 404-406).

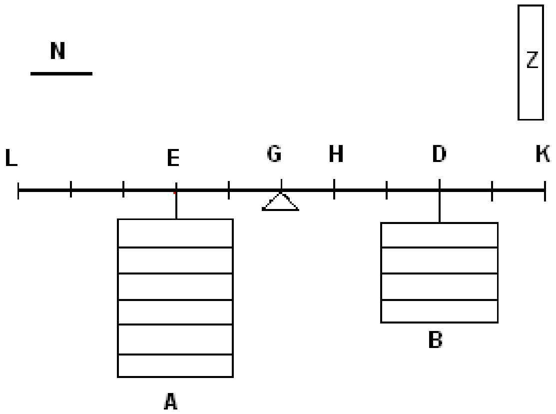

FIG. 14

Siano date due grandezze commensurabili A e B, poste a una distanza ED, e si supponga che A stia a B come DG sta GE (si veda fig. 14). Si deve dimostrare che il centro di gravità della grandezza che si ottiene prendendo insieme A e B è il punto G. Poiché

$$A : B = DG : GE$$

e, per ipotesi, A è commensurabile con B, anche GD è commensurabile con GE. Esiste, pertanto, una misura comune di EG e GD; sia N tale misura. Si prolunghi ED con due segmenti DK e EL tali che DK=EG e EL=DG. È chiaro che

$$EL=EH, \quad LH=2DG, \quad HK=2GE.$$

Poiché N misura le metà di LH e HK, deve misurare anche LH e HK ed, essendo A:B=DG:GE, si ha

$$A : B = LH : HK.$$

Sia Z una grandezza contenuta in A lo stesso numero di volte che N è contenuto nel segmento LH, allora si ha

$$LH : N = A : Z \quad e \quad KH : N=B : Z,$$

ossia KH è multiplo N tante volte quante B è multiplo di Z. Quindi, Z è una misura comune di A e B.

Così, se una grandezza uguale a Z è posta su ognuno dei segmenti uguali a N in cui è diviso LH, il punto E è il centro di gravità di queste grandezze (il cui peso totale è uguale a A). Analogamente, se una grandezza uguale a Z è posta in ognuno dei segmenti uguali a N che costituiscono KH, il centro di gravità di tale sistema di pesi (uguali ad B) è il punto D. Poiché LG=GK, il punto G è il centro di gravità di tutto il sistema di pesi piazzati sull'intero segmento LK. In conclusione A e B si equilibrano in G.

Per concludere la dimostrazione del principio della leva è necessario considerare il caso in cui le grandezze siano incommensurabili, eventualità esaminata da Archimede nella proposizione 7 degli *Equiponderanti*[394], la cui dimostrazione può essere ricostruita nel modo seguente[395] (si veda fig. 15). Siano A e G incommensurabili con i segmenti DE e EZ e sia

$$A : G = ED : EZ.$$

Se si suppone, per assurdo, che E non sia il centro di gravità di A e G, la leva può inclinarsi dal lato di A o di G. Si supponga, ad esempio, che si inclini dal lato di A (il ragionamento è analogo in caso contrario). Se si toglie da A una grandezza B, rimane una grandezza C=A - B. Tale grandezza C può sempre essere presa in modo che sia commensurabile con G e che la leva si inclini ancora dal lato di Z. Essendo C<A, si ha

$$C:G<DE:EZ,$$

quindi C e G non si equilibrano e, inoltre, la leva dovrebbe inclinarsi dal lato di D, il che però è contrario all'aver preso C in modo tale che leva si inclinasse dal lato di Z.

394 Cfr. Archim., *De plan. aequ.*, 2, 87 Mugler (trad. Archimede, *Opere*, cit., pp. 406-408).

395 Il testo archimedeo è palesemente lacunoso. Il primo a pubblicare una dimostrazione completa fu Guidobaldo del Monte (cfr. *In duos Archimedis Aequiponderantium libros*, cit., pp. 68-69). Per un'analisi della preposizione 7 e della sua interpretazione all'epoca di Baldi, si veda Enrico Giusti, *Euclides Reformatus. La teoria delle proporzioni nella scuola galileana*, Torino, Bollati Boringhieri, 1993, pp. 108-114.

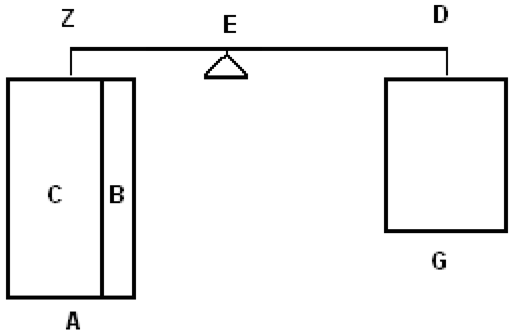

FIG. 15

Nelle *Exercitationes* Baldi non illustra la dimostrazione archimedea, limitandosi ad affermare:

> Esto enim vectis AB, quomodolibet fulcimento divisus in C. Appendatur autem in A, pondus D, in B vero pondus E, ita se habens ad pondus D, ut ipsa AC ad CB. Stabit igitur vectis, et neutram in partem verget, erit enim centrum gravitatis in C, diviso nempe ibi vecte in partes æque ponderantes. Hoc post Archimedem, et insignes illos veteres Mechanicos præclarissime demonstravit G. Ubaldus in *Mechanicis, Tractatu de Libra* propos. 6, nec non *de Vecte* propos. 4[396].

FIG. 16

[396] Ivi, p. 37. Il riferimento è alla prop. 6 del capitolo primo del *Mechanicarum liber* (Pondera æqualia in libra appensa eam in gravitate proportionem habent; quam distantiæ, ex quibus appenduntur" (Ivi, p. 34) e alla prop. 4 del secondo capitolo dello stesso libro ("Si potentia pondus in vecte appensum moveat; erit spatium potentiæ motæ ad spatium moti ponderis, ut distantia a fulcimento ad potentiam ad distantiam ab eodem ad ponderis suspensionem" (Ivi, p. 42).

Baldi pensa che la dimostrazione di Archimede sia rigorosa ma non spieghi per quale motivo una proporzione permutata produce un sì mirabile effetto[397]; in altri termini, la dimostrazione archimedea non fornisce una spiegazione di tipo causale alla legge della leva (fatto non accettabile da un punto di vista strettamente aristotelico[398]). Per questo motivo, Baldi non intende fornire una nuova dimostrazione matematica della legge della leva (ossia un ragionamento che provi la validità della legge), ma una dimostrazione in senso aristotelico tale da spiegare il *perché* un certo fenomeno abbia luogo, ossia, nello specifico, la determinazione della causa dell'equilibrio. Questa, per Baldi, è da ricercarsi nell'uguaglianza di stato (*aequalitas status*)[399]. Si ha uguaglianza di stato allorché si applicano due forze uguali alle estremità A e B di un segmento (fig. 17); è chiaro in tal caso il segmento rimane fermo[400].

FIG. 17

[397] "Caeterum ut aliquid interim, quod nostrum sit, afferamus, liceat nobis egregios illos viros interrogare, quaenam mirabilis eius affectionis sit causa? Dicent permutatam proportionem. Teneo, at nondum acquiesco: petam enim, Cur ea rationis permutatio mirabilem illum effectum pariat. Hoc quidem illi non docent, puto nos, ignorantiæ somno sepultos, somniasse (*Exercitationes*, p. 37).

[398] Cfr. De Pace, *Le matematiche e il mondo*, cit., pp. 21-120.

[399] "Aequalitatem status esse caussam, nemo, ut puto, inficiabitur. Res est enim per se clara" (*Exercitationes*, p. 37).

[400] "Esto siquidem linea quæpiam AB, applicetur extremitati A potentia quædam quæ lineam ad se trahat ad partes nempe A. Tum in B quædam alia potentia ipsi quæ in A potentiae, æqualis, quæ lineam trahat simili modo ad partes B. Data igitur harum potentiarum æqualitate, linea AB, nec ad partes A, nec ad partes B transferetur, sed prorsus immobilis stabit" (*Exercitationes*, pp. 37-38).

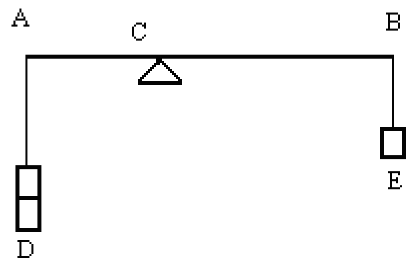

FIG. 18

Per Baldi, mostrare l'esistenza dell'uguaglianza di stato per la leva significa che ci si può riportare al caso del segmento cui sono applicati due forze uguali. A tale scopo, Baldi suppone che alle estremità di una leva qualsiasi siano posti due pesi in proporzione inversa alle distanze del fulcro e mostra che tale leva può essere ridotta a uguaglianza e quindi condotta in uno stato di equilibrio[401]. In altri termini, Baldi dimostra la seguente proposizione:

> TEOREMA 3. Se i pesi in una leva sono disposti in modo tale da rispettare la legge della proporzione inversa, allora si ha una situazione di uguaglianza (*aequalitas status*), nel senso sopra specificato. Tale stato di uguaglianza è la causa dell'equilibrio.

Per dimostrare tale teorema (fig. 18), Baldi considera la leva AB con fulcro C alle cui estremità sono appesi D ed E, in proporzione inversa:

$$D : E = CB : AC.$$

Poiché, dice Baldi, "il peso D può lo stesso che il braccio CB", si prolunghi AC di un segmento AF=CB, allo stesso modo, poiché "il peso E può lo stesso che il braccio AC", alla retta CB sia aggiunta in linea retta un segmento BG=AC. Le affermazioni "il peso D può lo stesso che il braccio CB" e "il

[401] "Dico vecte quomodolibet diviso, ponderibusque utrinque appositis, permutata proportione sibi invicem respondentibus, rem esse redactam ad æqualitatem, et inde statum fieri, hoc est, æquilibrium" (*Exercitationes*, p. 38).

peso E può lo stesso che il braccio AC"[402] non sono "una sorta" di postulati, come affermato da Romano Gatto[403], ma conseguenze del principio della leva, che qui è preso per dimostrato e di cui si cerca di dare una spiegazione causale.

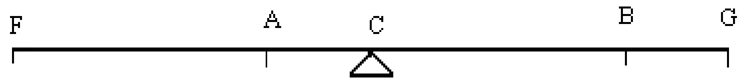

FIG. 19

Dunque, continua l'urbinate, poiché FC=AC+FA, allora il segmento FC è uguale a CG=CB+BG. Il segmento FG sarà così divisa così in due parti uguali FC e CG e poiché "l'uguale non agisce sull'uguale", esso è in equilibrio (fig. 19).

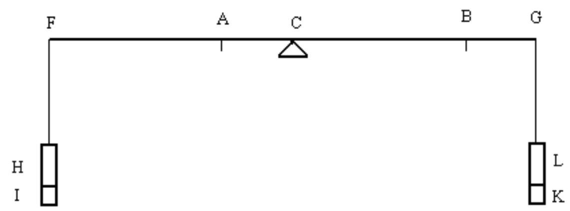

FIG. 20

Si appendano, quindi, in F, due pesi H e I, uguali a D e E si pongono in G due pesi K e L anch'essi uguali a D e E (fig. 20). In questo modo, la leva FC sarà in equilibrio in quanto pesi uguali sono appesi a bracci uguali. È dunque chiaramente manifesto, conclude Baldi, perché si produce l'equilibrio

[402] Baldi osserva che avendo supposto che il peso può lo stesso che il braccio, si potrebbe sostenere il peso della leva raddoppi. Tale affermazione è, tuttavia, infondata in quanto il braccio non opera con il peso, ma con la potenza, che certamente è forza ma non coincide con il peso: "Sed forte dicet quispiam, si brachia, pondera sunt, vel ponderibus æquipollentia, sustinenti duplicabitur pondus [...] His respondemus, brachia quidem operari non pondere, sed potentia, quæ vis quædam est, non autem pondus" (*Exercitationes*, p. 39).

[403] *Bilance e leve*, cit., p. 292. Gatto pensa che lo scopo del ragionamento di Baldi sia di fornire una nuova dimostrazione della validità della legge archimedea dell'equilibrio statico (ivi, p. 294). In realtà, l'urbinate assume la validità della legge della leva e cerca di darne una spiegazione causale.

qualora sia mantenuta la proporzione inversa dei pesi e dei bracci[404].

[404]

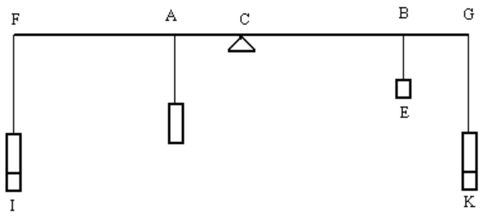

FIG. 21

"Esto enim vectis AB, quo modo libet divisus in C, et ipsi quidem C fulcimentum supponatur. Appendantur quoque utrinque pondera ex ratione brachiorum AC, CB, sibi invicem permutatim respondentia, sintque; DE. Dico vectem ex æqualitate, in neutram partem inclinaturum, sed permansurum in æquilibrio. Quoniam enim Pondus D idem potest quod brachium CB, addatur in directum ipsi AC, recta AF æqualis ipsi CB, item quoniam Pondus E id[em] potest quod brachium AC, rectæ CB addatur in directum BG, ipsi AC æqualis. Igitur cum partes CA, AF totius FC, æquales sint partibus CB, BG, totius CG, erit totum FC, toti CG æquale. Divisus itaque erit vectis FG in partes æquales FC, CG in puncto fulcimenti C. Et quoniam æquale in æquale non agit, stabit vectis et in neutram partem inclinabit. Rursum quoniam ad partem FC, duæ sunt brachiorum potentiæ FA, [A]C, appendantur puncto F, duo pondera H, I, ipsis DE æqualia, item puncto G, alia duo pondera ijsdem D,E æqualia K,L, iterum æqueponderabit, quippe quod æqualibus brachijs FCCG æqualia appensa sint pondera HI KL. Cur igitur servata permutatim brachiorum et ponderum proportione fiat æquilibrium, ex his quæ demonstravimus, clare patet." (*Exercitationes*, pp. 38-39.) La fig. 21 riproduce quella a p. 38 nelle *Exercitationes*, con le lettere poste esattamente come nell'originale.

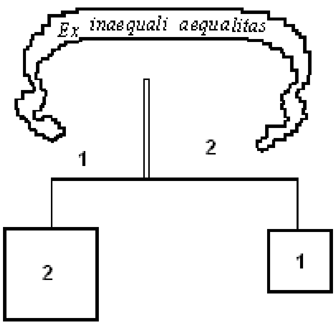

FIG. 22

Per riassumere, nella dimostrazione di Baldi è ipotizzata la validità della legge archimedea della leva ed è mostrato che tale ipotesi permette di giungere a una situazione di uguaglianza di stato[405]. Come lascia intendere il motto "*Ex inaequali aequalitas*", posto a commento della figura che orna il frontespizio delle *Exercitationes* (si veda fig. 22), la legge della leva trasforma ciò che è ineguale in uguale creando così uno stato di uguaglianza che è la causa dell'equilibrio.

[405] Il concetto di *aequalitas status* appare, pertanto, lontanissimo dalla nozione di momento statico (per una differente opinione, cfr. Gatto, *Bilance e leve*, cit., pp. 293-294). Si tratta in effetti un principio generale, abbastanza vago, del tipo "non vi può essere moto in una situazione di uguaglianza", che offre una spiegazione della legge della leva. Ciò chiarisce facilmente l'osservazione dello stesso Gatto che nota come Baldi, dopo aver introdotto il concetto di *aequalitas status*, non ne parla più preferendo ricorrere all'espressione archimedea dell'uguaglianza del rapporto dei pesi con quello del rapporto inverso delle distanze. L'*aequalitas status* è, per Baldi, un principio che spiega Archimede, non una legge operativa tale da potersi utilizzare in dimostrazioni matematiche.

Appendice

Allo scopo di rendere più facile la lettura della prima parte di questo volume, pubblico qui un'ampia parte del *Discorso di chi traduce*. Nella trascrizione, basata sulla citata prima edizione degli *Automati*, ho adottato i seguenti criteri[406]. Aggiungo gli accenti laddove si segnano modernamente: *più*, *così*, *né*, *benché*, *perché*, ecc.; li tolgo dai monosillabi, *à*, *ò*, *hà*, *hò*, *frà*, *mà*. Distinguo *u* e *v*. Conservo le maiuscole originali e l'uso delle *h*. Sciolgo le scrizioni univerbate *ilche*, *laquale*, ecc. e cambio *&* in *e*. Uniformo la grafia delle seguenti parole: *cioè*, *perché*,…Mantengo i segni di interpunzione originali, tuttavia evidenzio le citazioni secondo lo stile scelto per questo libro, eliminando le virgolette; ove necessario vado "a capo" secondo l'uso moderno. Uso il corsivo per i titoli delle opere citate da Baldi.

[406] Ovviamente, gli stessi criteri sono stati adottati nelle citazioni riportate in questo volume (per quelle in lingua latina ho anche tolti gli accenti).

[3v]

CHI TRADUCE

Tu, cui dolce desio l'animo ingombra
Di seguir di Minerva, e l'opre, e l'arte
Prendi d'huom caro a lei le industri carte,
Cui presse un tempo alto silentio, e ombra
Là nacquer'elle, ove nel Mar disgombra
Il Nilo, e ricco suolo inonda, e parte,
Ne la nobil Città del Greco Marte,
Il cui splendor ben mille chiari adombra.
Sega pur nuovo Achille, altro Vulcano
Homai vedrem, ch'in glorioso giro
Doni al metallo human sembiante, e moto
O come l'arte imitatrice ammiro,
Onde con modo inusitato, e strano,
Movesi il legno, e l'huom ne pende immoto?[407]

[407] Il *Discorso di chi traduce* è preceduto da questo sonetto che è anche pubblicato in Baldi, *Versi e prose*, cit., p. 242, con il titolo *Sopra gli Automati di Erone Alessandrino, tradotti ed illustrati dall'autore.*

[4r]

DISCORSO
DI CHI TRADUCE
SOPRA LE MACHINE SE MOVENTI

L'haver noi trasferito dalla lingua Greca il libro di Herone Alessandrino[408] delle *Machine Se moventi*, pareva, che ci obligasse a far alquanto di ragionamento della natura dell'antichità, del fine, e degli inventori loro; e a dire anco alcuna cosa intorno l'Historia di Herone medesimo come quella che per la sua antichità, è oscurissima, e a molti grand'huomini ha dato cagione di errare. Dico dunque, che la divisione, la quale si fa delle subalterne alle Mathematiche, vi è quella parte, o spetie di loro, che ha preso il nome dalle Machine, e si chiama Mechanica, o Machinativa, avvenga che non sempre le dimostrationi Mathematiche versino intorno a gli accidenti proprij delle quantità separate dalla materia: ma talor anco s'adattino a soggetti sensibili, e dimostrano le meraviglie d'alcuni effetti che accaggiono in loro. Così fanno le dimostrazioni i perspettivi, così quelle che rendono le ragioni delle varie apparitioni dell'imagini ne gli specchi, così quelli ancora, che dimostrano onde nasca la forza multiplicata di

[408] Riporto le notizie biografiche su Erone fornite da Baldi nella sua *Cronica de' Matematici* (cit., p. 439): "ERONE [O. 164, A. C. 120], Alessandrino, attese con genio mirabile alle cose delle macchine; nella qual professione ebbe per maestro Ctesibio: e diede opera agli elementi, e scrisse delle definizioni matematiche. S'affaticò intorno al modo del trovar le due medie. Scrisse i *Metrici*, nel qual libro insegnava di trovare l'approssimazione della radice d'un dato numero. Seguì sopra tutti la dottrina d'Archimede, ed espose l'invenzioni sue. Trattò delle cinque potenze; dell'opera di cui servissi Pappo, nell'ottavo de' suoi Collettanei. Scrisse degli automati e degli spiritali, ed anco degl'idrologii; cioè orologgi dall'acqua. Scrisse le camraiche e cambestrie, macchine da guerra. Pubblicò parimente Erone un libro della geodesia, cioè del misurare i campi".

quelle machine onde si alzarono [4v] grandissimi pesi; e onde pendano gli effetti potentissimi di quelle; dalle quali vengono offese, e difese le mura delle fortezze, e delle Città. Tutte queste sono subalternate alle Mathematiche, percioché, se bene il soggetto è fisico, sono dimostrate per forze di ragioni Mathematiche: la onde Mathematiche sono, in quanto dimostratione; e naturale, in quanto s'aspetta al soggetto, come insegnò benissimo il Filosofo nelli *Posteriori Risolutorij*, e nel principio de' *Mecanici*[409]. Noi lasciate da parte le altre subalternate, ragioneremo delle Meccaniche, e di queste non abbracceremo tutto il genere, ma discorreremo solo di quella parte di lui, che si distende intorno alle Machine Se moventi. I Greci diedero il nome a queste di Automati, Automatopijtici, Autocineti, che tanto suona, quanto se tu dicessi spontanee, cioè per se stesse operano, e si muovono, e di questa natura sono quelle di Herone, che noi qui traduciamo, e quelle ancora che mediante contrapesi, ci dividono il tempo.

Egli è da credere, che quei primi inventori questi artifici ci ponessero avanti a gli occhi quella naturale, et interna propensità che hanno i corpi gravi di scendere al centro da se stessi, cioè senza bisogno di aiuto esterno, e di qui s'imaginassero di potere, col mezo loro, dar il moto ad alcuna altra cosa, perciò che di qui solo dipende tutta la forza di questi artificij; overo affissassero l'animo, come pare tenga il Filosofo nel principio delle sue Meccaniche, alla meravigliosa natura del cerchio[410]. Nelle historie sacre non mi sovvienne, che si faccia mentione di cosa, mediante la quale possa affermarsi, che in quegli antichissimi tempi fosse discoperta quest'arte; percioché, se bene si legge di quell'antichissimo inventore dell'arte del ferro, e dell'industria grandissima di lui, non si trova però [5r] che facesse cosa tale, o se la fece, non fu giudicata degna da quel gravissimo e profetico Scrittore d'esser nominata attendendo egli alle cose gravi, e divine; e questa, essendo cosa, che par serva a gli scherzi. Ne gli scritti de' Gentili, antichissimo è Vulcano figliuolo di Giunone, e nipote di Saturno Cretese. Hora egli è manifesto, che Vulcano oltra

[409] Cfr. parte 1, cap. 3.
[410] Cfr. parte 2, cap. 2.

modo si dilettò dell'arte del ferro[411], e la trattò con industria meravigliosa, come si cava dall'autorità di tutti i più antichi Poeti che havesse la Grecia, né si narra cosa veruna degna di stupore per l'artificio, che da loro non s'attribuisca a Vulcano; come della rete invisibile, ond'egli prese Marte, della sedia con i lacci coperti, che egli donò alla Madre, ond'ella, come scrive Pausania[412], nell'Attica, rimase legata; dell'arme di Achille; dell'arco di Diana; dell'abbeveratoio de' cavalli di Nettuno; del scettro famosissimo di Giove; e dello Scudo di Hercole, di cui scrive Hesiodo cose maravigliose[413]. Homero, nondimeno, fra gli altri Poeti Greci, antichissimo, fa fede ch'egli valesse molto in questi artificij Se moventi; percioché, oltra l'havergli dato nel XVIII dell'*Iliade* le serventi d'oro fabbricate da lui, che non meno che se fossero state animate, e ragionevoli, lo servivano, soggiunge di quei Tripodi, che mossi per via di ruote se n'andavano da se stessi a combattere fra loro, e poi da se stessi pure se ne ritornavano a casa. I versi del Poeta colà dove egli introduce Teti andata alla sua fucina per impetrar da lui l'arme per Achille, son questi:

> Lui ritrovò pien di sudore intorno
> A mantici aggirarsi; però ch'egli
> Fabricato s'havea venti laveggi,
> Sol per locargli alle pareti in giro
> De l'alto suo ben fabricato hostello, [5v]
> Sotto al fondo a ciascun posto havea d'oro
> Cerchi, acciò che da sé nel sacro agone
> Se ne potessero gir; quinci di novo

[411] Nella mitologia greca Efesto (Vulcano) era il dio del fuoco, della tecnologia, dei fabbri, degli artigiani, degli operai, degli scultori, dei metalli e della metallurgia. Figlio di Era (Giunone) che, in alcune versioni della leggenda, lo aveva concepito con la partecipazione di Zeus, in altre da sola. Ad Efesto, erano attribuite molte prodigiose creazioni: la mitica nave Argo, animali che non invecchiavano mai e macchine semoventi. Inoltre, era accompagnato da fanciulle d'oro, dotate di cuore e di cervello. Nei versi 376 e seg. del canto XVIII dell'*Iliade* riportati da Baldi, Teti, madre di Achille, assisteva alla fabbricazione di venti tripodi destinati ad essere collocati intorno alle pareti della sala degli dei; ai loro piedi Efesto fissava ruote d'oro così che potessero entrare da soli nell'assemblea divina e altrettanto ritirarsi.

[412] Cfr. Paus., 1, 20, 3.

[413] Cfr. Hes., *Scut.*, 1 sgg..

Ritornar (maraviglia) anco a l'albergo.

Così dice egli, mostrando, che non d'altro egli parlasse che di questi artificij, facendo manifesta mentione d'Automati, e di ruote poste sotto il fondo. Vulcano, come dicemmo, nacque di Giunone, e Bacco di Giove. Cacco fu Marito d'Ariadna, e questa figliuola di Minosse Re di Creta, per ordine del quale Dedalo[414] fece il Laberinto, onde si conclude che da Vulcano a Dedalo non vi fosse distanza di tempo; e che perciò Dedalo potesse imparare da Vulcano l'arte di queste Machine Se moventi; e che ciò sia vero, si cava da' versi d'Homero nel medesimo luogo, dove egli dice, che opere simili a quelle di Vulcano havea fatto Dedalo per Ariadna, nelle quali opere v'erano giovanetti, e fanciulle, che porgendosi la mano, se ne andavano ballando. Opera del medesimo Vulcano era quel cane d'oro animato, (come scrive Dionisio antichissimo interprete d'Homero) che fu rubbato in Candia dal tempio di Giove, da un Dionimo, e dato in guardia a Tantalo; onde successe poi la ruina del detto Dionimo, e della moglie e delle figliole sue. Di questo medesimo cane fa mentione Giulio Polluce, eccetto, ch'egli dice, non esser stato fatto d'oro, ma di metallo monesio. Da questo cane (come egli scrive) favoleggiarono, che discendessero i Molossi. Dell'opere di Dedalo, fece mentione Platone nel suo Dialogo intitolato *Mennone*, le imagini del quale dice ch'erano fatte con tal'artificio, che, se non erano legate, se ne fuggivano[415]: e Aristotele nel primo de' *Libri*

[414] Nella mitologia, Dedalo era un discendente di Cecrope, antico re dell'Attica, e padre di Icaro. Esiliato da Atene per aver ucciso il proprio nipote, Talo, si rifugiò a Creta, dove costruì per Minosse il mitico labirinto. Dedalo fu anche autore di artifici meccanici e per primo realizzò statue che muovevano automaticamente occhi e arti (cfr. anche Plato, *Eutiphr.*, 11c; 15b; *Hipp. mai.*, 281e-282a; *Ion*, 533b). Dedalo fabbricò molte prodigiose creature, come Talos, che percorreva ogni giorno il giro di Creta e impediva agli stranieri di entrarvi.

[415] Il passo del *Menone* (97d-e) cui fa riferimento Baldi è il seguente:

"SOCRATE: Perché non hai prestato attenzione alle statue di Dedalo; ma forse neppure ci sono da voi.

MENONE: A che proposito mi fai questo discorso?

SOCRATE: Perché queste statue, se non sono legate, prendono la fuga e se la svignano, se invece sono legate, restano ferme.

MENONE: E allora?

Politici, dove egli ragiona de' servi, e gli diffinisce instrumenti animati, da' quali gli inanimati mossi, scrisse [6r] che non occorrerebbero altrimenti servi, se i telai, le seghe, e gli altri instrumenti ubidissero per se stessi a' cenni de' Patroni, come facevano gli ordigni di Dedalo[416]. Da questi primi inventori è da credere, che a poco a poco, prendendo augumento, siano pervenute a posteri. Nondimeno, perché queste arti sono fondate su le ragioni Mathematiche, e da credere, che tanto andassero crescendo, quanto quelle di giorno in giorno s'andavano affinando. La onde, havendo ne' tempi di Platone, quando l'Oracolo di Delo eccitò tutta la Grecia a questi studij,

SOCRATE: Possedere una delle statue di Dedalo che sia slegata non è di grande valore, è come possedere uno schiavo che fugge – infatti non se ne sta fermo –; se invece è legata vale molto: perché queste opere sono molto belle. A proposito di cosa sto dicendo questo? A proposito delle opinioni vere. Infatti anche le opinioni vere per tutto il tempo in cui restano salde sono un bel tesoro e realizzano ogni bene. Ma esse non vogliono rimanere salde per molto tempo, ma fuggono dall'anima dell'uomo, per cui non hanno grande valore, fin tanto che non siano legate con un ragionamento sulla causa. Questo, Menone, amico mio, è reminiscenza, come abbiamo ammesso prima nei nostri discorsi. Quando siano legate, diventano dapprima scienza e poi stabili: ed è per questo che la scienza è più apprezzata di una giusta opinione, e la differenza tra scienza e giusta opinione sta nella connessione". Si veda anche Plato, *Eutiphr.*, 11c.

[416] Il riferimento è al famoso passo della *Politica* sulla schiavitù, dove Aristotele afferma: "Poiché la proprietà è parte della casa e l'arte dell'acquisto è parte dell'amministrazione familiare (infatti senza il necessario è impossibile sia vivere sia vivere bene), come ogni arte specifica possiede necessariamente strumenti appropriati se vuole compiere la sua opera, così deve averli l'amministratore. Degli strumenti alcuni sono inanimati, altri animati (ad es. per il capitano della nave il timone è inanimato, l'ufficiale di prua è animato; in effetti nelle arti il subordinato è una specie di strumento): così pure ogni oggetto di proprietà è strumento per la vita e la proprietà è un insieme di strumenti: anche lo schiavo è un oggetto di proprietà animato e ogni servitore è come uno strumento che ha precedenza sugli altri strumenti. Se ogni strumento riuscisse a compiere la sua funzione o dietro un comando o prevedendolo in anticipo e, come dicono che fanno la statue di Dedalo o i tripodi di Efesto i quali, a sentire il poeta, 'entran di proprio impulso nel consesso divino' così anche le spole tessessero da sé e i plettri toccassero la cetra, i capi artigiani non avrebbero davvero bisogno di subordinati, né i padroni di schiavi. Quindi i cosiddetti strumenti sono strumenti di produzione, un oggetto di proprietà, invece, è strumento d'azione: così dalla spola si ricava qualcosa oltre l'uso che se ne fa, mentre dall'abito e dal letto l'uso soltanto" (Aristot., *Pol.*, 1253b 31-1254a 4).

con la proposta della duplicazione del cubo[417], preso queste scienze notabilissimo augumento; crebbe anco a Maraviglia l'eccelenza di quest'arte; e di qui è, che Archita Filosofo Pitagorico, anch'egli uno de gli adoppiatori del cubo, e fra Mathematici famossimo, fabbricò, sì come scrive Gellio, una Colomba di legno, che volava concitata, come egli dice, dall'aura dello spirito ch'egli v'haveva rinchiuso[418]. Eudosso parimente suo contemporaneo, si dilettò grandemente delle meraviglie di queste arti, dicendo Plutarco ne la *Vita di Marcello*, che Archita, e Eudosso dalle cose che soggiaccevano solamemente trasferì le contemplazioni Mathematiche a gli esempij delle cose corporee, e suggette al senso; adornado quasi (come egli dice) la Geometria di varie Sculture. Sdegnossi nondimeno Platone, se crediamo al medesimo, che una scienza

[417] Baldi si riferisce a una delle versioni circa la nascita del problema della duplicazione del cubo. Secondo Teone di Smirne, Eratostene riferisce, nel *Platonico*, come gli abitanti di Delo, avendo interrogato l'oracolo di Apollo sul modo di liberarsi dalla peste, avessero ricevuto l'ordine di costruire un altare, di forma cubica, dal volume doppio rispetto a quello esistente. Gli artigiani ebbero perplessità sul da farsi e chiesero il parere di Platone, il quale interpretò l'oracolo non tanto come un'espressione del desiderio del dio di avere un altare doppio ma piuttosto come un rimprovero della divinità agli Elleni di trascurare la geometria e un invito a occuparsene (cfr. Wilbur Richard Knorr, *The Ancient Tradition of Geometric Problems*, New York, Dover, 1993, pp. 21-22). Una differente versione dell'origine di tale problema è tramandata da Eutocio di Ascalona, nel suo commentario a *Sulla sfera e il cilindro* (cfr. *Archimedis quae supersunt omnia cum Eutocii Ascalonitae commentariis ex recensione Josephi Torelli*, Oxonii, Ex Tipographeo Clarendoniano, 1792, pp. 144-146). Si veda anche parte 1, cap. 4, pp. 55-56.

[418] Gellio (10.12.8-9) dà notizia di un uccello meccanico costruito da Archita. Probabilmente, si trattava di una colomba di legno, vuota all'interno, riempita d'aria compressa e fornita d'una valvola che permetteva apertura e chiusura, regolabile per mezzo di contrappesi. Messa su un albero, la colomba volava di ramo in ramo perché, apertasi la valvola, la fuoruscita dell'aria ne provocava l'ascensione; ma giunta ad un altro ramo, la valvola o si chiudeva da sé, o veniva chiusa da chi faceva agire i contrappesi; e così di seguito, sino alla fuoruscita totale dell'aria compressa. Ad Archita è anche attribuita, la costruzione di un giocattolo, la raganella. Nella forma originaria era costituita da una piccola ruota dentata fissata ad un bastoncino; una molla, cui era congiunto un pezzo di legno, saltava da un dente della ruota all'altro. Aristotele (*Pol.*, 1340b 27-30) afferma che il sonaglio di Archita si dava ai bambini perché li distraeva dal prendere e rompere gli altri oggetti domestici.

mobilissima, né conosciuta da altri che da' Filosofi, fosse comunicata alle persone vulgari, e fossero in un certo modo rivelati i più secreti, e occulti misterij della Filosofia. Onde egli ne riprese quei due, e gli rimosse dal pensiero dell'operare cose meravigliose; il che, se fosse bene, cioè se il zelo di Platone fosse buono, o no, hora non è tempo, né luogo da determinare. Basta che da [6v] Pietro Ramo nelle scuole Matematiche, egli ne viene agramente ripreso[419].

Hora che ne' tempi di Aristotele fossero già trovate, e che molti in quella età dessero opera a questa specie di Machine, si vede nel principio delle sue Mecaniche, parlando della maraviglia della Figura circolare, dalla quale, secondo lui, hanno principio le forze di tutte le Machine, ove dice,

> Servendosi dunque di questa natura che si trova nel circolo, gli artefici fabbricano in strumenti, occultando il principio, acciò che la parte solo della machina, che è apparente, resti maravigliosa, e non manifesti la causa[420].

Appare ancora dal servirsene egli in più d'un luogo, per essempio, come là nel *Secondo Libro della Generatione* volendo insegnarci come il maschio dà il principio del moto al seme, ove dice avenir ciò apunto, come nelle machine che da se si muovono, nelle quali il Maestro, dato che ha il principio al moto, col tirare una cordella, si parte e lascia che la machina per se stessa si muova[421].

[419] Cfr. parte 1, cap. 4, pp. 55-57. In varie occasioni Baldi mostra di considerare l'importanza di Platone per lo sviluppo della matematica molto inferiore a quella di Aristotele (cfr. Rose, *The Italian Renaissance*, cit., p. 261).

[420] Aristot., *Mech.*, 848a 34-36.

[421] "È possibile che l'uno dia impulso all'altro, questo ad un terzo e capiti come per le macchine. Le parti in quiete posseggono una potenzialità e quando un agente esterno dà impulso alla prima subito la successiva si mette in attività. Come dunque nelle macchine in un certo modo l'agente mette in movimento, senza stabilire in quel momento alcun contatto, avendolo tuttavia avuto, in modo simile agisce colui da cui ha origine lo sperma o che ha prodotto lo sperma, avendo stabilito un contatto, ma senza più mantenerlo" (Aristot., *De gen. anim.*, 734b 13-23; trad. it. Aristotele, *Opere biologiche*, cit., p. 879). Cfr. anche *Mech.*, 848a.

Ne fa mentione parimente il medesimo Filosofo nel suo Libretto del *moto de gli Animali*, dove dice, che l'anima, la quale ha la sua sede nel cuore, dà il moto a membri, come apunto aviene alle [7r] Machine Se moventi, il principio interno del moto dà il moto alle parti organiche essendo in queste il ferro, il legno, e le corde, in un certo modo, come ne gli animali sono l'ossa, e i nervi[422]. Se ne trova parimenti mentione in quel Libretto intitolato *de Mundo ad Alessandro*, del quale si dubita chi ne fosse l'Autore, essendo già fra i Letterati ricevuto per cosa manifesta del modo di trattare, e delle frasi, ch'egli non sia d'Aristotile[423]. È scritto, dico, in quel Libretto che gli Dei, stando nel cielo, così muovono le parti dell'universo, come fa questi Automati, il Maestro loro; il quale, dato che ha il moto, si scosta, e movendosi la machina egli non si muove. Che quest'arte poi, come io diceva, cammini di pari passo con le Mathematiche, si conosce di qui, che Archimede Principe di tutti gli altri in questa professione, fabbricò quella meravigliosa sfera, nella quale egli unì i moti del Sole, della Luna, e de gli altri cinque erranti; la quale sfera fu detto da Claudiano, essere stata di vetro, quando egli la celebrò con questi versi:

[422] Aristot., *De mot. anim.*, 701b 2-8. Cfr. pp. 53-54.

[423] Il trattato *De mundo ad Alexandrum* è oggi in genere considerato apocrifo (cfr. W.L. Lorimer, *The Text Tradition of Pseudo-Aristotle 'De mundo', together with an Appendix Containing the Text of the Medieval Latin Versions*, Oxford, St. Andrews University Publications, 1924; J. Tricot, *Aristote. Trait du ciel, suivi du pseudoaristotélicien trait du monde*, Paris, 1949), per quanto, nel 1974, G. Reale abbia nuovamente difeso la parternità aristotelica del testo (cfr. G. Reale, *Aristotele. Trattato sul cosmo per Alessandro*, Loffredo, Napoli 1974, p. XI)). Esso era considerato autentico dagli studiosi medievali e, contrariamente a quanto affermato da Baldi, anche da molti rinascimentali (cfr. M.B. Stillwell, *The Awakening Interest in Science during the First Century of Printing 1452-1550*, Bibliographic Society of America, New York 1970). Il *De mundo* era entrato a far parte del *corpus aristotelicum* sia attraverso la traduzione dall'arabo fattane da Gherardo da Cremona, sia tramite le traduzioni dal greco di Bartolomeo da Messina e di Nicola Siculo (fine del XII secolo). Inoltre, era stato oggetto di una traduzione-perifrasi di Apuleio, ben nota nel Medioevo (cfr. Annibale Mottana, *Oggetti e concetti inerenti le Scienze Mineralogiche ne La composizione del mondo con le sue cascioni di Restoro d'Arezzo (anno 1282)*, "Atti dell'Accademia dei Lincei Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali", 10 (1999), pp. 133-229.

Il Ciel chiuso mirando in picciol vetro
Rise Giove, e così disse a' celesti:
Tanto ha dunque poter cura mortale?
Ecco la mia fatica in fragil vetro
Diviene scherzo, e'l Siracusio Vecchio
De gli huomini del Ciel, e de le cose,
E le Leggi, e la Fede, ecco trasporta.
Chiuso lo spirto a varie stelle serve,
E certo dona a l'opra viva il moto.
Finto l'anno suo corre il cerchio obliquo,
E falsa Cintia al novo mese riede
Già rivolgendo il Mondo suo l'audace
Industria gode, e con humano ingegno
Regge le stelle, a che de l'innocente
Salmoneo, vien ch'ammiri il falso tuono [7v]
Se potuto trovarsi ha di natura
Emula ne l'oprar picciola mano?[424]

Intorno a' tempi d'Archimede fiorì Ctesibio[425] figliuolo d'un Barbiere Alessandrino, il quale da quel contrapeso ch'egli adattò nella bottega del padre per fare che lo specchio tirato a basso se ne tornasse in alto, come fanno hoggi le lampadi nelle Chiese; penetrò con l'ingegno dalla percussione dell'aere fatta dal contrapeso nel canale dove egli l'havea rinchiuso, all'inventione delle machine spiritali, e delle Hidrauliche, cioè

[424] *Claudii Claudiani Opera Omnia Ex Optimis Codicibus Et Editionibus Cum Varietate Lectionum Selectis Omnium Notis et Índice Rerum ac Verborum Universo* recensuit N. L. Artaud, vol. II, Parisiis, Colligebat Nicolaus Eligius Lemaire, 1824, pp. 379-380.

[425] Nella *Cronica de' Matematici*, cit., pp. 430, Baldi fornisce le seguente notizie su Filone di Bisanzio, discepolo e continuatore di Ctesibio: "FILONE [O. 120, A. C. 296], Bizantino, grandissimo matematico, ed illustre meccanico, ed insieme architetto eccellente: onde scrisse delle simmetrie de' tempi, e fece il pronao, o vestibolo che dir vogliamo, al tempio di Cerere Eleusinia, e di Proserpina, in Atene. Fabbricò egli, con infinita sua lode, l'armamentario o arsenale del Pireo in Atene, e scrissene un libro. Scrisse un libro di meccaniche; e mostrò che le cinque potenze meccaniche si riferiscono alla natura della libbra, e trovò un instromento da rinvenire le due medie proporzionali. Pubblicò parimente un libro d'Automati, o semoventi, del quale fa memoria Erone in quei libri tradotti da noi, ne' quali tratta dell'istesso suggello. Erone il Meccanico, attribuisce al nostro Filone l' invenzione della testuggine arginata, comoda all' espugnazioni delle fortezze."

da innalzar l'acqua; trovò anco le Se moventi come sono gli horologi acquatici, e gli organi, e atre delitie di sì fatta sorte. Eccellente ancora troviamo essere stato in questo genere un Filone Bizantino[426] del quale, da Herone, è fatta mentione in questi libri[427]. Poco dopo questo fiorì il nostro Herone, dopo il quale, di mano in mano, si sono iti affinando gli ingegni, e si sono a poco a poco discoperte più cose; perciò noi non troviamo che il nostro Autore faccia mentione di ruote dentate, di ricchetti, di molle, di spinole, di tempi, di serpentine, e d'alcune altre cosette, che sono quasi l'anima e la perfettione di queste machine. Io trovo nondimeno fatta mentione delle ruote dentate appresso Vitruvio[428] come ritrovare dal medesimo Ctesibio, col moto delle quali egli dava il moto a figurette, a mete, e ad altre cose di sì fatta sorte, della quale autorità di Vitruvio, altri potrebbe maravigliarsi, non si comprendendo in che modo, essendo Herone stato discepolo di Ctesibio (come di sotto mostreremo[429]) egli non ne facesse parola, e essendo cose così commode, non se ne servisse; nondimeno è manifesto col testimonio di Pappo, che da Herone, e da gli altri erano conosciute le ruote dentate, e i rocchetti, e per ciò è da credere che in queste machine, mosso da qualche [8r] consideratione, che a noi non è nota, egli non se ne servisse. Ne' tempi nostri si vedono maraviglie tali in questo genere, che non cedono forse punto a l'antiche; percioché, o si parli di horologgi da ruote, o di figurette, che da se stesse si muovono, o di uccelli che cantino, o di fontanette che gettino in alto se ne veggono di

[426] Su Ctesibio, Baldi (*Cronica de' Matematici*, cit., pp. 437-438) scrive: "CTESIBIO [O.160, A. C. 139], d'origine Ascreo, ma nato in Alessandria, fu figliuolo d' un barbiere, ed attese anch' egli da giovinetto alla detta arte: poi diedesi alle cose geometriche e dell'ingegno, nelle quali riuscì di maniera, che fece miracoli. Fu egli inventore delle macchine idrauliche, con le quali s'alza l'acqua per via d'espressione. Trovò anco le spiritali, con l' occasione del canale di quello specchio che vien raccontato da Vitruvio. Trovò, secondo il medesimo, gli orologgi acquatici, ed accrebbe la dottrina delle macchine semoventi, che i Greci dissero automati. Scrisse anco delle macchine da guerra; ed a noi sono passati i Belopiri, che trattano della delta materia. A costui s'attribuisce anco l'invenzione degli organi acquatici."

[427] *Automati*, cc. 32v.

[428] Vitr., 9.8. 4.

[429] *Automati*, cc. 13r-14v.

stupende. E quanto alle sfere simili a quelle d’Archimede, scrive Pietro Ramo d’averne vedute due in Parigi; l’una, in casa del Ruellio Medio, portata dalle prede di Sicilia; e l’altra di Orontio Mathematico regio, guadagnata nelle guerre di Germania[430]. Quando gli Horologgi che habbiamo fossero ritrovati, cioè che operassero senza l’aiuto dell’acqua, non ho (ch’io mi ricordi) veduto chi ne seriva. Di qui però può argomentarsi, che l’inventione sia assai antica; poi che ne fu mandato uno dal Re di Persia a Carlo Magno, fatto con arte maravigliosa; il quale distingueva l’hore con l’indice, e le segnava con suono. Mirabile fra gli altri, ne’ tempi nostri, è quello che lavorato da Giovan’ Maria Barocci[431] nostro compatriota[432], e donato a Pio V. Molto artificiosi sono quelli ancora che hoggi fabrica Pietro Griffi da Pesaro[433], huomo singolare nell’arte de’ moti, e di maraviglioso ingegno. Nondimeno io non finisco di ammirare la diligenza di colui che egli rinchiude in un cassone d’anello, e fece sì, che non solamente con l’indice; ma con la percossa ancora dividessero il tempo. Cresce nondimeno in me la maraviglia nell’udire (e forse è cosa in quei paesi notissima) che un’Artefice di Norimberga, all’entrata dell’Imperatore in quella Città, fabricò un’Aquila, che volando se n’andò incontro all’Imperatore, e ritornado in dietro similmente l’accompagnò infino alle porte della Città; e che un altro fabricò una Mosca di ferro, la quale

[430] “Tales autem sphaeras Lutetias duas vidimus, non vitreas tamen, sed ferreas: alteram apud Ruellium medium, e bellicis Siciliane rapinis huc allatam: alteram apud Orontium mathematicorum professorem regium germanico bello similiter direptam” (Ramo, *Scholarum mathematicarum*, cit., p. 31).

[431] Cfr. nota n. 149 <>. Oltre a Giovanni Maria Barocci, altri due membri della sua famiglia, Simone e Giovanni Battista, si distinsero per la loro attività di costruttori di strumenti tecnici. Simone Barocci suscita particolarmente l’ammirazione di Baldi (*Disticha*, cit., p. 30) che in un distico lo loda come superiore a Dedalo: Si tecum certare Simon contenderit arte, / Daedalus, arte tibi cedet, et ingenio.

[432] Baldi sembra apprezzare molto i meccanismi di vario tipo costruiti nel ducato di Urbino. Su di ciò si veda, Enrico Gamba, *Bernardino Baldi e l’ambiente tecnico-scientifico del Ducato di Urbino* in Nenci (a cura di) *Bernardino Baldi*, cit., pp. 339-351.

[433] Cfr. nota n. 148<>.

come uscitagli dalle mani se ne volava in [8v] torno a' convitati, e finalmente come stanca gli rivolava in mano[434]. Sono cose mirabili queste, e passano quasi i termini della Fede, nondimeno l'udir noi queste cose comprobate dal Testimonio di tanti Huomini, e il veder tutto il giorno cose che superano il cedere di chi non le vede, può assicurarsi che queste non siano favole. Tale dunque la inventione di queste machine; e tale è il progresso che è andata facendo infino a' tempi nostri.

Il genere di queste Machine da diletto, e da maraviglia si può dividere secondo i motori in due, cioè in Spiritali, e Se moventi, dico secondo i motori; perciò che le Spiritali hanno il moto dallo spirito rinchiuso, e le Se moventi dalla gravità de' contrapesi; e ne' tempi nostri anco dalle molle, che hanno la medesima virtù, che i contrapesi. Le Spiritali poi ancora, che non siano state manifestamente divise potrebbero però dividersi in più spetie, avenga che altra di loro operi per ragione di vacuo, ed aere espresso o ritenuto, e altre per via di aere, o d'humido risoluto, e rarefatto. Le prime sono quelle nelle quali non s'adopera il fuoco, come sono que' vasi, che chiamano Prochite; le sfere che gettano l'acqua in alto, le tazze della concordia, le voci de' Capineri, e altre cose tali; le seconde quelle ove egli s'adopera, come i sacrificij, le pallottole saltanti, le figurette che ballano dentre il chiuso vetro, o di corno; i Miliarij, e altre cose tali; nel numero delle quali potrebbono porsi quegli organi che Gilberto Monaco Floriacense, il quale dopo l'essere stato Arcivescovo di Rems, e dopo di Ravenna, e finalmente Papa[435], faceva sonare con l'aiuto dell'acqua riscaldata. Le Se moventi poi si dividono in due spetie distinte, e nominate, secondo la quale divisione partì Herone il trattato loro in questi due Libri, che ne traduciamo. La prima spetie si

[434] "At inter artificum noribergensium Regiomontani mathematis eruditorum delitias est, muscam ferream ex artificis manu velut egressam convivas circumvolitare, tandemque veliti defessam in domini manu reverti: Aquilam ex urbe adventanti imperatori longissime obviam sublimi aere procedere, atque adventantem ad urbis portam comitari" (Ramo, *Scholarum mathematicarum*, cit., p. 65).

[435] Gerberto d'Aurillac fu papa dal 999 al 1003 con il nome di Silvestro II. Si cimentò, tra l'altro, nella costruzione di un organo idraulico (Cfr. Corrado Moretti, *L'organo italiano*, Monza, Casa Musicale Eco, 1997, p. 49)

domanda Mobile [9r] la seconda stabile, Mobile la prima perché, come egli medesimo scrive, la machina tutta si muove di luogo. Stabile quell'altra, perché la machina per se tutta non si muove, ma solamente secondo alcuna parte. Così de le spiritali, come di queste scrisse Herone, e non è molto che Federico Commandino tradusse le spiritali in latino, e le illustrò di figure[436]. Quelli poi che il medesimo Herone scrisse de le se moventi, se ne vengono fuori de le tenebre dell'antichità, illustrati, e illuminati da noi; essendo stati essortati, e inanimiti o farlo dal medesimo Commandino, dal quale, amato da noi come Padre, habbiamo imparato i principij mathematici, le ragioni de gli analemmi, e le regole perspettive, a la memoria, e bontà del quale teniamo obligo non punto dispare a molti meriti suoi. Le spiritali sono, per lo più, vasi, o schietti, cioè veduti ne la propria forma, overo coperti, e vestiti da l'imagine di qualche animale, che beva, canti, scocchi l'arco, sacrifichi, o faccia cosa tale. Le Se moventi sono per lo più Tempij, carrette, imagini, overo tavole, come Icone d'altari, e cose simili. Le spiritali ordinariamente si compongono di canellette, di tramezzi, che i Greci dicono Diafragmi d'animelle, d'emboli, e epistomij, che noi diciamo Galletti, che non sono altro, che quei maschi che empiono i gonfietti de' palloni, e quegli altri, coi quali noi apriamo, e serriamo i lava mani, e secchi de' Barbieri, e altre parti simili, delle quali hanno bisogno le machine da fiato. Le Se moventi poi sono composte di contrapesi, di corde, di ruote, di fuselli, di carrucole, di timpani, di naspi, e d'altre cose tali: la materia poi delle spiritali è quella medesima, di che sogliono farsi i vasi, cioè terra, vetro, stagno, rame, ferro, e altre materie simili. Quella delle mobili, legno, ferro, piombo, e lino, e altre materie utili, e [9v] opportune. Hora egli si potrebbe dubitare per qual cagione a queste Machine si dia titolo di se moventi, più che al carro, che viene tirato da cavalli, e al molino che vien mosso da l'acqua, avenga, che così sia, nelle se moventi il contrapeso, come ne carri il cavallo, e ne molini l'acqua, essendo che non meno il cavallo, e l'acqua si muovano per se stessi di quello, che si facciano il miglio, e la rena cadenti dal foro dei cannoni e il

[436] Cfr. nota n. 14<>.

contrapeso medesimo verso il centro. A questa dubitatione può rispondersi doppiamente, perciò che il cavallo non è parte del carro, se non largamente presa, ne l'acqua del molino, come il contrapeso è parte della Machina. Onde nasce, che essendo il cavallo, e l'acqua principij esterni, non si possa dire che quelle machine si muovano da se stesse, ma più tosto siano mosse da cosa, che è fuori di loro, avenga che chi dice cosa, che si muove, ove chi dice cosa mossa, ponga il motore, cioè il principio del moto fuori della cosa mossa. L'altra ragione, e forse migliore, e che nel carro, e nel Molino, i motori sono manifesti, cioè il cavallo, e l'acqua, onde veduti da tutti non può cadere altrui nel animo che quelle machine per se stesse si muovano; il che non aviene in queste se moventi, nelle quali il principio del moto che è contrapeso, se ne sta nascosto, e non veduto da niuno, e che questa seconda ragiona sia buona, s'argomenta dall'haver voluto Herone avertirci, che le machine si facciano tanto picciole, che non possa cadere nel animo de gli spettatori, che dentro vi possa essere persona che le muova, quasi che egli volesse dire, che caduto che fosse nell'animo di chi vede, he dentro vi havesse possuto capire un huomo che le movesse, conosciuto il motore cessasse la maraviglia, e la ragione del chiamarle se moventi. Nondimeno potrebbe [10r] dubitarsi ancora onde nasca, che con tutto che i contrapesi de gli horologgi si vedano, per tanto si chiamino, e si tenghino da tutti per Machine se moventi; al che si risponde, che se bene il contrapeso è motore, muove di una maniera, che da chi lo vede, è giudicato, che non si muova, essendo insensibile il moto del contrapeso, come è quasi quello del crescere dell'herbe, one vedendosi muovere la macchina, e non quella cosa che la muove, pare a prima vista, e a le genti grosse, che la machina sia mossa non dal contrapreso, ma da se stessa si muova: le machine spiritali sono meno capaci di dispositione historica, e favolosa di quello che si siano le semoventi mobili, e le se moventi mobili meno capaci della medesima dispositione, che le se moventi stabili, come notò ne gli scritti, che traduciamo, il nostro Herone il che nasce perché nelle stabili ci aiutiamo con la pittura, ove nelle mobili non ci serviamo nel principale d'altro che di cose di tutto tondo, e di rilievo. I maestri di questi artificij appresso gl'antichi furono detti Thaumaturgi come dice Herone, e secondo Pappo nel proemio dell'ottavo Thaumasiurgi[437], e da altri Taumatopij, che altro non suona in somma, che fabricatori, e fattori d'opere meravigliose: percioché Thauma in Greco altro non vuol dire che maraviglia, o miracolo, e di qui è, che facendo l'iride con la sua subita apparitione, con la varietà dei colori, con la chiarezza, e rotondità sua, maravigliar le genti, i poeti antichi la chiamarono figlia di Thaumante cioè dell'ammiratione; e in vero, come non ha da porgere maraviglia il veder che l'arte, la quale è in principio estrinsico, dia a le cose naturali da la natura medesima? Titolo di Thaumaturgo meritò fra santi Gregorio antico Vescovo di Neocesarea di ponto, e ciò, come dice l'historia [10v], per la grandezza de' miracolo suoi, avenga che, con l'oratione, egli trasferisse i monti, seccasse le paludi, e col ficcar solo il bastone nella ripa, fermasse l'impeto e l'inondatione del fiume Lico. La meraviglia nasce dal vedere alcuno effetto non solito, e giudicato impossibile, del quale non sappia la ragione, e tali sono appunti gli effetti prodotti da queste macchine, e di qui è, che quando alcuno di questi giunge in una Città, concorrono le genti a popolo, e per vedere non si curano di spesa del danaio. Nel libro del *Mundo di Alessandro*, che allegammo di sopra, queste machine furono dette Neurospasti, che tanto vuol dire, quanto macchine tirate da nervi, avenga che quelle cordicelle, che passano loro le membra, habbiano in loro la forza medesima che negl'animali apunto hanno i nervi. Io stimo nondimeno che vi sia differenza tra l'Automato e'l Neurospasto, cioè l'automato o se movente, sia quello in cui l'artefice non tira le corde, ma il contrapeso occulto, ove ne i Neurospasti senza l'aiuto de' contrapesi l'artefice medesimo tira hor questa, et hor quell'altra cordicella per far muovere a le figure il braccio, la mano, il piede, e il capo, o gl'occhi come vediamo in quelle imaginette, che per tratullo sogliono darsi ai bambini. Maestro di queste macchine, secondo Pappo, e Ateneo[438], non può essere se non colui, che ha la buona cognitione delle mathematiche, e principalmente di quella parte che serve alle macchine, e ha congiunto a quella

[437] Papp., *Synag.*, 8. 1024.24-26 Hultsch.
[438] Cfr. pp. 38-39<>.

una grande assuefatione all'arti manuali, come quelle del legno, e del ferro, è di ingegno perspicace, inventivo e svegliato; per cioché senza questo, poco gioverebbero le Mathematiche; ma né l'ingegno né le mathematiche gioverebbero se bisognando poi venire all'esecutione la mano non fosse atta ministra all'intelletto, manco industria richiedono, [11r] come si disse, gli spiritali; un poco maggiore le semoventi stabili; grandissime poi le se moventi mobili. Dell'industria che si ricerca nel recar a fin queste cose, mi si scuopre una meraviglia; e questa è, secondo Aristotele, quell'arti sono ignegnossisime e di conseguenza, nobili, che più adoperano l'ingegno, e meno il corpo, e essendo tale la natura di queste, che gli artefici soprattuto gli altri vagliano dell'intelletto, a meno del corpo[439]: con tutto ciò ne siano sono stimati vili, e persone di niuno conto; la cagione secondo me è questa, che, essendo le persone che v'attendono plebee, d'animo abietto, mercenarie, e tutte date alla sordidezza del guadagno, le cose trattate ne vengono affette, in un certo modo, e ne perdono quella reputatione che la loro perfettione dovrebbe apportare loro; e ciò aviene apunto come alle matematiche, e all'arte della medicina, delle quali tutte quelle fra le scienze, al giudizio de' migliori filosofi, siano grandemente nobili, e questa fra l'arti meriti il primo luogo; nondimeno pare che appresso le genti habbiano perduto in parte il loro naturale splendore; dopoché cominciarono a maltrattarle i ciurmatori, i salimpauchi, i circolatori, e altre gente informi, e mercenarie, e ciò ha cagionato che la parola Mecanico, la quale all'orecchie grece sonava con titolo honorato di inventore, e fabbricatore di Macchine; alle genti di questo tempo, e particolarmente italiane, altro non significhi, eccetto che vile mercenario, abietto, volgare, e sordido. Benché altri potrebbero forse dire, che fosse nato dall'errore fatto da persone ignoranti, le quali senza distinguente fra l'Architetto, e il manuale, hanno dato il nome dell'Architetto al manuale medesimo, come avviene, quando chiamano Comici, quegli infami recitatori di comedie che vanno intorno, dando [11v] loro quel nome che non a mimi, e istrioni ma principalmente conviene al sommo artefice, che altro in genere non è che il

[439] Cfr., parte 1, cap. 2.

Poeta medesimo per se stesso honorato, e nobilissimo. Il chiamar dunque Mecanici i Ministri de' Mecanici ha cosperso il nome di quella bruttura che hoggidi porta seco. O per questa dunque, o per quell'altra cagione che ciò si sia avenuto, basta, che si può ridurre a l'ignoranza del vulgo, e all'ottusezza del giuditio suo. Non aveniva questo ne' tempi che questi artificij erano trattati da quei gran Filosofi, come erano Archita, Eudosso, Archimede, e altri huomini tali, e di ciò faccia fede l'haver havuto per lodatoru i Polibij, i Plutarchi, i Claudiani, e tante altre persone singolari. Altri è, che dice, la poca reputatione di coloro, che v'attendono, nascere di qui, che poco siano necessarie queste arti al vitto humano: il che quanto sia inconveniente, si misuri da la nobiltà del fornaio, del calzolaio, e del facchino, de l'arte de' quali non vi è cosa più necessaria, e per il contrario si guradi a quella del Poeta, tutto che i Poemi, ne si mangino, ne si calzino, ne aiutono i mercatanti a stivar le navi, ne ad empire i Magazini. Nobili dunque per se stesse sono queste arti; ma ignobilitate da gl'accidenti, che dicevamo, e della nobiltà loro potiamo accorgerci di qui, che l'invention loro è antichissima, e antichissima la reputazione; che è maravigliosa, che principalmente è aiutata dalla purità, e dalla finezza dell'intelletto; che non imbratta il corpo che ha molto bisogno della forza di lui, e in somma, che per se stessa non è indirizzata al guadagno ma solamente ad un piacere, che fra quelli del senso, come quello della musica, è puro, e onesto, né meno di quello se ne passa alla ricreazione dell'intelletto, del che è segno il veder noi mentre le statuette da se stesse si muovono, gl'houmini che [12r] le riguardono starsene così immobili, come per natura dovrebbero stare le statue dello spettacolo; né poco segno, secondo me, dell'applicatione dell'anima porge il veder l'huomo immobile, e pendente, quasi dalla cosa, a cui egli ha fatto l'applicatione. Tale è la natura di queste machine.

Veniamo hora a dire qualche cosa del fine a che sono ritrovate, e come serva alla felicità, percioché di qui pigliano tutte le cose che si sanno, natura di buone, o di cattive; di buone, giovando al conseguimento di lei, cattive portandogli impedimento. Prima dunque dall'essere queste instrumenti può essere manifesto che semplicemente siano cosa buona, come sono i pelli, le seghe, e danari, nondimeno che possano essere oprate malamente; cioè fuori di tempo e a cattivo fine. Così pare ancora che sia instrumento de la felicità il trastullo, e il giuoco, avenga che preso per ricreatione, e per sollevamento del'animo, oppresso dalla somma de pensieri, egli sia degno di lode, ove preso per principale attione e fatto fine, merita biasimo, e vituperio. Nondimeno a chi considera il vero, il biaimo, e la lode non è nell'instrumento, il quale, come semplicente è buono, così semplicemente deve lodarsi, ma in colui che bene o male, cioè, o virtuosamente, o vitiosamente se ne serve. Vi sono certi luoghi, e tempi, ne quali da più severi filosofi, che habbiano instituito repubbliche, e fatto lecito il cessar dalle fatiche, e ricrearsi con qualche honesto piacere, il che sommanente giova alla particolare, e alla pubblica felicità; e di qui sono le feste, gli spettacoli, le caccie, le giostre, e i publici conviti. Fra le cose dunque che possono somministrarci honesto, e virtuoso piacere, possono ragionevolmente riporvi queste macchine, di che noi parliamo; e ciò tanto più, che dall'ingnegno pendono tutti questi artificij, e ⌈12v⌉ non dall'arti diaboliche, e riprovate, come sono quelle che gl'incantatori, che con l'aiuto di mali spiriti fanno travedere. Servesi dunque l'una di de' principij naturali, e l'altra de' soprannaturali, ma diabolici: la onde rispondono così fra loro, come la magica, e la magia naturale, l'una delle quali è discacciata da tutte le leggi, l'altra abbracciata, e lodata sopra modo. Potrebbe nondimeno essere alcuno che rinfacciasse a quest'arte la fraude, con la qualre ricuopre gli articifij suoi, e riponesse quegli, che v'attendono nel numero de' prestigiatori, e di quelli, che fanno travedere altrui; ma considerato il vero, sarebbe ingiusto, che ciò facesse, poi che non ogni inganno è illecito, né ogni ricoprimento del vero è biasimevole; percioché essendo buono il piacere honesto, quell'inganno, che senza nocumento altrui può somministracerlo, prende natura di buono, così è degna di lode la fraude di quel medico, che inganna l'infermo, e l'ingiustizia di colui, che non rende il deposito della spada all'huomo furioso. Per altre ragioni ancora meritano lode queste machine, cioè dall'eccitar l'animo di chi le vede alla contemplatione delle cause, onde nascono le maraviglie degli effetti loro; e questo è uno di quei piaceri, che suol venirci dalle cose nuove, il quale, come dice il Filosofo, suol cessare tosto, che l'intelletto ha discoperto, mediante la contemplatione, ciò che in loro si trova di mirabile[440]. Herone per altro rispetto lasciò scritto che fossero stimate da gli antichi, ciò è perché in queste si comprende tutta quella forza, dalla quale dipende tutta la retta istitutione delle machine: di maniera che se nobile per se stessa è l'arte delle machine, e questa delle Se moventi, l'abbraccia tutta, e la contiene, è forza che sia molto nobile, e degna insieme d'essere con molta ragione accetta. Bartolomeo Campo da Pesaro[441], huomo di grande ingegno [13r], mentre serviva i nostri Prencipi, fece (per quanto mi vien detto) una tartaruga d'argento, la quale camminando per la mensa, movendi i piedi, la coda, e il capo, se n'andava nel mezo; dove apertasi, come una cassetta, dalla parte parte di sopra somministrava li steccadenti. Questo medesimo ardì poi (cosa disperata da tutti) di porsi a lenar dal fondo del mare, ove era sommerso la smisurata mole del Galeone di Venezia; il che, se bene non gli successe, lo scoperse nondimeno giuditioso inventore, la machina, atta per sua natura ad alzare peso maggiore, onde s'argomenta che dall'haver egli saputo fabricare un'Automato egli havesse quella cognitione delle machine, che secondo Herone, in questa delle Se moventi suole esser compresa; benché se noi volessimo gli essempij de gli antichi, potressimo vedere Archita, e Archimede eccellentissimi in queste in queste piacerevolezze essere stati grandissimi Maestri di Machine belliche da offesa, e da diffesa. Herone in questi due libretti, per più cagioni; è degno di molta lode l'una per chiarezza, e per brevità, con la quale egli insegna cose cotanto intricate, e difficili; l'altra per il bell'ordine, e metodo, col quale egli se va camminando nel darci ad intendere le cose, che propone. Il suo modo è risolutivo, perciò che proposto, che egli ci ha quanto intende di fare, cioè il fine, ch'egli determina di conseguire, narrando l'una cosa dopo l'altra; col medesimo ordino ce le viene insegnando; e ritornando sempre indetro col risolvere, finche egli s'abbatte

440 Cfr. *supra*, parte 1, cap. 7.

441 Su Bartolomeo Campi, cfr. *Dizionario Biografico degli Italiani*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, 1960-, *ad vocem*.

in quei principij che adoperati con ordine contrario da chi delibera di comporre, guidano al fine intento, che nella mente dell'artefice era principio, segue egli parimente l'ordine della natura, la quale da' più universali, e confusi, discende a' più [13v] particolari, e distinti: perciò che nel principio ragiona egli di queste cose generalmente, dopo discende alle spetie, di che egli intende trattare, e secondo quelle divide i libri; dopo scopre quello, che ciascuna di quelle spetie ci prometta, e presi gli essempij, ne fa narratione prima confusa, dopo aperta stesa, e particulareggiata, e finalmente con l'ordine, col quale egli le stende, torna poi, come dicevamo ad insegnarci di parte in parte il modo di condurle al fine. Nel mostrarci i moti parimente si guardo dal disordine, perciò che prima volle ragionare del locale, che si fa da tutta la machina mobile su le ruote della base, e poi di quello, che si sa da ciascheduna imagine, e parte della Machina nel tempo ch'ella sta ferma, e non si muove di luogo. Insegnando poi i moti di tutta la machina prima dal retto, come quello che è simplicissimo, dopo trapassa al circulare primo semplice dopo il retto: dopo insegna il moto per gli lati d'un paralellogrammo di angoli retti, come di figura manco perfetta della circulare, e finalmente viene a quello del serpeggiare, come quello che per essere misto di più moti, è irregolare, inordinato, e non semplice come gli altri. Queste cose ci piace haver voluto avertire, non tanto per mostrare la diligenza di questo Auttore, la quale può essere a chi non è cieco per se stessa assai manifesta, quanto per far avertito, chi si pone a scrivere cose tali, a fugir quanto più si può, l'inordinatezza, e la confusione[442].

[442] A questo punto, Baldi fornisce notizie storiche sulla vita di Erone (cfr. *Automati*, cc. 13v-14v), che ometto per brevità alla stessa stregua della *Dichiarazione delle favole di che serve l'autore nelle sue disposizioni*, che è inserita dopo il *Discorso di chi traduce* (*Automati*, cc. 14v-15r).

Indice dei nomi

L'indice non include il nome Baldi e i nomi di personaggi mitologici.

Giovanni Ferraro è docente presso l'Università del Molise. La sua attività di ricerca riguarda la storia della matematica. È autore di numerose pubblicazioni, le principali sono qui riportate

1. *The rise and development of the theory of series up to the early 1820s*, New York, Springer, Sources and Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences, 2008.

2. *L'evoluzione della matematica. Alcuni momenti critici.* Napoli, Ernesto Ummarino Editore, 2007.

3. (con F.Palladino), *Il Calcolo sublime di Eulero e Lagrange esposto col metodo sintetico nel progetto di Nicolò Fergola*, Napoli, Istituto Italiano per gli Studi Filosofici, Seminari di Scienze, Edizioni La Città del Sole, 1995.

4. Euler's analytical program, *Quaderns d'història de l'enginyeria,* 11 (2010), 175-198, ISSN: 1135-934X

5. The integral as an anti-differential. An aspect of Euler's attempt to transform the calculus into an algebraic calculus, *Quaderns d'història de l'enginyeria,* 9 (2008), 25-58.

6. Manuali di geometria elementare nella Napoli preunitaria (1806-1860), *History of Education & Children's Literature*, 3 (2008), 103-139.

7. D'Alembert visto da Eulero, *Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche*, 28 (2008), 257-275.

8. Convergence and formal manipulation in the theory of series from 1730 to 1815, *Historia Mathematica,* 34 (2007), 62-88.

9. The foundational aspects of Gauss's work on the hypergeometric, factorial and digamma functions, *Archive for History of Exact Sciences* 61 (2007), 457-518.

10. Differentials and differential coefficients in the Eulerian foundations of the calculus, *Historia Mathematica,* 31 (2004), 34-61.

11. (con M.Panza) Developing into Series and Returning from Series. A Note on the Foundation 18th Century Analysis, *Historia mathematica*, 30 (2003), 17-46.

12. Convergence and formal manipulation of series in the first decades of the eighteenth century, *Annals of Science,* 59 (2002), 179-199.

13. Analytical symbols and geometrical figures in Eighteenth Century Calculus, *Studies in History and Philosophy of Science Part A,* 32 (2001), 535-555.

14. Functions, Functional Relations and the Laws of Continuity in Euler, *Historia mathematica*, 27 (2000), 107-132.

15. The value of an infinite sum. Some Observations on the Eulerian Theory of Series, *Sciences et Techniques en Perspective*, 4 (2000), 73-113.

16. True and Fictitious Quantities in Leibniz's Theory of Series, *Studia Leibnitiana*, 32 (2000), 43-67.

17. The first modern definition of the sum of a divergent series. An aspect of the rise of the 20th century mathematics, *Archive for History of Exact Sciences*, 54 (1999), 101-135.

18. Rigore e dimostrazione in Matematica alla metà del Settecento, *Physis*, (2) 36 (1999), 137-163.

19. Some Aspects of Euler's Theory of series. Inexplicable functions and the Euler-Maclaurin summation formula, *Historia mathematica*, 25 (1998), 290-317.

20. È necessario definire i numeri reali? Brevi note su 'Continuità e numeri irrazionali' di Dedekind, *Progetto Alice*, 1 (2000), 415-423.

21. Sperimentazioni didattiche in matematica; *Annuario 1982/83 - 1995/96*, I. Sereni, Afragola, 1996, 99-101.

22. L'insegnamento della Geometria a Napoli nell'Ottocento e i suoi influssi sulle scuole del Regno d'Italia, *Annali Dist.*, 10 (1995), 66-82.

23. Some mathematical aspects of Newton's Principia. In: Second International Meeting on Cultural Astronomy. Campobasso, 30 Settembre 2010, p. 95-108, NAPOLI:Loffredo, ISBN: 978-88-7564-432-1

24. Mathematics and Natural Philosophy in Euler's Investigation of Saturn's Perturbations, in *First International Meeting on Cultural Astronomy*, 21 Maggio 2009, p. 125-157, NAPOLI:Loffredo, ISBN: 978-88-7564-420-8

25. Pure and Mixed Mathematics in the Work of Leonhard Euler in *Computational Mathematics: Theory, Methods and Applications*, a c. di Peter G. Chareton, Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, 2010, 35-61, ISBN: 978-1-60876-271-2

26. *Baldi, le matematiche, l'architettura* in *Saggi di Letteratura architettonica da Vitruvio a Winckelmann*, a c. di F.P. Di Teodoro, vol. I, Firenze, Olschki 2009, 207-220.

27. Tra filosofia naturale e matematica: il paradosso della rota Aristotelis in Cardano, de Guevara e Galileo, in *Saggi di Letteratura architettonica da Vitruvio a Winckelmann*, a cura di L. Bertolini, vol. II, Firenze, Olschki, 2009, 121-138.

28. Dimostrazioni matematiche e conoscenza scientifica in Alessandro Piccolomini, in *Saggi di Letteratura architettonica da Vitruvio a Winckelmann*, a c. di H. Burns, F. DI TEODORO E G. BACCI, vol. III., Firenze, Olschki, 2009, 215-233, ISBN: 978-88-222-5961-5

29. Euler's treatises on infinitesimal analysis*: Introductio in analysin infinitorum, Institutiones calculi differentialis, Institutionum calculi integralis*, in *Euler Reconsidered. Tercentenary Essays*, a c. di R. Baker, Heber City, UT, Kendrick Press, 2007, 39-101.

Finito di stampare nel mese di luglio 2008
da <>
per conto delle Edizioni dell'Orso